

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ВИННИЧЕНКА**

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**КУЗЬМЕНКО Ольга Степанівна**

УДК 53(043.5):378.016:372.853

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ТЕОРЕТИЧНІ І МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ  
СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ НА  
ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ STEM-ОСВІТИ**

13.00.02 – теорія та методика навчання (фізика)  
13 – Педагогічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора педагогічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

О. С. Кузьменко

Науковий консультант: **САДОВИЙ Микола Ілліч**  
доктор педагогічних наук, професор

## АНОТАЦІЯ

**Кузьменко О. С. Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти на основі технологій STEM-освіти.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора педагогічних наук за спеціальністю 13.00.02 «Теорія та методика навчання (фізика)» (011 – Науки про освіту). – Центральноукраїнський державний педагогічний університет імені Володимира Винниченка МОН України, Кропивницький, 2019.

Дисертаційна робота присвячена науковому обґрунтуванню та розробленню теоретико-методичних засад навчання фізики в умовах розвитку STEM-освіти. У результаті дослідження виокремлено і проаналізовано основні напрями нововведень в освітній діяльності закладів вищої освіти в контексті розвитку інновацій, зокрема STEM-освіти, в Україні.

Навчання фізики студентів у технічних закладах вищої освіти в умовах реформування фізичної освіти здійснюється, як правило, на I–II курсах. Зміст дисципліни «Фізика» потребує модернізації відповідно до сучасних досягнень фізичної науки та дидактичних принципів побудови курсу фізики, враховуючи фундаментальність, науковість, наступність та міждисциплінарні зв'язки. Тому модернізація освіти в технічних закладах вищої освіти потребує врахування сучасних тенденцій розвитку STEM-освіти та удосконалення методики навчання фізики на основі STEM-технологій в контексті євроінтеграційних процесів.

Беручи до уваги міждисциплінарний характер проблеми навчання фізики, у роботі опираємось на законодавство України в галузі освіти, зокрема на: Закони України «Про освіту» та «Про вищу освіту»; програму «Освіта. Україна XXI століття»; Національну доктрину розвитку України у XXI ст., Національну стратегію розвитку освіти в Україні на 2012–2021 рр.; Закон України «Про наукову та науково-технічну діяльність»; Закон України

«Про інноваційну діяльність»; фундаментальні теорії, наукові концепції, ідеї та положення філософії, психології, соціології та педагогіки щодо діалектики розвитку природи, суспільства і людини; положення щодо цілісності, наступності, інтеграції змісту фізичної освіти; фундаментальні положення теорії навчання фізики; неперервність розвитку і формування цілісної особистості, її світогляду; особистісний розвиток і професійне становлення майбутнього фахівця з технічного профілю.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, визначено предмет, об'єкт, мету та завдання, схарактеризовано методи дослідження, висвітлено наукову новизну, розкрито особистий внесок здобувача в працях, виконаних у співавторстві, подано відомості про впровадження та апробацію результатів дослідження, встановлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведено практичне значення отриманих результатів, указано структуру й обсяг дисертації.

У першому розділі *«Теоретичні засади методики навчання фізики в технічних закладах вищої освіти на основі STEM-технологій»*, опираючись на аналіз наукових досліджень, психолого-педагогічних, методичних джерел, а також джерел з Інтернету, розглянуто тенденції розвитку вищої освіти України в парадигмі інноваційної діяльності. З'ясовано, що розвиток інноваційності впливає на модернізацію вищої освіти, зокрема технічної у контексті STEM-освіти. Відзначено, що модернізація вищої освіти в Україні буде розвиватися з урахуванням інновацій, зокрема STEM-технологій, що спрямовані на підвищення мотивації студентів до вивчення фізико-математичних та технічних дисциплін.

Установлено, що зміна в сфері вищої освіти, зокрема технічної, з урахуванням розвитку STEM-освіти передбачає перегляд концепції підготовки фахівців у кожній конкретній галузі діяльності, тому модернізація змісту освіти вимагає оновлення навчально-методичної бази (цілей, змісту, методів, форм і засобів), через яку в подальшому здійснюватиметься реалізація сучасних інноваційних підходів.

Розглянуто основні закономірності, принципи та умови функціонування інноваційних освітніх процесів у технічних закладах вищої освіти.

Проаналізовано та виділено поняття міждисциплінарності та рівнів інтеграції наукового знання: мультидисциплінарний, трансдисциплінарний.

Встановлено, що передумовою до вивчення фізики студентів технічних закладів вищої освіти велику роль відіграють педагогічні умови навчання, а саме: мотивація пізнавально-пошукової діяльності; мислення як чинника розвитку самостійної пізнавально-пошукової діяльності студентів; фахова компетентність студента як показник психологічної готовності до професійної діяльності.

У другому розділі *«Сучасний стан та основні напрями розвитку STEM-освіти в технічних закладах вищої освіти»* з позицій розвитку системи фізичної освіти в Україні розглянуто генезис STEM-освіти в світі та Україні, який дає підстави стверджувати, що проблема взаємозв'язку навчання фізики і професійно зорієнтованих дисциплін при підготовці майбутніх фахівців з інженерного та технічного напрямку в закладах вищої освіти спрямована на формування у студентів можливості використовувати набуті знання з фізики під час вивчення технічних дисциплін, що зумовлено постановкою перед освітніми закладами завдань значного підвищення якості знань студентів, ролі навчання у формуванні стилю мислення і пізнавальних здібностей студентів в умовах розвитку STEM-освіти.

Доповнено основний понятійний апарат STEM-освіти, що допомагатиме викладачам технічних закладів вищої освіти орієнтуватися в основних напрямках роботи STEM-освіти з урахуванням основних тенденцій розвитку сучасної освіти, так і студентам засвоювати новий матеріал на вищому рівні, використовуючи сучасні STEM-технології навчання.

Аналіз навчальних планів, програм, посібників для вищої освіти та наукових матеріалів з напрямку STEM-освіти показав, що в освітньому



процесі необхідно приділяти значну увагу вивченню фізики студентам у технічних закладах вищої освіти.

Виникла необхідність створення моделі професійно зорієнтованого навчання фізики в освітньо-науковому STEM-середовищі, яка буде задовольняти рівень знань як для вивчення фізико-математичних дисциплін, так і у професійній діяльності. Окреслено поняття навчального середовища та виділено освітньо-наукове STEM-середовище, визначено їх місце, основні елементи та структуру, встановлено основні властивості освітньо-наукового STEM-середовища, що забезпечить підвищення якості формування STEM-компетентності студентів з урахуванням сучасних тенденцій розвитку STEM-освіти.

Розглянуто інноваційні засоби та методи організації освітнього процесу з фізики на основі STEM-технологій в технічних закладах вищої освіти.

Виділено основні *особливості використання STEM-засобів* у освітньому процесі з фізики в технічних закладах вищої освіти.

Розглянуто поняття компетентності згідно з нормативно-правовою базою та роботами наукового характеру, виділено основні STEM-компетентності, що актуальні на сучасному етапі розвитку освітніх тенденцій. STEM-компетентності є пріоритетною складовою формування професійної компетентності фахівця й виступають засобом реалізації технічної та інженерної освіти.

У третьому розділі *«Розвиток методики навчання фізики в технічних закладах вищої освіти на основі STEM-технологій»* у контексті завдань дослідження обґрунтовано теоретичні та методичні засади методики навчання фізики в технічних закладах вищої освіти на основі STEM-технологій.

Сформовано модель методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на засадах STEM-освіти, яка забезпечить методологічну, теоретичну та методичну базу для упровадження STEM-технологій в освітній процес технічних закладів вищої освіти, що

створюватиме передумови їх реалізації для підготовки професійно зорієнтованих фахівців.

Розроблено систему фундаментальних понять фізики технічних закладів вищої освіти.

Розглянуто реалізацію STEM-технологій у навчанні фізики, що підвищує зацікавленість студентів до технічних дисциплін з використанням електронних ресурсів, програмного забезпечення, комп'ютерних платформ і технологій та розширює частку дослідницького підходу в навчанні фізики, сприяє розвитку навичок спільного опрацювання й аналізу даних і результатів колективного вивчення фізичних явищ і процесів.

Показано, що методика використання сучасних технологій під час проведення занять із фізики зі студентами технічних закладів вищої освіти дозволяє розвивати в них STEM-компетентності.

Розроблено методику навчання фізики на основі STEM-технологій з урахуванням фундаментального поняття – симетрії, яке прослідковується в багатьох розділах фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, тому вивчення студентами цього поняття на основі технологій STEM-освіти сприятиме формуванню сучасного наукового мислення та світогляду, забезпечуватиме аналіз та систематизацію знань з фізики, що є необхідними для подальшого вивчення технічних дисциплін в закладах вищої освіти.

Встановлено, що впровадження програмно-педагогічного засобу на основі комплекту «L-мікро» в освітній процес із фізики в технічних закладах вищої освіти сприяє організації ефективної професійної підготовки фахівців з урахуванням сучасних вимог до навчальної діяльності в STEM-умовах.

У четвертому розділі *«Методика навчання фундаментальних наскрізних генеруючих понять технічних ЗВО на основі технологій STEM-освіти»* висвітлено використання фундаментальних ідей фізики з урахуванням STEM-технологій. З'ясовано взаємозв'язок симетрії та законів збереження; представлено методику інтеграційного підходу до вивчення

фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на прикладі вивчення динаміки руху літака студентами льотної академії.

Визначено систему STEM-елементів наукового, інженерного, технологічного, математичного спрямування, що знайшла свої відображення у сформованих мотиваційному, емоційно-рефлексивному, когнітивно-операційному, орієнтаційно-контрольному та психофізіологічному компонентах.

Розкрито, що в процесі формування самостійної пізнавально-пошукової діяльності студентів потрібно використовувати фізичні задачі з розглядом фундаментальних понять, наприклад, симетрії, що викликано розвитком мотивів, пізнавального інтересу і природничо-наукового мислення та набуттям професійних компетентностей.

У п'ятому розділі *«Упровадження та експериментальна перевірка ефективності методики навчання фізики на основі STEM-технологій»* описані завдання, організація і проведення педагогічного експерименту методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти студентів та експериментальна перевірка її педагогічної ефективності і результативності відповідно до мети дослідження. Результати проведеного порівняльного експерименту з виявлення ефективності запропонованої методики навчання фізики в контексті STEM-освіти показали, що рівень сформованості фізичних знань, умінь і навичок студентів у контрольних групах є нижчим від відповідного рівня в експериментальних групах. Це свідчить про ефективність використання запропонованого обладнання та навчально-методичного забезпечення для нього.

**Ключові слова:** методика навчання фізики, інновації, STEM-технології, теоретичні та методичні засади навчання фізики, технічні заклади вищої освіти, технічна підготовка, методологічні підходи, освітній процес, освітньо-наукове STEM-середовище.

## ABSTRACT

**Kuzmenko O. S. Theoretical and methodical principles of teaching physics of students of technical institutions of higher education on the basis of STEM-education technologies.** – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

The thesis for the degree of Doctor in Pedagogical sciences in specialty 13.00.02 «Theory and Methods of Teaching (Physics)» (011 – Science education). – Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State Pedagogical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kropyvnytskyi, 2019.

The dissertation is devoted to scientific substantiation and development of theoretical and methodical principles of teaching physics in the conditions of development of STEM-education. As a result of the study, the main directions of innovation in the educational activity of higher education institutions in the field of innovation development, in particular STEM-education in Ukraine, are distinguished and analyzed.

Studying the physics of students in technical institutions of higher education in the conditions of physical education reform is usually carried out at I-II courses. The content of the discipline «Physics» requires modernization in accordance with the modern achievements of physical science and didactic principles of building the course of physics, taking into account fundamental, scientific, continuity and interdisciplinary connections. Therefore, the modernization of education in technical universities of higher education needs to take into account modern trends in the development of STEM-education and the improvement of teaching methods of physics based on STEM-technologies in the context of European integration processes.

Noting the interdisciplinary nature of the problem for the study of physics, we rely on the laws of Ukraine in the field of education, particularly: the Laws of Ukraine «On Education» and «On Higher Education»; Program «Education. Ukraine XXI Century»; The National Doctrine of Ukraine's Development in the XXI Century, the National Strategy for the Development of Education in Ukraine

for 2012–2021; the Law of Ukraine «On Scientific and Scientific and Technical Activity»; the Law of Ukraine «On Innovation Activity»; Fundamental theories, scientific concepts, ideas and positions of philosophy, psychology, sociology and pedagogy on the dialectics of the development of nature, society and man; The regulation on integrity, continuity, integration of the content of physical education.

The introduction outlines the scientific problem, substantiates the relevance of the research topic, defines the subject, object, purpose and objectives. It also describes the methods of the research, substantiates the scientific novelty, reveals the personal contribution of the applicant in the works performed in co-authorship. The information on the implementation and testing of the research results, the connection of work with scientific programs, plans, themes, the practical value of the obtained results are provided. The structure and volume of the dissertation are indicated.

In the first section «*Theoretical principles of physics teaching methods in technical institutions of higher education on the basis of STEM-technologies* on the basis of analysis of scientific research, psychological and pedagogical, methodical literary sources, as well as Internet resources, the tendencies of the development of higher education of Ukraine in the paradigm of innovation activity are considered.

It has been established that the change in the field of higher education, in particular, technical, taking into account the development of STEM-education, envisages the revision of the concept of training specialists in each particular field of activity, therefore the modernization of the content of education requires updating of the teaching and methodological base (goals, content, methods, forms and means), through which the implementation of modern innovative approaches will be realized in the future.

The concept of interdisciplinary and the levels of integration of scientific knowledge are distinguished and highlighted: multidisciplinary, transdisciplinary.

It was established that the prerequisite for the study of physics by students of technical institutions of higher education is represented by the psychological and pedagogical conditions of study, namely: motivation of educational and cognitive

activity; thinking as a factor in the development of independent cognitive-search activity of students; professional competence of the student as an indicator of psychological readiness for professional activity.

In the second section «*Current status and main directions of development of STEM-education of technical higher education institutions*» from the point of view of the development of the system of physical education in Ukraine, the genesis of the development of STEM-education in the world and Ukraine is considered. It gives grounds to assert that the problem of interrelationship of education physics and professionally oriented disciplines while training future specialists in engineering and technical direction in higher education institutions is aimed at creating opportunities for students to use acquired knowledge in physics while studying technical disciplines. This is conditioned by setting up educational institutions with the tasks of significantly improving the quality of knowledge of students, the role of training in forming the style of thinking and cognitive abilities of students in the context of STEM-education.

The key competencies of students that they will study in the years 2015–2020 in the process of studying STEM disciplines in higher education institutions of the technical profile are considered.

The basic conceptual apparatus of STEM-education, which will assist lecturers of higher education institutions, will be focused on the main areas of STEM-education work, taking into account the main trends in the development of modern education. It will also help students to acquire new material at the highest level using modern STEM-learning technologies.

The analysis of curricula, programs, textbooks on higher education and scientific materials on the direction of STEM-education revealed that in the educational process it is necessary to pay considerable attention to the study of physics by students of non-physical specialties of technical universities.

There was a need to create a modern model of STEM-learning environment that would satisfy the level of knowledge both for the study of special disciplines and for professional activities. The concept of the learning environment is outlined

and the educational STEM-environment is identified, their place, main elements and structure are determined. The main properties of the STEM-environment are defined, which will improve the quality of formation of the STEM-competences of the subjects of education, taking into account the current trends in the development of education.

Innovative means and methods of organization of the educational process in physics on the basis of STEM-technologies in technical universities are considered.

The *main features of the use of STEM-tools* in the educational process in physics in higher education institutions of the technical education profile are revealed.

The concept of competence according to the normative-legal base and works of a scientific nature is considered. The main STEM-competencies that are relevant at the present stage of the development of educational tendencies are revealed. STEM-competence and is a priority component of the formation of professional competence of a specialist and serve as a means of implementing technical and engineering education.

In the third section *«Development of the methodology of teaching physics in technical institutions of higher education on the basis of STEM-technologies»* in the context of the tasks of the study, the conceptual principles of the methodology of teaching physics in technical of higher educational institutions on the basis of STEM-technologies were proposed.

Taking into account the current trends and main directions of the educational process improvement, a method of teaching physics (based on the technologies of STEM-education) is developed, which is aimed at effectively introducing students to the basics of physics.

The principle of innovation, which is realized through STEM-technologies in the study of physics, is considered, which greatly increases the interest of subjects of studying in technical disciplines using electronic resources, software, computer platforms and technologies. It also expands the part of research approach in the study of physics, promotes developing skills for collaborative study and

analysis of data and results of collective study of physical phenomena and processes.

It is shown that the technique of using modern technologies during physics classes with students of non-physical specialties of technical universities allows them to develop STEM-competencies in physics.

It was established that the introduction of the «L-micro» in the physics training process in the technical profile universities of higher education promotes effective professional training of specialists, taking into account the current requirements for educational activities.

In the fourth section, *«The method of teaching fundamental through-generating concepts in technical institutions of higher education on the basis of STEM-education technologies»*, we use of fundamental ideas of physics taking into account STEM-technologies is developed. The correlation between symmetry and conservation laws is revealed.

The system of STEM elements of scientific, engineering, technological, mathematical direction, which is reflected in the formed motivational, emotional-reflexive, cognitive-operative, orientation-control and psychophysiological components is determined.

It is determined that it is necessary to use physical problems with consideration of fundamental concepts in the process of formation of students' independent cognitive-searching activity, for example, symmetry, caused by the development of motives, cognitive interest and natural scientific thinking and acquiring professional competencies. The methodical requirements for physical problems in the process of studying the concept of symmetry in technical institutions of higher education are offered.

In the fifth section *«Implementation and experimental verification of the effectiveness of the methodology of teaching physics on the basis of STEM-technologies»* the tasks, organization and methods of conducting a pedagogical experiment of theoretical and methodical principles of physics based on the technologies of student's STEM-education and the experimental verification of its



pedagogical efficiency and effectiveness, respectively to the purpose of the study, are described. The results of comparative experiment to find out the effectiveness of the proposed methodology for teaching physics in the context of STEM-education displayed that the level of formation of physical knowledge, skills and abilities of students in control groups is lower than the corresponding level in experimental groups. This indicates the effectiveness of the proposed equipment and methodological support for it.

**Keywords:** methodology of teaching physics, innovations, STEM-technologies, theoretical and methodological principles of teaching physics, technical higher educational institutions, technical training, methodological approaches, educational process, educational and scientific STEM-environment.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Наукові праці, у яких опубліковано основні наукові результати дисертації

#### *Монографія*

1. Кузьменко О. С. Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти : монографія. Кропивницький : КОД, 2018. 624 с.

#### *Навчальний посібник*

2. Kuz'menko O. (Kuzmenko O.), Sadovyi N. Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics. Kropivnitskiy : KFA NAU, 2017. 324 p.

#### *Статті у наукових фахових виданнях України*

3. Кузьменко О. С. Використання інформаційних технологій у лабораторному практикумі з фізики. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. праць*. Кіровоград, 2012. Вип. 108. Ч. 1. С. 257–264.

4. Кузьменко О. С. Використання нового навчального обладнання у фізичному експерименті з оптики. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка : зб. наук. праць*. Чернігів, 2012. Вип. 99. С. 353–356.

5. Кузьменко О. С. Організація самостійної пізнавально-пошукової діяльності курсантів льотної академії під час проведення фізичного практикуму. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2012. Вип. 18. С. 166–168.

6. Кузьменко О. С. Використання сучасних технологій під час проведення фізичного практикуму з оптики. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія №5. Педагогічні науки: реалії та перспективи: зб. наук. праць*. Київ, 2012. Вип. 33. С. 102–109.

7. Кузьменко О. С., Величко С. П. Розвиток навчального експерименту на основі сучасного обладнання з фізики. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти: зб. наук. праць*. Кіровоград, 2013. Вип. 4. Ч. 1. С. 159–165.

8. Кузьменко О. С. Формування професійної компетентності студентів вищих навчальних закладів з позиції акмеологічного підходу. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2013. Вип. 19. С. 93–96.

9. Кузьменко О. С. Розвиток наукового мислення студентів в процесі розв'язування задач професійного спрямування із загального курсу фізики. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Педагогіка. Соціальна робота: зб. наук. праць*. Ужгород, 2013. № 28. С. 91–94.

10. Кузьменко О. С. Сучасні підходи до постановки фізичних експериментів для студентів нефізичних спеціальностей. *Педагогічні науки : теорія, історія, інноваційні технології*. 2013. № 6 (32). С. 351–359.

11. Кузьменко О. С. Методологічні аспекти формування наукового світогляду студентів льотної академії при проведенні робіт фізичного практикуму. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти: зб. наук. праць*. Кіровоград, 2014. Вип. 5. Ч. 3. С. 71–75.

12. Кузьменко О. С. Вивчення симетрії слабких взаємодій у процесі вивчення фізики студентами вищих навчальних закладів. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2014. Вип. 20. С. 31–34.

13. Кузьменко О. С. Поняття симетрії та асиметрії у процесі навчання фізики у вищих навчальних закладах. *Збірник наукових праць. Педагогічні науки*. Херсон, 2014. Вип. LXVI. С. 336–340.

14. Кузьменко О. С. Вивчення симетрії елементарних частинок. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти: зб. наук. праць*. Кіровоград, 2015. Вип. 7. Ч. 1. С. 132–135.
15. Кузьменко О. С. Вивчення симетрії фізичних законів студентами вищих навчальних закладів авіаційного профілю. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка: зб. наук. праць*. Чернігів, 2015. Вип. 127. С. 86–89.
16. Кузьменко О. С. Вивчення поняття симетрії в процесі навчання фізики твердого тіла. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Бердянськ, 2015. Вип. 3. С. 145–151.
17. Кузьменко О. С. Вивчення гіроскопів як симетричних тіл у процесі навчання фізики студентами вищих навчальних закладів авіаційного профілю. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кіровоград, 2015. Вип. 8. Ч. 1. С. 152–154.
18. Кузьменко О. С., Борота В. Г. Вивчення студентами динамічних симетрій у процесі навчання загального курсу фізики у вищих навчальних закладах. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології: наук. журнал*. Суми, 2015. №7 (51). С. 102–109.
19. Кузьменко О. С. Фізичні задачі як ефективний засіб стимулювання активності та самостійності студентів у процесі вивчення поняття симетрії. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2015. Вип. 21. С. 110–113.
20. Кузьменко О. С. Сутність та напрямки розвитку STEM-освіти. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кіровоград, 2016. Вип. 9. Ч. 3. С. 188–190.
21. Кузьменко О. С., Борота В. Г. Методика вивчення положень навчання про симетрію в загальному курсі фізики для студентів нефізичних

спеціальностей у вищих навчальних закладах. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка*. Чернігів, 2016. Вип. 138. С. 80–84.

22. Кузьменко О. С. Формування фізичних компетентностей студентів у процесі навчання фізики у вищих навчальних закладах. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія № 5. Педагогічні науки: реалії та перспективи*. Київ, 2016. Вип. 53. С. 109–113.

23. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Трансляція як елемент симетрії у процесі навчання фізики в технічних вузах в умовах розвитку STEM-освіти. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кропивницький, 2016. Вип. 10. Ч. 2. С. 65–68.

24. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Формування професійного мислення студентів технічних вузів у процесі вивчення фізики. *Збірник наукових праць «Педагогічні науки»*. Херсон, 2016. Вип. LXXI. Том 1. С. 43–47.

25. Кузьменко О. С. Деякі аспекти запровадження STEM-освіти при вивченні симетрії у процесі навчання фізики в технічних вузах. *Теорія і методика професійної освіти (електронне наукове фахове видання). Серія: педагогічні науки*, 2016. Вип. №10 (2). URL: <https://ivetscienceipto.wixsite.com/tmpo/koпiуa-11-2016> (дата звернення: 04.04.2016).

26. Кузьменко О. С. Методичні особливості вивчення поняття симетрії у процесі вивчення загального курсу фізики в вищих навчальних закладах авіаційного профілю в умовах розвитку STEM-освіти. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, Вип. 22. 2016. С. 89–91.

27. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. STEM-освіта як основний орієнтир в оновленні інноваційних технологій у процесі навчання фізики у вищих навчальних закладах технічного профілю. *Наукові записки. Серія:*

*Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти.* Кропивницький, 2017. Вип. 11. Ч. 3. С. 73–76.

28. Кузьменко О. С. Інноваційні засоби та форми організації навчального процесу з фізики в умовах розвитку STEM-освіти в вищих технічних навчальних закладах. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти.* Кропивницький, 2017. Вип. 12. Ч. 2. С. 85–92.

29. Кузьменко О. С., Гончарова Н. О. Особливості змістовного наповнення навчального посібника з фізики для вищих технічних навчальних закладів в контексті впровадження stem-освіти (інтегрований підхід). *Проблеми сучасного підручника: зб. наук. праць.* Київ, 2017. Вип. 19. С. 151–158.

30. Кузьменко О. С. Формування STEM-компетентностей студентів під час розв'язування фізичних задач з поєднанням принципу симетрії в вищих технічних навчальних закладах. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна.* Кам'янець-Подільський, 2017. Вип. 23. С. 20–22.

31. Кузьменко О. С. STEM-моделювання фізичних явищ у процесі навчання студентів професійно-технічним дисциплінам в закладах вищої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки.* Кропивницький, 2018. Вип. 168. С. 120–124.

32. Кузьменко О. С. Дослідження ефективності методичної системи навчання фізики на основі STEM-технологій у технічних закладах вищої освіти. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна.* Кам'янець-Подільський, 2018. Вип. 24. С. 15–18.

*Статті у наукових періодичних виданнях інших держав*

33. Кузьменко О. С. Формування фундаментальних фізичних понять в студентів вищих навчальних закладів сучасними засобами навчання. *Science*

*and Education a New Dimension. Pedagogy and Psychology.* Budapest, 2014. II (16), Issue: 33. С. 53–56.

34. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Вивчення фундаментальних фізичних понять із використанням властивостей симетрії на основі фізичного та комп'ютерного моделювання в вищих навчальних закладах технічного профілю. *Scientific journal Innovation solutions in modern science.* Dubai, 2016. №5(5). С. 62–73.

35. Dembitska S. V., **Kuz'menko O. S. (Kuzmenko O. S.)** Organization of the self-emplotted work of students of technical universities at the study of physics. *Virtus: Scientific Journal* / Editor-in-chief M. A. Zhurba. Canada, March, 2018. #22, Part 1. P. 94–98.

### **Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

#### *Матеріали науково-практичних конференцій*

36. Кузьменко О. С. Использование симметрии при решении задач по физике. *Физическое образование: проблемы и перспективы развития: материалы XIII Междунар. науч.-метод. конф., 3–6 марта 2014 г.* Москва: МПГУ, 2014. Ч. 2. С. 135–137.

37. Кузьменко О. С. Использование современного оборудования при изучении физики в высшем учебном заведении. *Современный физический практикум: материалы XIII Междунар. учеб.-метод. конф., 23–25 сентября 2014 г.* Новосибирск: Издательский дом МФО, 2014. С. 150.

38. Неділько С. М., **Кузьменко О. С.** Актуальність розвитку STEM-освіти в світі. *STEM-освіта – проблеми та перспективи: матеріали I Міжнар. наук.-практ. семінару, 28–29 жовтня 2016 р.* Кропивницький: КЛА НАУ, 2016. С. 34–35.

39. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Особливості вивчення фізики у вищих навчальних закладах технічного профілю в умовах розвитку STEM-освіти. *Сучасні тенденції навчання природничо-математичних та технологічних дисциплін у загальноосвітній та вищій школі* : матеріали

III Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф., 17–22 жовтня 2016 р. Кропивницький (Кіровоград): РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2016. С. 51–52.

40. Кузьменко О. С., Ситник Ю. Б. Наукова та інженерна складова STEM-освіти у процесі вивчення дисциплін фізики та безпеки польотів з поєднанням інтегрованого підходу. *STEM-освіта – проблеми та перспективи*: матеріали II Міжнар. наук.-практ. семінару, 25–26 жовтня 2017 р. Кропивницький: КЛА НАУ, 2017. С. 59–62.

41. Кузьменко О. С., Шульгін В. А. Використання поняття симетрії в розрахункових схемах і навантаженнях через трансдисциплінарний підхід в контексті розвитку STEM-освіти. *Актуальні аспекти розвитку STEM-освіти у навчанні природничо-наукових дисциплін*: матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф., 16–17 травня 2018 р. Кропивницький: Льотна академія НАУ, 2018. С. 86–89.

### **Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

#### *Навчальні посібники*

42. Кузьменко О. С., Садовий М. І., Вовкотруб В. П. Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням: навч. посіб. для студ. ВНЗ. Кіровоград: КЛА НАУ, 2015. 204 с.

43. Физика. Пособие для выполнения лабораторных работ / А. Н. Бурмистров, В. Г. Борота, Ю. Г. Ковалев, О. С. Кузьменко, В. В. Фоменко: Составители: О. С. Кузьменко, В. В. Фоменко. 2-е изд., перераб. и доп. Кіровоград: КЛА НАУ, 2013. 172 с.

#### *Статті в наукових періодичних виданнях*

44. Кузьменко О. С. Теоретико-методичні особливості використання сучасних комп'ютерно-орієнтованих засобів навчання у процесі вивчення фізики. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: зб. наук. праць*. Кривий Ріг, 2012. Вип. X. Т. 2. С. 178–183.

45. Кузьменко О. С. Використання інтерферометрів при виконанні фізичного експерименту. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: зб. наук. праць*. Кривий Ріг, 2013. Вип. XI. Т. 2. С. 124–129.



46. Кузьменко О. С. Вивчення симетрії у процесі навчання з квантової механіки у вищих навчальних закладах. *Фізико-математична освіта. Науковий журнал*. 2015. Вип. № 2(5). С. 23–28.

47. Кузьменко О. С. Концептуальні засади розвитку методики навчання фізики в умовах розвитку STEM-навчання у вищих навчальних закладах авіаційного профілю. *Наукові записки Малої академії наук України. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Київ, 2017. Вип. 9. С. 38–50.

48. Кузьменко О. С. Фізичний експеримент як фактор розвитку STEM-освіти у вищих навчальних закладах технічного профілю. *Наукові записки Малої академії наук України. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Київ, 2017. Вип. 10. С. 131–143.

49. Кузьменко О. С. Використання STEM-технологій у навчальному процесі з фізики в вищих навчальних закладах технічного профілю. *Науковий вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Кропивницький, 2017. Вип. 1. С. 331–336.

50. Кузьменко О. С. Використання поняття симетрії для формування наукового світогляду студентів у процесі навчання фізики в умовах розвитку STEM-освіти. *Науковий вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Кропивницький, 2017. Вип. 2. С. 173–179.

#### *Авторське свідоцтво*

51. А.с. Навчальний посібник «Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням» / **О. С. Кузьменко**, М. І. Садовий, В. П. Вовкотруб. № 76354; заявл. 30.11.17.; опубл. 27.04.2018, Бюл. № 48.

#### *Методичні рекомендації, положення, концепція*

52. Борота В. Г., **Кузьменко О. С.**, Остапчук С. А. Механика и молекулярная физика. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-микро» для курсантов академии всех специальностей. 2-е. изд. перераб. и доп. Кировоград : КЛА НАУ, 2012. 100 с.

53. Борота В. Г., Кузьменко О. С. Фізика. Методичні вказівки по виконанню розрахунково-графічної роботи з фізики (робота № 1). Кіровоград : КЛА НАУ, 2014. 48 с.

54. Положення про «STEM-центр» академії / укладач: О. С. Кузьменко. Кропивницький: КЛА НАУ, 2017. 10 с.

55. Положення про науково-дослідну лабораторію «STEM-освіти та інноваційної освіти» академії / укладач: О. С. Кузьменко. Кропивницький : КЛА НАУ, 2017. 9 с.

56. Концепція про «STEM-центр» академії / укладач: О. С. Кузьменко. Кропивницький : КЛА НАУ, 2017. 10 с.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ</b>	26
<b>ВСТУП</b>	27
<b>РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ В ТЕХНІЧНИХ ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ НА ОСНОВІ STEM-ТЕХНОЛОГІЙ</b>	43
1.1. Теоретико-методологічне обґрунтування гуманістично-освітнього упорядкування в софтизації і сервізації постіндустріального суспільства та його вплив на розвиток інноваційної системи освіти закладів вищої освіти	43
1.2. Формування інноваційної освітньої парадигми в соціально-гуманістичному впорядкуванні кінця ХХ–початку ХХІ ст.	70
1.3. Методологічне обґрунтування принципів STEM та їх функціонування в освітньому просторі	88
1.4. Педагогічні умови формування особливостей методики навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти засобами STEM-освіти	104
<b>Висновки до першого розділу</b>	125
<b>Список використаних джерел до першого розділу</b>	128
<b>РОЗДІЛ 2. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ОСНОВНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ STEM-ОСВІТИ В ТЕХНІЧНИХ ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ</b>	158
2.1. Генезис STEM-освіти в світі та Україні	158
2.2. Особливості організації освіти на основі STEM-технологій у технічних закладах вищої освіти	177
2.3. Формування моделі освітньо-наукового STEM-середовища професійно зорієнтованого навчання в технічних закладах вищої освіти	187
2.4. Реалізація законів інноваційних процесів в організації навчання з фізики в технічних закладах вищої освіти засобами STEM-технологій	211

	24
<b>Висновки до другого розділу</b>	243
<b>Список використаних джерел до другого розділу</b>	245
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗВИТОК МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ В ТЕХНІЧНИХ ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ НА ОСНОВІ STEM- ТЕХНОЛОГІЙ</b>	271
3.1. Теоретичні й методичні засади розвитку методики навчання фізики в технічних закладах вищої освіти на основі STEM-технологій	271
3.2. Формування фундаментальних фізичних понять у студентів технічних закладів вищої освіти сучасними STEM-засобами навчання	282
3.3. Технологія навчання фундаментальних фізичних понять у технічних закладах вищої освіти засобами STEM	298
3.4. Теоретико-організаційні функції самостійної роботи студентів у процесі навчання фізики в контексті розвитку STEM-освіти	312
<b>Висновки до третього розділу</b>	327
<b>Список використаних джерел до третього розділу</b>	330
<b>РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА НАВЧАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ НАСКРІЗНИХ ГЕНЕРУЮЧИХ ПОНЯТЬ ТЕХНІЧНИХ ЗВО НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ STEM-ОСВІТИ</b>	345
4.1. Аналіз підручників, посібників, методичних джерел з фізики й професійно зорієнтованих дисциплін на предмет виявлення та впровадження фундаментальних генеруючих понять	345
4.2. Особливості методики навчання понять простору й часу та законів збереження в курсі фізики технічних ЗВО	365
4.3. Методики застосування STEM-освіти у формуванні STEM- компетентності студентів технічних закладів вищої освіти	382
4.4. Методика формування системи задач курсу фізики технічних ЗВО засобами STEM-освіти	412
<b>Висновки до четвертого розділу</b>	437
<b>Список використаних джерел до четвертого розділу</b>	438

<b>РОЗДІЛ 5. УПРОВАДЖЕННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ НА ОСНОВІ STEM-ТЕХНОЛОГІЙ</b>	<b>459</b>
5.1. Організація педагогічного експерименту з перевірки ефективності методики навчання фізики на основі STEM-технологій	459
5.2. Результати педагогічного експерименту за вдосконаленої методики навчання фізики на засадах STEM-освіти	474
5.3. Експертне оцінювання розробленої методики навчання фізики на основі STEM-технологій	489
<b>Висновки до п'ятого розділу</b>	<b>498</b>
<b>Список використаних джерел до п'ятого розділу</b>	<b>499</b>
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>506</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	<b>513</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ЕК – експериментальні групи
- ЄС – Європейський Союз
- ЗВО – заклад вищої освіти
- ІКМ – інформаційно-комунікаційні мережі
- ІНС – інерціальні навігаційні системи
- ІКТ – інформаційно-комунікаційні технології
- ІТ – інформаційні технології (Information Technology)
- ІСВ – інерціальні системи відліку
- КГ – контрольні групи
- НС – навчальне середовище
- НФЕ – навчальний фізичний експеримент
- СТВ – спеціальна теорія відносності
- САХ – середня аеродинамічна хорда
- США – Сполучені Штати Америки
- ТЗН – технічні засоби навчання
- ППЗ – програмно педагогічні засоби
- AHRS – Attitude Heading Reference System (системне забезпечення для вимірювання кутів курсу, крену і тангажа)
- PISA – Programme for International Student Assessment (програма міжнародного оцінювання студентів)
- SMART – Specific, Measurable, Assignable, Realistic, Time-related (конкретність, вимірюваність, призначеність, реалістичність, пов’язаність з часом)
- STEM – Science, Technology, Engineering and Mathematics (наука, технології, інженерія, математика)
- VOR – Very high frequency Omnidirectional Range beacon (всенаправлений надвисокочастотний радіомаяк)

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Пріоритетним напрямом освітньої політики України є підвищення якості та конкурентоспроможності вищої освіти в нових економічних умовах, що сприяють її інтеграції до міжнародного освітнього простору. Соціальний запит суспільства на висококваліфікованих фахівців, здатних до інноваційної інженерно-технічної діяльності актуалізує потребу підвищення якості їхньої природничо-математичної підготовки. Такі зміни потребують модернізації вищої технічної освіти на законодавчому й управлінському рівнях, зокрема розроблення галузевих стандартів; навчальних програм, планів; нових освітніх технологій, форм, методів і засобів навчання; контролю й оцінювання навчальних досягнень студентів та прийняття європейської системи оцінювання результатів навчання – компетентностей.

Фундаментальною основою дослідження є Закони України «Про освіту» (2018), «Про вищу освіту» (2014), «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності» (2012), Національна стратегія розвитку освіти в Україні на період до 2021 р., які визначають основні орієнтири реформування національної вищої освіти.

В Україні склалися сприятливі умови для розвитку STEM-освіти (Science, Technology, Engineering, Mathematics): розроблено Концепцію цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 рр.; план заходів щодо впровадження STEM-освіти в Україні на 2016–2018 рр.; проєкт концепції STEM-освіти в Україні, затверджено низку нормативно-правових документів, що забезпечують їхню імплементацію на рівні міжнародних стандартів якості природничо-математичної освіти. Українські науковці докладно вивчають досвід STEM-освіти в провідних країнах світу (США, Великобританія, Польща, Сингапур, Японія та ін.) та досліджують умови її впровадження в Україні, а саме:

– окреслено філософсько-методичні аспекти інтеграції знань у змісті сучасної освіти (В. Андрущенко, І. Козловська, В. Кремень, С. Куриленко, О. Дубасенюк та ін.); створено теорію розвивального навчання (В. Давидов, Д. Ельконін, А. Давиденко, О. Ткаченко та ін.); визначено інноваційні аспекти освіти і науки вищої школи (С. Архангельський, І. Бабін, В. Ледньов, О. Ляшенко та ін.); розглянуто проблеми дидактики фізики (О. Бугайов, С. Величко, В. Вовкотруб, О. Коновал, М. Садовий та ін.); сформовано загальні основи впровадження компетентісного підходу (П. Атаманчук, В. Заболотний, А. Хуторський, В. Шарко та ін.); розроблено принципи фундаменталізації фізичної освіти (С. Гончаренко, Л. Єлгіна, М. Садовий, В. Сергієнко, О. Сергєєв та ін.); П. Атаманчук увів у науковий обіг поняття STEM-інтеграції як важливої інноватики в компетентісно зорієнтованому освітньому середовищі; О. Стрижак дослідив категорію трансдисциплінарності як основоположну інтеграційну категорію STEM-освіти; І. Сліпухіна з'ясувала особливості мультидисциплінарного підходу в STEM-навчанні; І. Василяшко проаналізувала освітнє середовище з позицій STEM-навчання в закладах освіти; Н. Поліхун описала формування критеріїв та показників виявлення схильності суб'єктів навчання до інноваційної діяльності;

– розроблено методику навчання фізики за компетентісного підходу з навчання природничо-математичних дисциплін вищої педагогічної освіти (О. Коновал, А. Кух, М. Літвінова, О. Мартинюк, В. Мендерецький, Н. Подопрігора, М. Садовий, В. Сергієнко, В. Шарко, М. Шут та ін.); у частині методичних основ новітнього навчального фізичного експерименту (С. Величко, В. Вовкотруб, А. Касперський, М. Садовий, І. Сальник, В. Сергієнко та ін.); щодо формування фізико-технічних знань у ЗВО (І. Богданов, А. Касперський, О. Ніколаєв, Г. Шишкін та ін.); та інших закладах освіти (Л. Благодаренко, С. Величко, В. Вовкотруб, В. Заболотний, Б. Кремінський, М. Мартинюк, І. Сальник, В. Сиротюк та ін.); з методики



організації самостійної роботи студентів (А. Алексюк, С. Архангельський, В. Радул, А. Растригіна та ін.);

– обґрунтовано концептуальні засади створення навчального середовища (А. Гуржій, А. Жук, В. Заболотний, А. Кух, М. Садовий, М. Шут та ін.); розроблено методику впровадження системного підходу в освітній процес ЗВО (В. Кушнір, М. Садовий, Ю. Шабанова та ін.), методику розв'язування фізичних задач (О. Бугайов, В. Вовкотруб, А. Павленко, М. Садовий та ін.), методичні засади навчання теоретичної фізики (О. Кузнєцова, І. Мороз, Н. Подопригора, О. Школа та ін.); досліджено загальні питання STEM-технологій (В. Заболотний С. Литвинова, О. Мартинюк, М. Садовий, О. Трифонова, І. Савченко, І. Чернецький та ін.);

– визначено чинники, що сприяють розвитку інтересу та пізнавально-пошукових здібностей суб'єктів навчання в контексті STEM-освіти (Л. Клименко – науковості; О. Граб – творчого потенціалу; О. Мартинюк – інженерних здібностей, М. Ростока – креативності та ін.) тощо.

Вагомість зазначених вище аспектів для покращення якості навчання освіти з фізики студентів технічних ЗВО на основі технологій STEM-освіти стрімко зростає впродовж останніх років. Важливе місце посідає спрямування навчальної інформації на вивчення основ природничо-математичної галузі, засвоєння наукових методів пізнання та формування практичних умінь і навичок студентів.

Утім, у теорії та методиці навчання фізики потребують розв'язання завдання, з-поміж яких з погляду предмету дослідження слід виокремити такі:

– обґрунтування теоретичних і методичних засад навчання фізики студентів технічних ЗВО на основі STEM-технологій;

– розроблення методик навчання фізики студентів технічних ЗВО в умовах STEM-освіти.

Аналіз наукових досліджень проблеми впровадження STEM-освіти засобами компетентісного, міждисциплінарного, інтеграційного, системного

та професійно зорієнтованого підходів, узагальнення педагогічного досвіду викладачів з навчання фізики в технічних ЗВО дає змогу окреслити три контекстні рівні та суперечності:

– у контексті потреб соціального замовлення – між потребами суспільства у висококваліфікованих фахівцях технічного напрямку, здатних швидко адаптуватися до вимог ринку праці в нових економічних умовах, та невідповідністю якості їхньої професійної підготовки в технічних ЗВО;

– у контексті потреб педагогічної науки – між традиційною методикою навчання фізики в технічних ЗВО та можливостями її збагачення новітніми засобами навчання фізики за технологіями STEM-освіти;

– у контексті потреб педагогічної практики – між потребою розроблення та впровадження інноваційних підходів навчання фізики в частині формування STEM-компетентності студентів та відсутністю висококваліфікованих фахівців, здатних упроваджувати STEM-технології в освітній процес.

Отже, відсутність системного наукового дослідження щодо цілісної методологічної, теоретичної та методичної бази розроблення й упровадження STEM-технологій у навчанні фізики в циклі дисциплін професійної підготовки студентів технічних ЗВО, які б сприяли їхній адаптації в освітньо-науковому STEM-середовищі, недостатній рівень теоретичного вивчення та практичної розробленості порушеної проблеми, її вагома соціальна значущість, а також виявлені суперечності зумовили вибір теми дослідження **«Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти на основі технологій STEM-освіти»**.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано відповідно до плану наукових досліджень кафедри фізики та методики її викладання Кіровоградського (нині – Центральноукраїнського) державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка. Проблема є складником теми «Система управління якістю підготовки майбутніх учителів математики, фізики та інформатики на

основі інформаційно-комунікаційних технологій» (протокол № 5 від 08.12.2011).

Обраний напрям наукового дослідження пов'язано з темою науково-дослідної роботи кафедри фізико-математичних дисциплін Відокремленого структурного підрозділу Національного авіаційного університету «Кіровоградської льотної академії національного авіаційного університету» (нині Льотної академії Національного авіаційного університету) «Впровадження інноваційних технологій у процесі навчання фізико-математичних дисциплін в умовах розвитку STEM-освіти» (держ. реєстр. № 0117U000789) і з дослідно-експериментальною роботою всеукраїнського рівня за темою «Науково-методичні засади створення та функціонування Всеукраїнського науково-методичного віртуального STEM-центру» (наказ Міністерства освіти і науки України № 708 від 17.05.2017), яку виконано в Льотній академії Національного авіаційного університету.

Тему дослідження затверджено на засіданні Вченої ради Кіровоградського (нині – Центральноукраїнського) державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка (протокол № 8 від 29.02.2016) й узгоджено в бюро Міжвідомчої ради з координації досліджень у галузі освіти, педагогіки і психології в Україні (протокол № 6 від 28.11.2017).

**Мета дослідження** полягає в науковому обґрунтуванні, концептуалізації та розробленні теоретичних і методичних засад навчання фізики студентів технічних ЗВО на основі технологій STEM-освіти, що сприяє їх адаптації до освітньої діяльності, забезпечує процесуальність та підвищення якості освіти.

**Концепція дослідження.** Фізико-математична та спеціальна підготовка майбутніх фахівців з інженерного та технічного напрямів у технічних ЗВО є фундаментом для подальшого формування в студентів особистісних і професійних якостей майбутнього конкурентоспроможного фахівця, його

готовності до відповідного виду професійної діяльності з урахуванням сучасних тенденцій розвитку STEM-освіти.

Провідна ідея дослідження полягає у твердженні, що професійно зорієнтоване навчання фізики за технологіями STEM-освіти в технічних ЗВО, яке ґрунтується на засадах єдності фундаменталізації, міждисциплінарного, інтеграційного, компетентнісного, системного та професійно зорієнтованого підходів, забезпечує готовність суб'єктів навчання до здобуття якісної освіти з фізики й ефективної професійної діяльності.

*Методологічний концепт* розкриває системний взаємозв'язок і взаємодію визначених підходів до розв'язання проблеми інтеграції навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін у технічних ЗВО.

*Теоретичний концепт* визначає систему основних закономірних положень, новітніх наукових понять, які є фундаментальними для розуміння STEM-освіти в навчанні фізики в технічних ЗВО; особливості пізнавально-пошукової діяльності студентів в освітньо-науковому STEM-середовищі; професійні кваліфікації, ключові професійні компетенції; професійну STEM-компетентність.

*Методичний концепт* передбачає розроблення, обґрунтування й опис методичних засад та методики навчання фізики на основі STEM-технологій, визначення етапів їхньої міжпредметної інтеграції, реалізації в практиці навчання фізики в технічних ЗВО.

Відповідно до мети наукової розвідки сформульовано **завдання дослідження:**

1. Здійснити аналіз наукових досліджень і науково-методичної літератури вітчизняних та зарубіжних дослідників з проектування й формування основних напрямів розвитку теорії й практики методики навчання фізики засобами STEM-освіти в технічних ЗВО.

2. Обґрунтувати теоретичні й методичні засади навчання фізики на основі технологій STEM-освіти в контексті професійної спрямованості освітнього процесу в технічних ЗВО.

3. Створити модель освітньо-наукового STEM-середовища професійно зорієнтованого навчання фізики в технічних ЗВО.

4. Розробити концепцію STEM-освіти технічного ЗВО для забезпечення інтеграції навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.

5. Розробити методику професійно зорієнтованого навчання фізики в технічних ЗВО засобами STEM-технологій.

6. Розробити методичне забезпечення методики професійно зорієнтованого навчання фізики на основі засобів STEM-технологій для спеціальності 272 «Авіаційний транспорт».

7. Упровадити методику професійно зорієнтованого навчання фізики в технічних ЗВО засобами STEM-технологій в умовах педагогічного експерименту. Провести експертне оцінювання відповідного навчально-методичного забезпечення.

**Об'єктом дослідження** є освітній процес у технічних закладах вищої освіти.

**Предметом дослідження** є теоретичні й методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти на основі технологій STEM-освіти.

Для досягнення зазначеної мети та розв'язання завдань дослідження використано такі **методи дослідження**:

*теоретичні:* аналіз фундаментальних психолого-педагогічних і спеціальних джерел, дисертацій, стандартів вищої освіти, чинних програм, підручників, методичних посібників і публікацій, що віддзеркалюють проблему дослідження з методики навчання фізики з урахуванням тенденцій інноваційного розвитку освіти (п. 1.1; 1.2; 1.3); вивчення наукових праць з методики навчання фізики студентів технічних ЗВО (п. 1.4); дослідження англomовних джерел з виявлення еволюції становлення STEM-освіти (п. 2.1); з'ясування сучасних фізичних наукових положень, досягнень, тенденцій розвитку методики навчання фізики в технічних ЗВО на засадах STEM-

освіти (п. 2.2); виокремлення основ формування моделі освітньо-наукового STEM-середовища та поняття STEM-компетентностей (п. 2.3–2.4); аналіз літератури й наукових джерел використання фундаментальних наскрізних генеруючих понять, зокрема симетрії, у навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін у технічних ЗВО (п. 4.1.; 4.2);

*емпіричні*: розроблення методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти, а саме виокремлення теоретичних і методичних засад навчання фізики (п. 3.1); формування фундаментальних фізичних понять сучасними засобами STEM-освіти (п. 3.2; 3.3; 4.3); виокремлення теоретико-організаційних функцій самостійної роботи студентів на основі STEM-технологій та використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у навчанні фізики (п. 3.4); обґрунтування основних вимог до розв'язування фізичних задач із урахуванням STEM-освіти та укладання робіт фізичного практикуму на основі технологій STEM-освіти (п. 4.4); діагностика (анкетування, опитування) для з'ясування рівня зацікавленості й активності студентів у навчанні фізики з використанням STEM-технологій (п. 5.2); педагогічний експеримент (констатувальний, формувальний) (п. 5.1); експериментальна перевірка методики навчання фізики з використанням STEM-технологій у технічних ЗВО (п. 5.2.); експертне оцінювання навчально-методичного забезпечення (п. 5.3).

#### **Наукова новизна дослідження:**

*уперше*: розроблено теоретичні й методичні засади навчання фізики на основі технологій STEM-освіти в технічних ЗВО; *обґрунтовано* закономірності формування моделі освітньо-наукового STEM-середовища, компонентами якої є моделювання, навчальний фізичний експеримент, хмарні технології, професійний, компетентнісний, міжпредметний, інтеграційний та професійно зорієнтований складники; *створено* концепцію STEM-освіти для технічного ЗВО, де віддзеркалено послідовність етапів концептуалізації, адаптації, безпосередньої реалізації, активного продуктивного використання й розвитку нововведень; *установлено*

дидактичні вимоги до розв'язування фізичних задач на основі STEM-технологій; *обґрунтовано* критерії технологічності STEM-освіти в навчанні фізики; *визначено* особливості методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти; *розроблено* педагогічні умови навчання фізики студентів технічних ЗВО в контексті STEM-освіти: а) створення освітніх програм і курсів для формування технічно складних навичок майбутніх фахівців технічної галузі на основі новітніх наукових знань, технологій, інженерії та математики; б) розвиток креативного напрямку (індекс креативності), активізації розумової діяльності суб'єктів навчання на основі синтезу науки й педагогічного мистецтва; в) розроблення методики автономізації навчання суб'єктів навчання та зміна функції викладача з джерела знань на організатора їхнього навчання;

*уточнено* факторно-критеріальну дефініцію STEM-компетентності студентів у технічних ЗВО; *систематизовано* термінологічну систему STEM як складника інновації (STEM-освіта, STEM-грамотність; STEM-лабораторії; STEM-спеціальності; STEM-центр та ін.); *виокремлено* особливості міждисциплінарної інноватики в навчанні фізики з позиції розвитку STEM-освіти (мультидисциплінарність і трансдисциплінарність); *узагальнено* прийоми професійної підготовки фахівців технічних ЗВО, побудованих на педагогічних інноваціях технічної підготовки в умовах STEM-освіти;

*дістали подальшого розвитку*: дидактичні принципи в частині формування освітньо-наукового STEM-середовища для активізації пізнавально-пошукової діяльності студентів; логіко-семантичний принцип добору навчально-наукового матеріалу й фізичного експерименту, що віддзеркалює STEM-напрямок в освіті; методичні засади проведення лекційних занять на основі STEM-технологій в умовах реалізації міждисциплінарних зв'язків фізики та професійно зорієнтованих дисциплін; методичні підходи розв'язування фізичних задач прикладного змісту на основі технологій STEM-освіти в технічних ЗВО.

### **Практичне значення одержаних результатів:**

–*розроблено* методику професійно зорієнтованого навчання фізики в технічних ЗВО засобами STEM-технологій, що забезпечує реалізацію компетентісного, міждисциплінарного, інтеграційного, системного та професійно зорієнтованого підходів і властивих їм способів навчальної діяльності студентів у технічних ЗВО;

–*упроваджено* в освітній процес методичні розробки щодо вивчення студентами актуальних питань курсу фізики зі STEM-освітнього погляду системи теоретичних схем: принципу симетрії, законів збереження, статички підйому літака в повітрі, визначення симетрії в розрахункових схемах і навантаженнях (п. 4.3);

–*апробовано* навчальні посібники: «Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням» (рекомендовано вченою радою Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету, протокол № 5 від 11.09.2014); «Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics» (рекомендовано вченою радою Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету, протокол № 5 від 29.06.2017); «Фізика. Посібник для виконання лабораторних робіт» (рекомендовано вченою радою Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету, протокол № 4 від 29.04.2013);

–*отримано* свідоцтво про реєстрацію авторського права на навчальний посібник «Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням»;

–*розроблено* концепцію «STEM-центру» та положення «STEM-центру» академії (схвалено вченою радою Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету, протокол №3 від 12.05.2017);

Результати дисертації **впроваджено** в освітній процес технічних ЗВО України: Національного авіаційного університету (довідка від 25.05.2018, № 29-74/3); Черкаського національного університету імені Богдана



Хмельницького (довідка від 28.02.2018, № 40/03); Вінницького національного технічного університету (довідка від 22.06.2018, № 15-82/1); Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (довідка від 13.04.2018, № 30-10/394); Національного центру «Мала академія наук України» (довідка від 25.05.2018, № 172/1.1/7-370); Льотної академії Національного авіаційного університету (довідка від 22.05.2018, № 01-08/1324).

Експериментальну перевірку авторських розробок здійснено в 2012–2018 рр. на факультетах: льотної експлуатації; обслуговування повітряного руху; менеджменту в процесі викладання дисципліни «Фізика» в Льотній академії Національного авіаційного університету й у вищезазначених ЗВО. В експерименті брали участь 694 студенти. Експертна оцінка з урахуванням висновків 51 експерта дозволяє підтвердити, що методика навчання фізики на основі STEM-технологій передбачає наявність освітньо-наукового STEM-середовища, практичних дидактичних засобів, системи STEM-показників і навчально-методичного забезпечення. Коефіцієнт компетентності експертів складає 0,85.

**Особистий внесок здобувача** викладено в працях, написаних разом із співавторами, у яких здобувачеві належать такі результати дослідження: розроблено 1 та 2 розділи, а також роботи фізичного практикуму в навчальному посібнику «Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням»; запропоновано лекційний матеріал з фізики та підбрано фізичні задачі в навчальному посібнику «Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics»; розкрито особливості використання інтерферометрів у навчанні фізики у публікації «Розвиток навчального експерименту на основі сучасного обладнання з фізики»; сформовано 1, 2 розділи та роботи фізичного практикуму у навчальному посібнику «Фізика. Пособие для выполнения лабораторных работ»; сформовано вступ і укладено роботи фізичного практикуму в

методичних рекомендаціях «Механика и молекулярная физика»: Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-микро» для курсантов академии всех специальностей; окреслено методичні особливості розв'язування фізичних задач у роботі «Фізика. Методичні вказівки по виконанню розрахунково-графічної роботи з фізики»; визначено основні положення про симетрію в навчанні фізики, розглянуто властивості симетрії в процесі вивчення студентами тем «Динаміка вільної частинки» та «Рух частинки під дією зовнішніх сил» у публікації «Методика вивчення положень навчання про симетрію в загальному курсі фізики для студентів нефізичних спеціальностей у вищих навчальних закладах»; витлумачено поняття трансляції як основного елемента симетрії в навчанні фізики з урахуванням компонентів STEM-освіти у публікації «Трансляція як елемент симетрії у процесі навчання фізики в технічних вузах в умовах розвитку STEM-освіти»; розкрито поняття мислення студентів як основного чинника формування самостійної пізнавально-пошукової діяльності в навчанні фізики у публікації «Формування професійного мислення студентів технічних вузів у процесі вивчення фізики»; визначено особливості навчання фізики в умовах розвитку концепції STEM-освіти в роботі «STEM-освіта як основний орієнтир в оновленні інноваційних технологій у процесі навчання фізики у вищих навчальних закладах технічного профілю»; окреслено особливості використання сучасних STEM-технологій у навчанні фізики на основі організації самостійної пізнавально-пошукової діяльності студентів у технічних ЗВО в публікації «Organization of the self-emploted work of students of technical universities at the study of physics»; розкрито поняття динамічних симетрій та їх вивчення в розділі «Механіка» в публікації «Вивчення студентами динамічних симетрій у процесі навчання загального курсу фізики у вищих навчальних закладах»; визначено властивості поняття симетрії в роботах фізичного практикуму в публікації «Вивчення фундаментальних фізичних понять із використанням властивостей симетрії на основі фізичного

та комп'ютерного моделювання в вищих навчальних закладах технічного профілю»; витлумачено інтегрований підхід та його використання до наповнення підручника в навчанні фізики на основі технологій STEM-освіти у роботі «Особливості змістовного наповнення навчального посібника з фізики для вищих технічних навчальних закладів у контексті впровадження stem-освіти (інтегрований підхід)»; виокремлено основні особливості навчання фізики засобами технологій STEM-освіти в технічних ЗВО в публікації «Особливості вивчення фізики у вищих навчальних закладах технічного профілю в умовах розвитку STEM-освіти»; проаналізовано розвиток напряму STEM-освіти в світі в роботі «Актуальність розвитку STEM-освіти в світі»; продемонстровано міждисциплінарні зв'язки фізики й безпеки польотів з виокремленням наукового та інженерного складників STEM-освіти в роботі «Наукова та інженерна складова STEM-освіти у процесі вивчення дисциплін фізики та безпеки польотів з поєднанням інтегрованого підходу»; розкрито міждисциплінарні зв'язки фізики, опору матеріалів та теоретичної механіки в контексті STEM-освіти в публікації «Використання поняття симетрії в розрахункових схемах і навантаженнях через трансдисциплінарний підхід в контексті розвитку STEM-освіти».

**Апробація результатів дослідження.** Основні положення та результати дослідження викладено й обговорено на науково-практичних конференціях різного рівня:

*Міжнародних:* «Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі» (Кривий Ріг, 2012, 2013); «Актуальні проблеми природничо-математичної освіти в середній і вищій школі» (Херсон, 2012, 2014, 2016); «Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем» (Кропивницький (Кіровоград), 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017); «Сучасна освіта у гуманістичній парадигмі» (Керч, 2013); «Засоби і технології сучасного навчального середовища» (Кіровоград, 2012, 2013, 2014); «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління»

(Харків–Кропивницький (Кіровоград), 2013, 2015, 2017); «Физическое образование: проблемы и перспективы развития» (Москва, 2014); «Сучасні тенденції навчання фізики у загальноосвітній та вищій школі» (Кіровоград, 2014, 2015); «Современный физический практикум» (Москва, 2014); «Управління якістю підготовки майбутнього вчителя фізико-технологічного профілю» (Кам'янець-Подільський, 2014); Scientific and Professional conference «Pedagogy and Psychology in the age of globalization – 2014», (Budapest, 2014); «Электронное обучение в непрерывном образовании 2015» (Ульяновск, 2015); «Проблеми інформатизації» (Харків, 2015); «Дидактика фізики як концептуальна основа формування компетентнісних і світоглядних якостей майбутнього фахівця фізико-технологічного профілю» (Кам'янець-Подільський, 2015); «Вопросы современной педагогики и психологии: свежий взгляд и новые решения» (Екатеринбург, 2016); «Проблемы и перспективы современной науки» (Москва, 2016); «Дидактичні механізми дієвого формування компетентнісних якостей майбутніх фахівців фізико-технологічних спеціальностей» (Кам'янець-Подільський, 2016); «Сучасні тенденції навчання природничо-математичних та технологічних дисциплін у загальноосвітній та вищій школі» (Кропивницький, 2016); «Інноваційні технології навчання обдарованої молоді» (Київ, 2016); «Иновационные технологии обучения физико-математическим и профессионально-техническим дисциплинам» (Мозир, 2017); «Проблеми та інновації в природничо-математичній, технологічній і професійній освіті» (Кропивницький, 2017, 2018); «Problems and prospects of specialists' professional training in terms of European integration» (Кропивницький, 2017); «STEM-освіта: стан впровадження та перспективи розвитку» (Київ, 2017); «Актуальні аспекти розвитку STEM-освіти у навчанні природничо-наукових дисциплін» (Кропивницький, 2018).

*Всеукраїнських:* «Формування компетентностей учнів і студентів засобами природничо-математичних дисциплін» (Херсон, 2012); «Актуальні проблеми і перспективи дидактики фізики» (Черкаси, 2012); «Фізика і хімія

твердого тіла. Стан, досягнення і перспективи» (Луцьк, 2012, 2014); «Сучасні проблеми та перспективи навчання дисциплін природничо-математичного циклу» (Суми, 2013); «Технології компетентнісно-орієнтованого навчання природничо-математичних дисциплін» (Херсон, 2015); «Науково-дослідна робота в системі підготовки фахівців-педагогів у практичній, технологічній та економічній галузях», (Бердянськ, 2015); «Особливості підвищення якості природничої освіти в умовах технологізованого суспільства» (Миколаїв, 2015); «Чернігівські методичні читання з фізики 2016. Формування навчального середовища, адекватного новому змісту навчання фізики» (Чернігів, 2016).

*Міжрегіональних:* «Теоретико-методичні засади вивчення сучасної фізики та нанотехнологій у загальноосвітніх та вищих навчальних закладах» (Суми, 2015).

*Міжнародних науково-практичних семінарах:* «STEM-освіта – проблеми та перспективи» (Кропивницький, 2016, 2017); «Комбінаторні конфігурації та їх застосування» (Кропивницький, 2016).

*Всеукраїнських фестивалів:* «Фестиваль STEM освіти – 2017», «Ukrainian STEM Educational Festival – 2018».

*Всеукраїнському науково-практичному форумі:* WEB-форум «Розбудова єдиного інформаційного простору української освіти – вимога часу» (Київ–Харків, 2018).

**Публікації.** Результати дослідження викладено в 56 публікаціях, з-поміж них 37 написано без співавторів. Основні наукові результати дисертації представлено 1 монографією, 1 навчальним посібником, 30 публікаціями у наукових фахових виданнях України, 3 статтями у наукових періодичних виданнях інших держав. Апробацію матеріалів дисертації представлено 6 публікаціями, 2 з яких – у матеріалах конференцій інших держав, 4 у матеріалах конференцій України. Публікації, що додатково віддзеркалюють наукові результати дослідження, представлено в 15 публікаціях: 2 навчальні посібники, 7 наукових статей, 1 авторське

свідоцтво, 1 методичні рекомендації, 1 методичні вказівки, 1 концепція, 2 положення. Загальний обсяг публікацій 106,95 авт. арк., з них 74,24 авт. арк. – частка, що належить здобувачеві.

**Кандидатську дисертацію** на тему «Методика навчання оптики в умовах профільного навчання фізики» зі спеціальності 13.00.02 – теорія та методика навчання (фізика) захищено у 2011 р. в Кіровоградському (нині – Центральноукраїнському) державному педагогічному університеті імені Володимира Винниченка. У цьому дослідженні не використано матеріали кандидатської дисертації.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел до розділів (у першому розділі подано 288; другому – 249; третьому – 138; четвертому – 198; п'ятому – 48 позицій), 5 додатків; містить 68 рисунків та 35 таблиць. Повний обсяг дисертації 622 сторінки, основний текст становить 390 сторінок (16,25 авт. арк.).

## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ В ТЕХНІЧНИХ ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ НА ОСНОВІ STEM- ТЕХНОЛОГІЙ

#### 1.1. Теоретико-методологічне обґрунтування гуманістично-освітнього упорядкування в софтизації і сервізації постіндустріального суспільства та його вплив на розвиток інноваційної системи освіти закладів вищої освіти

У Національній стратегії розвитку освіти в Україні на період до 2021 р. окреслено кардинальні зміни, спрямовані на підвищення якості й конкурентоспроможності освіти в нових економічних і соціокультурних умовах, прискорення інтеграції України в міжнародний освітній простір. Розбудова національної системи освіти в сучасних умовах з огляду на кардинальні зміни в усіх сферах суспільного життя, історичні виклики XXI ст. вимагає критичного осмислення досягнутого й зосередження зусиль та ресурсів на розв'язанні найбільш гострих проблем, які стримують розвиток, не дають змоги забезпечити нову якість освіти, адекватну нинішній історичній епосі [158]. На сьогодні визначається послідовна державна політика, спрямована на активізацію інноваційних процесів, формування інноваційної культури суспільства, підвищення інноваційно-інтелектуального потенціалу країни, її конкурентоспроможності на світовому ринку технологій, наукових знань і трудових ресурсів.

У березні 2018 р. у Верховній Раді України відбулися слухання «Національна інноваційна система України: стан та законодавче забезпечення розвитку» [175]. Предметом обговорення стали нагальні проблеми довготермінового програмування розвитку національної економіки, скоординованої діяльності органів державної влади та їхньої спрямованості на інноваційний розвиток країни; механізмів реалізації пріоритетів інноваційної діяльності та пріоритетів розвитку науки й техніки;

формування інноваційної інфраструктури та застосування механізмів державного впливу (фінансових, кредитних, податкових тощо) для досягнення інноваційних пріоритетів; підвищення рівня наукових досліджень і підготовки професійних кадрів для конкурентної економіки; формування ринку інтелектуальної власності й інноваційної культури суспільства [175].

Аналіз прийдешньої інформаційної цивілізації в межах концепції постіндустріального суспільства здійснювали зарубіжні вчені Д. Белл [18], П. Дракер [270], Т. Сакайя [223], Т. Стюарт [217], О. Тоффлер [162] та ін. Аналітичні дослідження провели також українські науковці, з-поміж яких В. Базилевич [13], Ю. Бажал [12], Л. Ємельяненко [163], М. Згуровський [288], Т. Ковальчук [286], Н. Тарнавська [228], А. Чухно [244], В. Шевчук [260] та ін.

На нашу думку, результати наукових розвідок вищезазначених дослідників віддзеркалюють поступальний рух освіти в Україні з позиції постіндустріального суспільства, який можна схарактеризувати феноменом – «нове соціально-гуманістичне упорядкування XXI ст.» (рис. 1.1). За твердженням освітян й управлінців, цей феномен XXI ст. пояснюється неминучістю ґрунтовних змін у процесах і процедурах науково-технологічного розвитку.

На рис. 1.1. представлено причини й закономірності виникнення такого впорядкування та його нову структуру, що зумовлює всі зміни в науці й освіті, зокрема як розв'язання суперечностей, що виникли в 90-х рр. минулого століття.

З огляду на аналіз змісту складників упорядкування сучасна наука практично має необмежені можливості для підкорення Всесвіту людиною. Разом з наукою через взаємодію з практикою (промисловістю, сільським господарством) розвиваються також технології. Еволюційно склалося, що розвиток науки загалом відрізняється від розвитку технологій. Історично наука від свого зародження мала розпоршені в натурфілософії не пов'язані між собою галузі знань. Після першої промислової революції спостерігається



об'єднання наукових дисциплін у більш крупні спеціалізовані асоціації, їх диференціація: міждисциплінарність, кросдисциплінарність, трансдисциплінарність тощо.



Рис. 1.1. Нове соціально-гуманістичне впорядкування кінця XX–початку XXI ст.

Розвиток техніки й технологій упродовж тривалого часу сприяв важливим відкриттям, прогресу окремої галузі, а потім і системи галузей, їх інтеграції. Ринкова економіка завдяки прискоренню науки й техніки практично проникла в усі галузі суспільства, можна спостерігати перетин у часі низки хвиль науково-технічної революції, породження нових механізмів регулювання соціально-економічного та науково-технічного розвитку, модернізацію провідних економіко-соціальних систем світу, глобалізацію та світову інтеграцію всіх галузей, зокрема науки та освіти, проте завжди виявляється випереджальний розвиток новітнього знання стосовно технологій.

Унаслідок окреслених змін виникло поняття софтизація, яке означає процес зміни ресурсного забезпечення із збільшенням його нематеріального

складника його розвитку, тобто спостерігається домінування творчого потенціалу працівників, наукоємність сучасного виробництва та підвищення рівня просування творчого потенціалу людини, її професіоналізму, ерудиції та ін. Ми створили модель (рис. 1.2) взаємодії процесів софтизації та сервізації (джерел ресурсів) у ланцюзі «наука – інноваційна інфраструктура – інноваційна система закладу вищої освіти».



Рис. 1.2. Модель взаємодії процесів софтизації й сервізації (джерел ресурсів) у ланцюзі «наука – інноваційна інфраструктура – інноваційна система закладу вищої освіти»

Пропоновану модель сформовано з використанням теорії постіндустріального розвитку, що ґрунтується на теорії позитивізму й розглядає розвиток суспільства з позицій процесу наукового пізнання, технології суспільного виробництва, єдності науки й техніки, освіти й технологій. Модель визначає структуру матеріальних та нематеріальних

ресурсів, які в процесі софтизації перетворюються на сервісні пропозиції інноваційної структури і в єдності становлять інноваційну систему ЗВО.

Суб'єкти інноваційної інфраструктури ЗВО, що мають власну матеріальну й кадрову базу, створюють сферу інноваційних послуг.

За словами В. Іноземцева [94], теорія постіндустріального суспільства є на сьогодні єдиною соціальною метатеорією, яку світ сприйняв повною мірою, що засвідчує наукову популярність та авторитет цієї теорії. Її особливість полягає в тому, що вона розвивається природно, еволюційно, не допускає політичних суперечностей, визначає шляхи суспільного розвитку, цивілізаційного прогресу. Теорія не обмежується технологічним детермінізмом і підтримує широкий погляд на розвиток суспільства, обґрунтовує перехід від суспільства матеріальної продукції до його сервізації, розкриває роль і значення інформації, моделювання, математики, науки та освіти, аналізує співвідношення матеріального виробництва й сфер послуг. Окрім того, окреслює роль людини, розвиток її особистості. За такого підходу працю вважають творчою діяльністю й формують нову якість постматеріальної мотивації суб'єктів навчання. Теорія постіндустріального суспільства не заперечує інших теорій, а інтегрує їх, є важливим та ефективним засобом пізнання тенденцій у розвитку суспільства. Використання її потенціальних можливостей у пізнанні забезпечує науково-технологічний розвиток загалом.

Провідними теоретиками теорії постіндустріального суспільства є В. Іноземцев [94], А. Бузгалін [29], В. Базилович [13], Т. Ковальчук [286] та ін. Учені досить ґрунтовно розкрили методологію дослідження такого суспільства, обґрунтували шляхи адаптації освіти України до нових умов. Довели, що наявність таких властивостей суспільства, як незворотність, спрямованість і закономірність змін матеріального об'єкта – зумовлює процес його розвитку, унаслідок чого утворюється інший якісний стан об'єкта, інша система, а відповідно інші елементи, зв'язки між ними, сфера функціонування.

Поняття «розвитку» сформульовано Г. Гегелем. Його зміст розглянуто згідно із законами діалектики. Учений ототожнював мислення й свідомість, тому закони діалектики він визнавав прийнятними й для свідомості [45]. На думку, Г. Гегеля принципами діалектики процесу розвитку є взаємозв'язані між собою й обґрунтовані законом єдності та боротьби суперечностей такі складники:

- загальний взаємозв'язок усіх явищ;
- загальність руху й розвитку;
- джерело розвитку – становлення й розв'язання суперечностей;
- взаємозв'язок кількісних і якісних змін як вияв механізму розвитку;
- розвиток через заперечення;
- заперечення як вияв спрямованості процесу розвитку;
- суперечність спільності загального й одиничного, сутність та з'явлення форми й змісту, потреби й випадковості, можливості й дійсності.

Безумовно, Г. Гегель розглядав також інші закони діалектики. Для вченого прогресом був перехід від нижчого до вищого, від менш досконалого до більш довершеного в невіддальному зв'язку з поняттям регрес. Важливо, що за умови постійного надходження до системи флуктуацій може виникати хаос, вищою точкою якого є біфуркація. Практично всі процеси є нерівноважними, тому хаос виявляється завжди і всюди. Спостерігачі його не помічають, оскільки здебільшого він розвивається або тривалий час, або миттєво. Такому розвитку властива нелінійність, тому доцільно розглянути поняття лінійної модернізації як процесу трансформації об'єкта дослідження.

У працях В. Горбатенко та С. Бульбенюк виокремлено органічну та неорганічну модернізацію [54]. Органічна виявляється на основі власних ресурсів розвитку завдяки еволюції суспільства, змінам суспільної свідомості та культури [54, с. 24].

Неорганічну модернізацію спрямовано на те, щоб наздогнати більш розвинену систему в її розвитку для подолання історичної відсталості [54, с. 27].

На наш погляд, розвиток є комплексним поняттям, гомеостатичною системою з поліпшеною пристосованістю до зовнішніх умов. Траєкторія розвитку здійснюється за горизонтальним ритмом змін системи (циклічність, повторюваність) та вертикальним, якщо відсутній розвиток системи, тобто наступний виток спіралі стоїть вище попереднього. З огляду на це формується поняття методологічного підходу виникнення концепції ідеї сталого розвитку. Поняття *сталий розвиток* віддзеркалює слабоструктурований рівноважний стан системи. Такий розвиток забезпечує переважно інтенсивний, диференційований вид покращення творчого потенціалу суб'єктів навчання. За такої умови з'являється потреба в системних дослідженнях процесу трансформації інформаційного суспільства, що здебільшого пов'язано з недостатнім засвоєнням методології пізнання сутності поняття науково-технологічного розвитку. Вона становить єдність взаємопов'язаних і взаємообумовлених функціональних елементів, спроможних відновити розширене відтворення своєї інтегративної якості власними фінансовими активами.

Окреслені орієнтири дозволяють зробити висновок, що їх реалізацію можна успішно здійснити засобами STEM-освіти та STEM-технологій. На основі представленого вище аналізу ґрунтовних досліджень можна стверджувати, що забезпечення інноваційної спрямованості освіти потрібно здійснювати в процесі створення інноваційних освітніх структур. Ми вважаємо, що такою структурою є STEM-освіта, яка добре вписується в реформування системи освіти з огляду на вимоги європейських стандартів і збереження культурних та інтелектуальних національних традицій, упровадження навчальних програм, спрямованих на формування в студентів творчого мислення та позитивного ставлення до інновацій [172].

Реформування сучасної освіти та модернізація методики навчання фізики на основі STEM-технологій пов'язано зі зміною освітньої парадигми, що корегує сукупність теоретичних принципів процесу педагогічної

діяльності [9], тому виникає проблема уточнення поняття «парадигма» в контексті новітніх підходів.

За твердженням американського вченого Т. Куна, поняття «парадигма» – це «визнані всіма наукові досягнення, які протягом деякого часу дають науковому співтовариству моделі постановки проблем та їх розв'язання» [122, с.11].

Сучасні філософи зазначають, що парадигма – це «сукупність сталих і загальнозначущих норм, теорій, методів, схем наукової діяльності, яка пропонує єдність у тлумаченні теорії, в організації емпіричних досліджень та інтерпретації наукових досліджень» [211, с. 512].

Парадигму в освіті В. Безрукова окреслює як «знання про будову педагогічного процесу, і ця парадигма прийнята педагогічним співтовариством як істина» [16, с. 95], а Н. Бордовська та А. Реан пропонують таку класифікацію педагогічних парадигм:

- *знаннєва* визначає завдання освіти у взаємозв'язку з розвитком практичного й теоретичного досвіду студента;

- *культурологічна* орієнтує на засвоєння елементів культури, навчання, поведінки, спілкування; розвиток культури й суспільства сприяє постійному розширенню елементів культури, зокрема додає до них оволодіння основами фізичної й естетичної культури, екології, економіки тощо;

- *технократична* виявляється у світогляді, основними рисами якого є верховенство засобів над ціллю, завдань освіти над сенсом, технології цивілізації над загальнолюдськими інтересами, техніки над цінностями;

- *педоцентристська* вважає процеси виховання й навчання основними факторами розвитку студента, де провідною є роль викладача;

- *гуманістична* визначає студента вищою цінністю, орієнтує на зміни його способу мислення, ґрунтується на гуманістичних моральних нормах, співпереживанні, співучасті й співпраці;

– *дитиноцентристська* орієнтує на створення сприятливих умов для розвитку індивідуально-особистісних особливостей, здібностей та інтересів дитини як суб'єкта навчання;

– *соціетарна* віддзеркалює еталонні принципи державного керівництва суспільством, що визначають характер та мету виховання й освіти;

– *людино-орієнтована* або *антропологічна* враховує інтереси та індивідуальні особливості студентів [24, с. 30–31].

На основі досліджень учених ми виокремили важливі для нашої роботи освітні парадигми (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

### Характеристика освітніх парадигм [16]

№ з/п	Назва парадигми	Характеристика
1.	Езотерична	У цій парадигмі розглянуто містицизм земних предметів і дій студентів, що був методом наділення змістом та згортанням великої інформації у вагомій блоці знань, а також засобом їх зберігання.
2.	Калокагативна	Розглядає ідеї всебічного розвитку студентів, спеціальної підготовки викладача, деякі методи навчання: бесіди, міркування вголос, система діалогу.
3.	Догматичне навчання	Ця система довела до досконалості ідею визначення «стандарту освіти», базового знання.
4.	Пояснювально-ілюстративне навчання	Пов'язане з появою підручників; методична система будується на розповіді викладача та поясненні матеріалу. З'явилися навчальні екскурсії, ознайомлення з промисловим об'єктом і практика на робочому місці, експеримент, що відтворюється на заняттях.
5.	Адаптивне навчання	Орієнтує на пристосування до людини як соціальної істоти, до її потреб і можливостей, практично зорієнтовану мотивацію учіння, прихильність викладача та студента один до одного; диференціація й інтеграція навчання; профільне навчання має коріння в системі адаптивного навчання.
6.	Розвивальне навчання	Полягає в підвищенні темпів розвитку природних можливостей студентів, складанні спеціальних методик навчання та освітніх технологій, вимагає особистісно-професійного розвитку викладача.
7.	Культурологічна	Розглядає етнокультурні особливості народів різних національностей незалежно від того, у якому культурному та соціальному середовищі вони проходять навчання.

У ХХІ ст. невіддільним складником розвитку й методики навчання фізики в технічних ЗВО є інновації – об'єкти впровадження або процес, що сприяє появі чогось нового – новації [237].

Згідно з моделлю взаємодії процесів софтизації й сервізації (джерел ресурсів) у ланцюзі «наука – інноваційна інфраструктура – інноваційна система закладу вищої освіти» (рис.1.2) інноваційність є визначальною характеристикою будь-яких сучасних процесів, а саме: науково-технічних, виробничих, соціально-економічних, суспільних. Перехід до інноваційного розвитку ЗВО має визначальне соціально-економічне та гуманістичне значення, оскільки основна увага належить процесам перетворення людини з агента науково-технічного й соціального прогресу на його реальний суб'єкт, розгортання творчого потенціалу людини і його реалізації [92].

На початку ХХ ст. представники економічних і соціологічних наук дослідили поняття інновації. Фундаторами теоретичних першооснов інноватики як нової галузі наукового знання були Г. Тард [226], М. Кондратьєв [102], Й. Шумпетер [261].

Загально визнано, що в дослідженнях інноваційного процесу виокремлено проблему людини як суб'єкта творчості. За твердженням Г. Тарда, змістом соціалізації індивіда є не тільки опанування соціальними нормами й цінностями, але й освоєння нововведень [227].

Теоретико-методологічні засади інноваційних освітніх процесів обґрунтовано в контексті загальної стратегії органічної модернізації освіти, прогнозування тенденцій її розвитку (С. Гончаренко [48], В. Загвязинський [74], І. Зязюн [83], В. Краєвський [104], В. Кремень [107], С. Поляков [177], І. Козловська [230], Н. Юсуфбекова [263] та ін.).

Французький соціолог Г. Тард у праці «Соціальна логіка» (1901 р.) [226] і «Соціальні закони. Особистісна творчість серед законів природи й суспільства» (1906 р.) [227] досліджував логіку еволюції суспільства, ставлення в ньому до винаходів і нововведень, які розцінювалися як індикатор суспільного прогресу. Сутність нововведення



полягає не тільки в задоволенні наявних потреб, а й у продукуванні нових, спрямованих на зміни в життєдіяльності фахівців. Учений зауважує, що освоєння нововведень можливе не тільки через пристосування й наслідування, але й через конфлікти, боротьбу між традиціями та інноваціями [226].

За принципом інноваційного потенціалу І. Богданова [21] окреслює такі нововведення: удосконалення, пов'язані з модифікацією, раціоналізацією, модернізацією; радикальні нововведення, які передбачають з трансформацією традиційної системи в альтернативну; комплексні нововведення, що охоплюють елементи вдосконалення та трансформації.

Аналіз об'єктивних факторів макросоціального й мікросоціального рівня дав змогу М. Кондратьєву обґрунтувати теорію довгих хвиль, яка пояснює циклічність інноваційних процесів тривалістю 50–55 рр. У своїх дослідженнях науковець доводить, що в основу розвитку суспільства є динаміка великих інновацій, які широко впроваджуються у виробництво. Одним з важливих положень, зафіксованих ученим, є встановлений взаємозв'язок двох умов впливу змін у науці й техніці на динаміку розвитку суспільства: 1) поява великих й адекватних запитам практики винаходів і відкриттів; 2) наявність господарських можливостей застосування цих винаходів і відкриттів [102; 103].

За припущенням Й. Шумпетера, нововведення з'являються нерівномірно, а у вигляді майже одночасно освоєваних об'єднаних інновацій-кластерів (лат. *classis* – розряд) – сукупності базисних нововведень, що визначають технологічний устрій упродовж тривалого часу. Вагомим внеском Й. Шумпетера в розвиток концепції інновації є його положення про суттєву роль суб'єктів ініціації інноваційних процесів. Дослідник також описав механізм поширення інновацій – прийняття людьми усвідомленого рішення щодо їх реалізації [261, с. 334].

Про значущість інновацій Дж. Хрестіансен зауважив: «Велика хвиля інновацій, яка прокотилася в таких галузях, як електроніка, розроблення

програмного забезпечення, телекомунікації, фізика та біологія, зачепила всі галузі в усіх місцях планети». Раніше існувало правило: «Не здійснюй інновації до тих пір, поки не будеш змушений це зробити». Правило сьогодення – «Інновації або загибель!» [273, с. 2].

У процесі аналізу праць багатьох дослідників ми виокремили *ознаки нововведень*, що характеризуються масштабністю в системі освіти та інноваційністю потенціалу: 1) на макрорівні відбувається трансформація нововведень, що спричиняє до радикальні зміни та зумовлює оновлення всієї системи; 2) на мезорівні відбувається укомплектування за основними напрямками взаємопов'язаних нововведень у кожному компоненті системи освіти: дошкільної, загальної середньої, позашкільної, професійної, вищої, післядипломної; 3) на мікрорівні відбувається вдосконалення, тобто модернізація, модифікація та раціоналізація традиційного педагогічного процесу, що зумовлює локальність або одиничність нововведень, не пов'язаних між собою, тобто зміни, які зумовлюють поелементні видозміни.

Основною метою впровадження інновацій у систему вищої освіти в Україні визначено всебічний розвиток студентів та підвищення освітнього рівня особистості для забезпечення впровадження інноваційних процесів в Україні та її європейського вибору [76]. На сучасному етапі реформа вищої освіти України здійснюється у двох напрямках: національної стратегії соціально-економічного розвитку; співпраці та інтеграції в європейський і світовий освітній простір [11].

Стратегією реформування вищої освіти в Україні до 2020 р. визначено вищу освіту як фактор підвищення конкурентоздатності вітчизняної економіки, важливості забезпечення підготовки кваліфікованих спеціалістів для ринку праці та посилення практичної підготовки; покращення зв'язку ЗВО з бізнесом; перетворення економічної моделі України на економіку, що ґрунтується на знаннях; стимулювання інноваційного розвитку освіти та економіки; спрямованість на створення нових робочих місць, компаній та бізнесів [213].

З огляду на окреслені напрями, оновлена стратегія реформування освітньої сфери вимагає принципово нових наукових досліджень, обґрунтованого й послідовного впровадження нових науково-педагогічних технологій, раціональних й ефективних підходів до організації наукової та інноваційної діяльності в освіті [158].

Порівняльне вивчення складників індексу глобальної конкурентоспроможності (Global Competitiveness Index) України за даними Всесвітнього економічного форуму за 2017–2018 рр. засвідчує, що Україна посідає 81-е місце з-поміж 137 країн, найвище місце в якому має складник Вища освіта в Україні – 35-е місце з-поміж 137 країн світу [271].

У Національній доктрині розвитку освіти в Україні визначено, що освіта має стати стратегічним ресурсом забезпечення національних інтересів, зміцнення авторитету й конкурентоспроможності держави на міжнародній арені [159], проте якість та ефективність освіти, темпи й глибина перетворень неповною мірою задовольняють потреби студента, суспільства й держави на рівні глобалізації, змін технологій, переходу до інформаційно-технологічного суспільства, утвердження пріоритетів сталого розвитку [76].

Особливе місце в загальнодержавній системі освіти України посідають ЗВО, які передовсім, повинні працювати на перспективу розвитку суспільства. Академік В. Андрущенко зазначає, що технічні ЗВО покликані формувати інтелект нації, оскільки від цього залежить її майбутнє [3].

Парадигму розвитку освіти України в XXI ст., яку окреслено в Національній доктрині, зокрема вищої технічної освіти, зумовлюють якісні характеристики суспільства та його майбутнього [101]. Науковці [205; 208; 255; 256] характеризують XXI ст. за тенденцією оцифрування: розвиток інформаційних технологій, комп'ютеризація, системне програмування, використання лазерної техніки й мікропроцесорів, застосування телекомунікацій зі зворотним зв'язком, використання STEM-технологій та цифрових лабораторій тощо. Такий підхід змінює ритм і стиль суспільного й індивідуального життя студентів, оскільки вони стають інтенсивнішими,

індивідуально відповідальнішими, творчими [101]. Вищезазначене зумовлює потребу у формуванні нових вимог до якості освіти, насамперед технічної на засадах технологій STEM-освіти.

З позицій розвитку інноваційної діяльності в технічних ЗВО ми визначили напрями нововведень в освітній діяльності технічних ЗВО (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2

**Основні напрями нововведень в освітній діяльності ЗВО в контексті розвитку інновацій в Україні**

№ з/п	Назва напрямку	Характеристика
1	2	3
1.	Гуманізація	Відбувається завдяки встановленню взаємоповаги між студентами та педагогами, їх орієнтації на збереження й зміцнення стану здоров'я й почуття власної гідності, на розвиток особистісного потенціалу тощо.
2.	Гуманітаризація	Зорієнтованість на усвідомлення особистістю цінностей різних культур і народів, різних професій і спеціальностей, на економічну та правову освіту.
3.	Диференціація	Орієнтація всіх учасників освітнього процесу на задоволення та розвиток своїх інтересів, нахилів і здібностей. Здійснюється різними способами: поділ навчальних дисциплін на обов'язкові та за вибором, поділ ЗВО на елітні, масові та спеціальні.
4.	Диверсифікація	Широке коло ЗВО, освітніх програм, органів управління.
5.	Стандартизація	Реалізація набору обов'язкових навчальних дисциплін у чітко визначеному обсязі.
6.	Багатоваріативність	Виявляється у виборі типу ЗВО, диференціації умов навчання залежно від індивідуальних особливостей студента.
7.	Багато-ступеневість	Виявляється у виборі темпу навчання у ЗВО залежно від умов навчання та від індивідуальних особливостей студентів.
8.	Фундаменталізація	Підсилення взаємозв'язку теоретичної та практичної підготовки студента до життєдіяльності в сучасних умовах.
9.	Інформатизація	Пов'язано із широким і масовим використанням обчислювальної техніки та інформаційних технологій в ЗВО в процесі використання сучасної аудіо- та відеотехніки, комп'ютерів, STEM-технологій, ІТ-технологій.
10.	Індивідуалізація	Урахування та розвиток індивідуальних особливостей під час організації всіх форм взаємодії учасників освітнього процесу.
11.	Безперервність	Означає організацію постійної освіти студента протягом усього життя.

У науці нововведення класифікують за критерієм [24] співвіднесеності нового з традиційним у педагогічному процесі, масштабності нововведення, інноваційності потенціалу.

Одним з нововведень у сучасній світовій освіті є STEM. Основну сутність STEM-поняття, STEM-компетентностей, STEM-технологій ми розглядаємо як засіб методики навчання фізики.

Учені здійснили низку досліджень, у яких окреслили суть і роль STEM у сучасній освіті, зокрема Н. Гончарова [51; 52] (глосарій основних термінів STEM-освіти) розглянула основні складники професійної компетентності викладача в інноваційній, науково-технічній системі навчання STEM; схарактеризувала методологічні основи впровадження STEM-освіти; О. Гриньова та І. Цунікова [56] розкрили методологічні, науково-методичні аспекти щодо впровадження STEM-освіти в Україні; О. Коваленко, О. Сапрунова [99] дослідили сутність STEM-освіти та перспективи її розвитку в країнах Європейського Союзу (ЄС) та Сполучених Штатах Америки (США) як нового напрямку в науці, пов'язаного з упровадженням перспективних інноваційних освітніх технологій і методів; О. Лозова, С. Горбенко та Н. Гончарова [135] обґрунтували вплив засобів STEM-навчання на реалізацію дослідної, експериментальної, конструкторської та винахідницької діяльності в освітньому процесі позашкільної освіти; О. Патрикеева [168; 169; 170] дослідила методологічні основи впровадження STEM-освіти; обґрунтувала закономірності створення STEM-центрів, STEM-програм; М. Росток [189] вивчала проблему розкриття основних ідей упровадження STEM-підходу в систему української освіти; І. Савченко [194] проаналізувала проектні форми організації дослідницької діяльності учнів та студентів з урахуванням STEM-підходу; О. Стрижак [215; 216] дослідив міждисциплінарний та трансдисциплінарний підхід у розвитку STEM-освіти; І. Сліпухіна [205; 206; 207; 208; 279; 280] проаналізувала новий освітній напрям STEM, установила дидактичні особливості STEM-освіти.

У вказаних дослідженнях учені виокремлюють поняття фундаменталізації як невіддільної частини інноваційної освіти, зокрема впровадження STEM-технологій, що актуально в процесі розвитку освіти XXI ст., акцентують увагу на софтизацію й сервізацію інноваційної інфраструктури, визначають підвищення ролі та місця нематеріальних факторів і послуг у розвитку національної інноваційної системи.

Фундаменталізація – посилення взаємозв'язку теоретичної та практичної підготовки студента до життєдіяльності, або, з іншого погляду, фундаменталізація є процесом якісної зміни вищої освіти на основі принципу її фундаментальності. Фундаментальність освіти визначається через ґрунтовність, глибину й міцність знань; посилення взаємозв'язку теоретичної та прикладної підготовки молодого покоління до життєдіяльності; спрямованість, яка спирається на універсальні знання, формування загальної культури, розвиток наукового мислення [41, с. 122].

Фундаментальність фізичної освіти є основним принципом навчання фізики в технічних ЗВО, саме знання основних фундаментальних законів дозволить у подальшому орієнтуватися в техніці, технології, де розкриваються основні фізичні закони на засадах STEM-освіти. STEM-освіта формує комплекс деяких якостей для студента, а саме: критичне мислення, навички творчості, робота в команді, здібності з інженерії та програмування. Досягнення відповідної мети в навчанні фізики можна здійснювати інтеграцією STEM-дисциплін через навчально-дослідницьку міждисциплінарну діяльність [205, с. 83–95], що потребує впровадження нових методичних підходів і STEM-засобів у методику навчання фізики.

За твердженням І. Чернецького та І. Сліпухіної фізико-математичний контент є підґрунтям у навчанні фізики, зорієнтованим на STEM, однак його реалізація передбачає насамперед використання інженерного методу дослідження (інженерного проектування), до складу якого входять такі етапи: визначення сутності проблеми, попереднє дослідження, визначення

вимог, мозковий штурм, розроблення й тестування прототипу, оцінювання результату, внесення змін і подання отриманого результату [208, с. 224–225].

На думку Г. Дутки [70], ефективність фундаменталізації вищої технічної професійної освіти забезпечується лише формуванням та впровадженням системи фундаментальних знань для конкретного профілю професій. Створення такої системи можливе за умови координації підходів: діяльнісного, кібернетичного, синергетичного тощо [70].

Сучасний рівень науково-технічного прогресу підвищує значущість технічного складника в підготовці фахівців, що вимагає: переведення процесу навчання фізико-математичних та загальнотехнічних дисциплін ЗВО на значно вищий рівень, особливо з використанням STEM-технологій навчання для супроводу та організації пізнавально-пошукової діяльності студента. Використання STEM-технологій як засобу навчання в методиці навчання фізики з поєднанням інтеграційного, міждисциплінарного, компетентісного, системного та професійно зорієнтованого підходів дозволяє посилити професійну спрямованість підготовки майбутнього фахівця з технічного напрямку.

Формування фундаментальних знань у процесі вивчення природничих дисциплін Л. Липова [131] пропонує розглядати методами наукового пізнання, межею дії природних законів та уявленнями про загальні закони природи.

У дослідженні Г. Шатковської [262] фундаменталізацію освіти розглянуто як проблему цілісності освіти та виокремлено принципи фундаменталізації знань. У розширеному значенні принцип фундаменталізації освіти передбачає поглиблення теоретичної загальноосвітньої, загальнонаукової, загальнопрофесійної підготовки студентів і розширення профілю їхньої професійної підготовки на основі STEM-технологій у технічних ЗВО.

Теорія змісту, запропонована В. Краєвським [104; 105], дала змогу виокремити рівні функціонування змісту фундаментальної професійної освіти:

філософський рівень (загальний); рівень педагогічного проектування (загальноосвітня; техніко-технологічна; професійна підготовка); рівень навчального предмета (зв'язки фундаментального змісту конкретного навчального предмета та між предметами); рівень навчального матеріалу (фундаментальний зміст навчального матеріалу); рівень структури особистості (віддзеркалення результату засвоєння фундаментального змісту).

Ми поділяємо думку В. Попкова, що «...фундаменталізація вищої освіти передбачає поглиблення загальнотеоретичної, загальноосвітньої, загальнонаукової і загальнопрофесійної підготовки студентів і розширення профілю їх професійної підготовки» [183, с. 39]. Науковець наголошує на тому, що в науці є різні визначення фундаменталізації, а саме: «Еквівалентом фундаменталізації змісту освіти не може бути статус фундаментальності окремих наук по відношенню до відповідних дисциплін ... У змісті освіти серед великої кількості частинних явищ потрібно виділити інваріантні структурні одиниці наукових знань. Відповідно фундаментальні знання стануть тим знанням, що пояснюють зміст спостережуваних у даній спеціальності фактів і явищ. Студенти, засвоївши такі знання, зможуть у подальшому самостійно розібратися з рештою випадків без спеціального навчання...» [176, с. 50].

Зокрема О. Сергєєв фундаменталізацію фізичної освіти вбачав у потребі, спричиненій прискоренням науково-технічного прогресу, що вимагає навчати майбутніх фахівців швидко адаптуватися в мінливих ситуаціях. На думку вченого, фундаменталізацію освітнього процесу, потрібно спрямувати на посилення взаємозв'язку теоретичної й практичної підготовки та формування цілісної наукової картини навколишнього світу, на індивідуальний професійний розвиток студента, що в сукупності й забезпечує високу якість освіти [199].

У працях М. Чіталіна [252] розмежовано три лінії шляхів фундаменталізації змісту навчального матеріалу з позиції професійно-орієнтувальної функції, а саме: 1) визначення змісту навчального предмета з



урахуванням його особливостей; 2) наступність та теоретичне узагальнення базових навчальних елементів; 3) психологічні й педагогічні особливості сприйняття, засвоєння, застосування, аналізу, синтезу навчального матеріалу студентом.

Концептуальні засади змісту фізичних величин обґрунтував С. Гончаренко [48]. З-поміж них назвемо такі:

- засвоєння сучасних галузей науки на основі вивчення генезису базових навчальних елементів і способів діяльності студентів в освітньому процесі;

- наступність змістових ліній фізичних дисциплін і варіативність способів розв'язування навчальних та практичних завдань на рівні міждисциплінарних взаємозв'язків;

- створення умов (психологічних, педагогічних, організаційно-методичних, матеріально-технічних) для розвитку пошукової й творчої активності студентів під час розв'язування навчальних завдань.

Науковець О. Коновал [101] розглядає фундаменталізацію фізичної освіти як досягнення нею освітніх цілей, що реалізуються в організованій цілеспрямованій педагогічній діяльності студентів та викладачів. Учений сформулював п'ять провідних функцій щодо навчання фізики: методологічну, професійно-орієнтувальну, розвивальну, прогностичну, інтегративну. Ці функції визначено так [101]:

- можливість використання методологічно важливих та інваріантних знань з фізики, важливих для професійної діяльності студента (методологічна функція);

- взаємопроникність фізичної освіти в практичну діяльність (професійно-орієнтувальна функція);

- розвиток пізнавальної активності та самостійності студентів (розвивальна функція);

– системність засвоєння фізичних та професійно зорієнтованих дисциплін на основі глибокого розуміння сучасних проблем фізики (інтегративна функція).

У дослідженнях Н. Подопрігори окреслено концепцію фундаментальності змісту вищої освіти педагогічних ЗВО як системоутворювальну, а фундаментальність навчання як один із пріоритетів і найважливіших напрямів реформування системи вищої освіти [173].

У дослідженні В. Краєвського виокремлено три основні концепції розвитку фундаменталізації в освіті, а саме: сцієнтична, холістична, культурологічна [104]. Підґрунтям сцієнтичної концепції є абсоція ролі науки у формуванні культури студента, тому, змістом навчання фізики в технічному ЗВО повинні стати фундаментальні основи науки.

Холістична концепція трактує те, що сукупність знань, умінь і навичок студентів є метою формування та розвитку всебічно розвиненого студента й сприймається як поглиблена підготовка основоположних галузей науки, взаємопов'язана із знаннєвою парадигмою освіти.

Ми вважаємо, що з позиції цієї концепції потребують уточнення теоретичні та методологічні засади інтеграційного підходу в системі: фізика та професійно зорієнтовані дисципліни з поєднанням STEM-технологій, що вивчаються студентами технічних ЗВО в умовах нового соціально-гуманістичного упорядкування кінця ХХ–початку ХХІ ст. Розгляд ієрархії взаємозв'язків щодо підготовки кваліфікованого фахівця з технічного напрямку та врахування фундаментальності фізики дали змогу виокремити три складники: психолого-педагогічний інваріант, фізико-математичний та методичний.

Фундаменталізація освіти передбачає збільшення її зорієнтованості на вивчення базових законів природи й суспільства, що стимулює студентів до самостійних пошуків з розв'язання проблем в умовах невизначеності, у критичних і стресових ситуаціях, а також у тих випадках, коли він натрапляє на нові складні природні й соціальні явища [84].

У процесі дослідження професійної спрямованості навчання фізики та дисциплін випускових кафедр на міждисциплінарних засадах (тобто розглядалося інтегроване навчання до тем, а не до дисциплін) [120], що мають спільну предметну галузь – фізику, ми окреслили такі напрями:

- фізика є прикладною дисципліною, де проблему фундаменталізації розв’язують на основі теорії та методики навчання фізики;

- професійно зорієнтовані навчальні предмети ґрунтуються на принципі фундаментальності, а тому їх потрібно розглядати з позицій інтеграційного підходу, з урахуванням міждисциплінарності цих дисциплін;

- психолого-педагогічні предмети доповнюють гуманістичну якість фундаментальності;

- фундаментальність є соціальною, тому методологічний вплив здійснюється через впровадження філософських законів розвитку.

На нашу думку, сформульовані проблеми засвідчують, що підвищення рівня освіти можливе завдяки здійсненню освітньої, інтелектуальної, виховної модернізації в системі освіти, й передусім у технічній вищій освіті. Уважаємо, що освітня діяльність технічних ЗВО має ґрунтуватися на таких положеннях:

- 1) зміст освіти має відповідати потребам соціального, економічного та цифрового розвитку суспільства в контексті STEM-освіти;

- 2) основним методом навчання є оволодіння вміннями самостійної пізнавально-пошукової діяльності, що забезпечує інтелектуальний розвиток особистості з упровадженням технологій STEM-освіти;

- 3) формування в покоління-Z моральних і духовних якостей на засадах національних цінностей.

Під час дослідження упровадження STEM-освіти в освітній процес з’ясовано, що розвиток та впровадження STEM-освіти як складника інноваційності впливає на органічну модернізацію методики навчання фізики в технічних ЗВО. Ця модернізація потребує врахування загальних тенденцій розвитку психолого-педагогічних аспектів технічної вищої освіти в контексті

STEM-освіти. Реформування вищої освіти в Україні [23; 36] з урахуванням іноземних надбань дало змогу виокремити такі тенденції розвитку:

1. З огляду на нове соціально-гуманістичне впорядкування кінця ХХ–початку ХХІ ст. *профілізація фізики як складника інженерно-технічних дисциплін на основі використання STEM-технологій забезпечує засвоєння студентами методів самостійного здобуття знань за модернізованою методикою навчання.* Суть профілізації в таких умовах полягає в тому, що в структурі освітнього процесу слід передбачати процес вироблення навичок пошукової, конструкторської, винахідницької діяльності в навчанні фізики в контексті STEM-освіти. Аналізуючи досвід науковців провідних країн (США, Англія, Китай, Японія) ми визначили, що чільне місце в їхній національній освіті посідають науково-технічні галузі та розвиток інновацій. Наприклад, кількість представлених патентів на інновації впродовж року у Великобританії – 22 тис., у ФРН – 30 тис., США – 75 тис., Японії – 150 тис.

2. *Модернізоване тлумачення поняття здібностей на основі досягнень психолого-педагогічної науки й ролі STEM-технології в його розвитку під час навчання фізики.* Частіше в нормативних документах [76; 77] виявляється думка про наявність можливості всіх абітурієнтів незалежно від соціального становища та розумових здібностей здобувати вищу освіту за умови кваліфікованого викладання, засвоювати складні предмети. Цей підхід має визначальний вплив на розв'язання основного питання стосовно конструювання базового змісту освіти, що є обов'язковим для всіх і відповідає вимогам сьогодення. У дослідженнях чітко [230; 240; 250; 280] простежується тенденція розширення обсягу навчального часу (близько 35%), відведеного на «основу» вищої освіти, фізики, у якій передбачено засвоєння природничо-наукових та професійно зорієнтованих дисциплін.

Особливу увагу звернено на природничо-наукову й технологічну освіту з використанням STEM-технологій, що є актуальним для STEM-освіти.

3. *Спрямовання освітнього процесу з фізики на актуалізацію творчого складника як чинника для науково-дослідної й конструкторсько-проектної*

*діяльності в контексті STEM-освіти.* На сучасному етапі розвитку освіти спостерігається стрімкий розвиток технологічних структур і вичерпність потенціалу наукової інформації, що накопичується фахівцем, оскільки використовується традиційна підготовка кадрів.

Наприклад, для інженерних знань, що здобувають студенти період «напіврозпаду» становить від 2-х до 5-ти років, тому ні самоосвіта, ні саморозвиток, ні безперервна освіта не компенсують цього розриву. Для цього потрібно модернізувати освітню систему, наприклад на основі STEM-технологій, та підвищити рівень фундаментальної підготовки з фізико-математичних і технічних дисциплін.

Вагомим компонентом наукової та технічної освіти є освоєння стратегій технологічного виробництва, яке вимагає від майбутніх кваліфікованих наукових кадрів оволодіння теоретичними аспектами здійснення стратегічних змін у процесі психолого-педагогічної адаптації.

З іншого боку, потребують посилення теоретичні дослідження в теорії навчання фізики з використанням STEM-технологій, що передбачає аналіз, оцінку, систематизацію емпіричного й узагальненого навчального матеріалу з позицій концептуальної парадигми STEM-освіти.

Виокремлення особливостей новаторського досвіду в навчанні фізики на основі технологій STEM-освіти забезпечуватиме можливість використання нових ідей, що стимулюватиме студентів до вивчення фізики як прикладної науки та розкриватиме міждисциплінарні зв'язки з професійно орієнтованими дисциплінами. Теоретичному дослідженню в навчанні фізики можуть підлягати методи, форми, способи, технології навчання й освіти, що розкриватимуть інноваційність та перспективність вивчення технічних дисциплін.

*4. Посилення диференціації та індивідуалізації освітнього процесу з фізики шляхом розвитку варіативних освітніх програм, зорієнтованих на різні категорії студентів, а також розроблення індивідуалізованих програм і визначення темпів навчання в контексті STEM-освіти з урахуванням*

*персональних особливостей і здібностей кожного студента.* На основі створення сучасних навчальних програм з фізики з урахуванням концепції STEM-освіти потрібно суттєво розширити диференціацію та індивідуалізацію навчання з максимально конкретизованим рівнем навчальних успіхів студентів. Викладач об'єктивно може перевірити досягнення студентів завдяки новітнім методикам навчання фізики з використанням STEM-технологій.

*5. Розроблення методики навчання фізики на основі STEM-технологій, зорієнтованої не тільки на інтелект студента, але й на його емоції та підсвідомість, сприяє перетворенню студента на активного учасника освітнього процесу в технічному ЗВО.* Психологи, педагоги та методисти організуються і розвивають «гайден» – служби для цілеспрямованого й усебічного вивчення особистісних якостей учнів та студентів, їх навчальної та професійної зорієнтованості, персонального консультування.

*6. Реалізація моделі взаємодії процесів софтизації й сервізації (джерел ресурсів) у ланцюзі наука – інноваційна інфраструктура – інноваційна система ЗВО актуальною є проблема визначення реальних умов упровадження принципів безперервної STEM-освіти для нових типів навчальних закладів, зокрема й неформальної освіти.* На приклад, народні будинки (Німеччина, Нідерланди); громадські мережі саморегульованої освіти (США); інформаційно-навчальні центри, суспільні зали, центри освіти жінок (Японія) [282].

*7. Посилення природничо-математичного та інженерного складників STEM-освіти, що можна реалізувати з упровадженням компетентнісного підходу до організації навчання в технічних ЗВО та впровадження кращих зразків іноземного досвіду.* Для прикладу, у технічних ЗВО США 75% часу відведено на технічні предмети [283]. Перебудова системи освіти Японії передбачала істотне підвищення викладання інженерних і технічних дисциплін, що сприяло могутньому розквіту наукової та технічної галузі цієї держави [283].

Запровадження інноваційних технологій у ЗВО західних країн спрямовано на [171] «вилучення з навчальних програм матеріалу, який має тільки історичне значення або є виключно описовим і може вивчатися факультативно; модернізацію навчальних дисциплін на основі сформованості логічного й образного мислення студентів, що полегшує розуміння й використання набутих знань у розв'язанні актуальних проблем у сфері техніки і технології; інтеграцію знань, здобутих під час вивчення суміжних дисциплін, які створюють передумову для проблемно-модульного вивчення науки дисциплін, зорієнтованих на цей процес» [171, с. 578–579].

Досвід упровадження в освіту України Болонського процесу засвідчив доцільність змін-тенденцій, які відбуваються в Українській державі останнім часом [23].

Згідно з Концепцією розвитку національної інноваційної системи [187] в подальшому передбачено розроблення системи забезпечення якості Стандартів галузевої освіти та її змісту з урахуванням рекомендацій Європейської комісії та умов входження у світовий простір вищої освіти; підвищення мобільності викладачів і студентів; розширення зв'язків між ЗВО та громадськістю [187].

Аналіз тенденцій розвитку вищої освіти в Україні в контексті STEM-освіти з позиції нового соціально-гуманістичного впорядкування кінця ХХ–початку ХХІ ст. та моделі взаємодії процесів софтизації й сервізації (джерел ресурсів) у ланцюзі наука – інноваційна інфраструктура – інноваційна система закладу вищої освіти інноваційності та фундаментальності [121; 168; 169; 189; 207; 251] дозволив зробити такі узагальнення:

1. Стрімке зростання наукової інформації, фундаменталізація забезпечують універсальне, системоутворювальне, інваріантне знання засобами STEM-технологій. Для цього пропонується формувати в студентів фундаментальне ядро знань і уявлень про поняття, явища, процеси з фізики на основі інтеграційного підходу відповідно до певних тем професійно

зорієнтованих дисциплін, що сприяє виробленню в студентів фахових компетентностей у технічних ЗВО.

Узагальнення знань за методологічною ознакою є об'єктивним критерієм формування фундаментального ядра змісту фізики зі спільними за цією ознакою дисциплінами технічного напрямку навчання.

2. Урахування психофізичних особливостей студента, який неспроможний тривалий час перебувати в розумовому напруженні через потребу опрацювання великого обсягу інформації, ми пропонуємо реалізувати з урахуванням міждисциплінарних зв'язків до навчання фізики на основі STEM-технологій, що змінює погляд на традиційне навчання.

3. Компетентісний підхід та фундаментальна підготовка студента з фізики є основою для професійного розвитку й професійної мобільності в майбутньому. Зокрема професійна мобільність забезпечує можливість на засадах самостійного навчання легко адаптуватися до нових професійних умов, освоювати нові принципи роботи, нову техніку, технології та виконувати нові професійно значущі функції засобами STEM-освіти.

Розуміння важливості фундаменталізації як дидактичного принципу до проектування змісту навчання фізики в технічних ЗВО з позицій STEM-освіти та врахування інтегрованості навчання фізики на основі STEM-освіти дозволяє виокремити такі *концептуальні засади інтегрованості навчання фізики на основі технологій STEM-освіти*:

– STEM-технології забезпечують ефективне вивчення теорії навчання фізики, оскільки застосовують базові теоретичні узагальнення з використанням комп'ютеризованих способів діяльності студентів та враховують дидактичні вимоги до організації різних видів занять; успішно з'ясовують питання міждисциплінарного, компетентісного, системного та професійно зорієнтованого підходів до навчання фізики;

– визначення змісту освіти відповідно до вимог нового соціально-гуманістичного впорядкування кінця ХХ–початку ХХІ ст. забезпечують, особливості предметної галузі – фізики та прикладної галузі – професійно



зорієнтованих дисциплін за спільною інтегративною єдністю та взаємозумовленістю емпіричного й теоретичного пізнання в контексті STEM-освіти;

– традиційний процес формування понять фізики є однорідним і лінійним, STEM-технології забезпечують нелінійність цього процесу, у якому математичний рівень узагальнень є модельним;

– наступність змістових ліній та теоретичних узагальнень базових STEM-освітніх навчальних елементів з фізики враховує прикладну спрямованість і варіативність способів розв'язання навчальних та практичних завдань з огляду на їхню міждисциплінарність;

– технології STEM-освіти з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін ураховують єдність психолого-педагогічних і змістових аспектів (абстрактно-логічного, дивергентного, теоретичного, критичного типів мислення студентів та зорієнтованість на теоретичний рівень узагальнення в розвитку мислення із застосуванням аналізу, синтезу, порівняння, узагальнення, абстрагування, класифікації, систематизації, конкретизації);

– використання STEM-засобів навчання обумовлється педагогічними, організаційно-методичними, матеріально-технічними, ергономічними умовами, що сприяє розвитку пізнавально-пошукової, дослідницької та творчої активності студентів під час розв'язання навчальних і професійно зорієнтованих завдань у навчанні фізики.

Сформовані засади, дають змогу дійти висновку, що оновлення системи технічної вищої освіти України за умов сучасних глобалізаційних процесів спрямовано на розвиток фундаментальної науки, зокрема фізики, яка потрібна для існування та розвитку суспільства в контексті STEM-освіти.

На сучасному етапі розвитку освіти актуальною є здатність викладачів навчати студентів розв'язувати проблемні ситуації, пов'язані з практичною діяльністю, з використанням інтеграційного підходу до навчання в контексті розвитку STEM-освіти. Доцільно розглядати міжпредметні взаємозв'язки

фізики з професійно зорієнтованими дисциплінами, опрацювання яких формує в студентів предметні компетентності.

Отже, здійснене нами теоретико-методологічне обґрунтування гуманістично-освітнього впорядкування в софтизації й сервізації постіндустріального суспільства та його вплив на розвиток інноваційної системи освіти ЗВО ефективно забезпечується STEM-освітою та STEM-технологіями, які є невіддільним і важливим складником професійної компетентності студентів, інноваційною діяльністю та фундаменталізацією фізичної освіти у технічних ЗВО. На цій підставі навчання фізики засобом технологій STEM-освіти передбачає формування в студентів фундаментальних фізичних знань і вмінь під час вивчення професійно зорієнтованих дисциплін у технічних ЗВО. Тенденції, пов'язані з інноваційністю, інформатизацією, комп'ютеризацією, суттєво впливають на технології навчання студентів.

Окреслені тенденції є підґрунтям для модернізації методики навчання фізики в умовах розвитку STEM-освіти, які, на наш погляд, повинні забезпечити підвищення якості фізичної освіти для подальшого навчання професійно зорієнтованих дисциплін у технічних ЗВО.

## **1.2. Формування інноваційної освітньої парадигми в соціально-гуманістичному впорядкуванні кінця XX–початку XXI ст.**

Соціально-гуманістичне впорядкування кінця XX–початку XXI ст. (див. п. 1.1) спонукало до актуалізації інноваційності в освіті, де процеси є універсальними й функціонують згідно з:

- узагальненими законами (закон періодичного інноваційного оновлення (закон діалектики), закон циклічності, закон динамічних змін);
- принципами глобалізації, прискорення темпів змін та ролі інтелектуальних ресурсів, зникнення й перебудови, випереджального впровадження послуг, життєвого циклу системи;
- комплексом умов, що визначають спрямованість та зміст нововведень і забезпечують системний рівень їх реалізації.

На підставі визначених законів ми стверджуємо, що інноваційність обумовлює поняття розвиток (зміна в часі всіх кількісних та якісних процесів системи через мінливість, спадковість і відбір); зростання (згідно із системним підходом змінюється кількість елементів системи, а відповідно йдеться про прогрес чи регрес); інноваційний розвиток (ефективне відновлення й нарощування сукупного національного ресурсного потенціалу, в нашому дослідженні – освітнього). У кожній системі, яка проходить точку біфуркації виникає нова хвиля базисних нововведень, які спричиняють виникнення нової системи. У такий спосіб відбуваються інтерференція та життєві цикли системи.

Закономірність мінливості в циклічній динаміці інноваційного розвитку основний зміст і призначення оновлення – основна функція інновацій – епохальних, базисних, STEM.

У працях М. Алексеевої та Н. Масіно [1], О. Кураленко [123], А. Воробйова і Т. Чекушиної [40] розглянуто методологічні питання інноваційного розвитку софтизації й сервізації постіндустріального суспільства. Учені довели, що еволюція зміни поколінь техніки й технологій спричиняє зміну базисних інновацій, виникнення інноваційних хвиль. За 10-річного циклу вони вважаються невеликими. За їх накладання результативна буде збільшуватися або знижуватися. Коли хвилі набувають 50-річних циклів, вони стають довготерміновими. У разі підвищувальної хвилі величина і час інноваційних підйомів більш значущі, а на спаді – менш відчутні. За твердженням А. Воробйова й Т. Чекушиної, хвилі базисних інновацій спричиняють створення нових освітніх технологічних виявів, удосконалення економічних способів виробництва, змінюють якість життя людей [40].

Прикладом може слугувати довготривалий цикл загальної теорії систем, на базі якої виникли кібернетичні цикли, цикли інформаційно мережевих технологій, а нині – цифровізації.

Взаємний вплив інноваційних циклів у суміжних та віддалених галузях діяльності (фундаментальної та прикладної науки, математичного моделювання, інженерних нанотехнологій, електроніки) унаслідок їхньої інтерференції зумовили створення нового довготривалого циклічного коливання технологічних інновацій – STEM, у яких спостерігається динаміка циклів наукової та винахідницької діяльності. STEM має власну траєкторію інноваційного розвитку й визначає синхронізований цикл інноваційного розвитку наукових, освітніх, економічних, виробничих, екологічних систем [81].

Аналіз та оцінка інноваційних хвиль не є довільним процесом, оскільки інновації визначають три суб'єктно-об'єктні групи (рис. 1.3). До них належать розробники й носії ідей, інноватори, державні структури. Функції кожної групи подано на рис. 1.3.



Рис. 1.3. Структура функцій суб'єкт-об'єктних груп інновацій

STEM виник унаслідок вивчення розвитку хвильових циклів та їх накладання, його функції дозволяють зарахувати STEM до суб'єкт-об'єктних груп інновацій, які закономірно проникли в різні галузі, зокрема й в освітянську, та визначають закономірності розвитку.

Науковці І. Дичківська [62], В. Паламарчук [166], О. Попова [178; 179], Н. Юсуфбекова [264] та інші детально розглядають основні закономірності розвитку інноваційних процесів в освіті. Ми узагальнили результати їхніх досліджень та на основі структури суб'єкт-об'єктних груп інновацій склали структуру суб'єкт-об'єктної основи інновацій в освіті (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Структура суб'єкт-об'єктної основи інновацій в освіті

Ця структура ґрунтується на трьох визначальних поняттях: циклічність нових ідей і технологій, інтегративний науково-педагогічний підхід до організації освітньої діяльності, фундаментальні науки – педагогіка та психологія. На їх основі сформовано STEM-інновації, компетентнісний, системний професійно зорієнтований, діяльнісний, ресурсний підходи, сприятливий інноваційний інвестиційно-педагогічний клімат. Важливими елементами є складники STEM: інноватор (приватник чи держава), який забезпечує відповідну інвестиційну базу, та інвестор, експерт, творча особистість, що забезпечують ефективність освітніх інновацій. Реалізацію окреслених у структурі завдань забезпечують науково обґрунтоване освітнє середовище та методики навчання дисциплін.

На основі проведених узагальнень наукових розвідок та власних розробок ми дійшли висновку, що циклічність інноваційності спостерігається

також в розвитку методики навчання, зокрема фізики, де виявляються довготривалі циклічні коливання наукових, психолого-педагогічних та технологічних інновацій.

З огляду на це єдність інноваційного розвитку в методиці навчання фізики та STEM полягають у незворотній дестабілізації педагогічного інноваційного середовища, зокрема створенні циклічного освітньо-наукового STEM-середовища в навчанні фізики; розробленні шаблону педагогічних нововведень у методиці навчання фізики на основі STEM-технологій; повторюваності інноваційних процесів і закономірностей фінальної реалізації інновацій у навчанні фізики з урахуванням STEM-освіти.

Водночас результати модернізації системи вищої освіти визначають нові особливості розвитку інноваційних освітніх процесів і викликають потребу в ґрунтовнішому осмисленні їхніх закономірностей та умов, які розкривають ефективність реалізації STEM-інновацій у методиці навчання фізики в технічних ЗВО.

У методиці навчання фізики ми розглядаємо закономірності інноваційних процесів у єдності із STEM-технологіями як важливі, стійкі взаємозв'язки між традиційним і сучасним підходом до навчання. Ці закономірності в методиці навчання фізики є виявом зовнішніх інноваційних освітніх процесів з урахуванням суспільствознавчих явищ та систем. Внутрішній складник інноваційного процесу полягає в структурно-функціональних зв'язках, що віддзеркалює саму інновацію, яку розглядають у методиці навчання фізики та STEM, що сприяє формуванню STEM-технологій навчання.

Ми обґрунтували, що STEM є науковим методом, який разом з методикою навчання фізики та інтегративним педагогічним підходом до організації освіти забезпечує якісну підготовку майбутніх фахівців, зокрема у технічних ЗВО.

У методиці навчання фізики П. Атаманчук [8], В. Заболотний, М. Шут та Н. Мисліцька [231], А. Павленко [165], В. Шарко [259] та ін.

розмежують загальні закономірності, що віддзеркалюють інноваційний процес загалом, та локальні, які характеризують певний інноваційний процес або окремі його етапи.

Дослідження понять «закономірності» та «закони» в методиці навчання фізики дозволяє стверджувати, що закономірність віддзеркалює початкову стадію розвитку фізичної теорії, а наслідки подальшого проникнення в сутність фізичних явищ і процесів можуть набути форми закону.

Дослідниця О. Попова вважає, що для перебігу інноваційних педагогічних процесів можна встановити лише закономірності, а не закони, як в інших сферах людської життєдіяльності (техніко-технологічній, організаційно-управлінській тощо) [179, с. 15].

У дослідженні Р. Фостера (США) розглянуто технологічний розрив нової та старої технологій й обсяг витрат, потрібних для інвестування в сучасну технологію для досягнення нею високої ефективності порівняно зі старою. У такому контексті Р. Фостер пропонував спрямовувати зусилля на розроблення та впровадження сучасних ідей, оскільки потрібно вкладати ресурси в новітні технології для подолання технологічного розриву та розвитку інноваційної сфери. Відтак, процес заміни старої технології сучасною є незворотним [242].

Соціально-економічні умови повинні розв'язувати актуальні проблеми освіти, зокрема фізичної, з використанням осучасненої методики навчання фізики, педагогічних підходів, технологій (STEM-освіти), засобів, прийомів, методів (див. рис. 1.4).

Науковець В. Паламарчук вважає, що інновації – це «верхній тонкий шар прогресивного педагогічного досвіду, завдяки якому досягаються кращі, ніж у масовому досвіді, результати виховання, розвитку й навчання студента» [167, с. 86].

Закономірність реалізації інноваційного процесу засобами STEM-освіти передбачає високий попит на всі цінні інновації та їхню реалізацію в потрібний для системи освіти період.

Дослідження В. Паламарчук [167] указують на зміну теорії й практики інноваційної діяльності в освіті, зокрема STEM-освіті, що зумовило деякі трансформації цих закономірностей, які доцільно враховувати в методиці навчання фізики на основі STEM-технологій, а саме:

1. Тенденція циклічного розвитку інновацій упроваджується в STEM-освіту, що поглинає інновації, а методика навчання фізики на основі STEM-технологій змінюється з урахуванням структурності, функціональності та змістовності розвитку системи освіти, тому не відбувається «незворотна стабілізація» педагогічного середовища [167].

2. Ефективність взаємозв'язку STEM-технологій та методики навчання фізики залежить від багатьох чинників (соціальних, економічних, психологічно-педагогічних, особистісних, ергономічних тощо), поданих на рис. 1.4.

3. Створення інновацій на генетичному рівні та їхній розвиток пов'язані з трансформаціями в суспільстві, реформами, прогресивними рухами, сплесками сонячної активності (О. Чижевський), процесами в ноосфері (В. Вернадський) [167, с. 79–80].

Для вдосконалення методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти важливо враховувати особливі умови розвитку інновацій у технічних ЗВО. Погоджуємося з І. Гавриш [42], І. Дичківською [62], В. Паламарчук [166] та іншими дослідниками, що для реалізації законів інноваційних процесів потрібні умови, які б сприяли впровадженню STEM-технології в методику навчання фізики й навпаки.

Учені В. Стадник і М. Йохна [212] виокремлюють такі умови реалізації інновацій у методиці навчання фізики: 1) окреслення функцій інституційного та індустріального середовища; 2) кваліфікація для концептуального осмислення й розв'язання технологічної проблеми, властива розвитку STEM-технологій; 3) економічна ментальність, мережа виробників та користувачів, що можуть обмінюватися досвідом у процесі творення базисної інновації [212].



На нашу думку, нині настала ера постіндустріального освітнього середовища, а тому модернізація методики навчання фізики на основі STEM-технологій має ґрунтуватися на циклічних інноваційних освітніх процесах, що залежать від таких аспектів: соціально-економічного, психолого-педагогічного та організаційно-управлінського.

У дослідженні А. Хуторського наголошено, що фактичні умови або сприяють, або перешкоджають інноваційному процесу. Уведення інновацій виконує функцію управління штучними й природними змінами, що виникають у суспільстві [246]. З огляду на це ми проаналізували поняття прогресу та регресу і їхній вплив на розвиток методики навчання фізики і на STEM.

У праці Л. Даниленко [61] доповнено закони перебігу освітніх інновацій й сформовано дві групи закономірностей, що характеризують управління інноваційними закладами освіти. Перша група закономірностей розкриває прямо пропорційну залежність між упровадженням освітніх інновацій у ЗВО й суттєвими змінами в кінцевому результаті його діяльності. Друга група – обернено пропорційну залежність між упровадженням у ЗВО освітньої інновації і потребою в додаткових інтелектуальних, матеріальних та часових витратах учасників освітнього процесу [61].

Розроблена Л. Ващенко модель системи управління інноваційними процесами в освіті передбачає реалізацію відповідних умов [33]: нормативно-правових, соціально-педагогічних, психолого-педагогічних та організаційно-управлінських, які охоплюють сукупність об'єктів, процесів, відносин, потрібних для формування, існування та зміни визначеного об'єкта. Результатом системного управління інноваційними процесами є сформованість інноваційного середовища в освітньому регіоні, закладах освіти. Критеріями інноваційного середовища є: стратегічна спрямованість, широта охопленості, інтенсивність, формалізованість, упорядкованість, когерентність, інформаційність, професійність, соціально-культурна активність [33].

Для функціонування освітньо-наукового STEM-середовища частина вчених розглядає поняття інноваційного середовища, що має такі якісні характеристики: сукупність нормативно-правових, соціально-педагогічних, психолого-педагогічних та організаційно-управлінських умов [33]. Взаємодію їх впливів демонструє педагогічна ініціатива та якість науково-методичного супроводу освітніх новацій у методиці навчання фізики на основі STEM-технологій [33].

Унаслідок узагальнення результатів поданих вище наукових розвідок, ми сформуваємо групи умов реалізації інноваційних освітніх процесів: інституційні, соціокультурні, організаційно-управлінські, психолого-педагогічні, що забезпечуватимуть упровадження STEM-технологій у методику навчання фізики (рис. 1.3 та рис. 1.4). Інституційні умови передбачають потрібне нормативно-правове регулювання інноваційної освітньої діяльності, розвинуту інноваційну інфраструктуру, сформоване інноваційне середовище в навчанні фізики на основі STEM-технологій. Становлення нових інституційних форм (законодавчих, організаційних, інформаційних, соціокультурних тощо) забезпечує розвиток і регулювання нових суспільних відносин, що виникають у процесі освоєння й реалізації інновацій у методиці навчання фізики в контексті STEM-освіти.

Ресурсне забезпечення підтримки та розвитку інноваційної діяльності на основі STEM-технологій, формування мотиваційних факторів активізації інноваційних процесів є невіддільним складником державної інноваційної політики, яка формується завдяки нормативно-правовій базі регулювання інноваційних процесів в освіті [78; 79; 80; 187] (рис. 1.3, рис. 1.4).

Концептуальні положення інноваційних перетворень у галузі вищої освіти на основі STEM-технологій визначено у відповідних нормативних документах міжнародного, державного та регіонального рівнів [187; 188].

Інноваційна інфраструктура розвивається завдяки впровадженню інституційних умов, а саме: сукупності взаємопов'язаних, взаємодоповнювальних систем і відповідних організаційних та

управлінських підсистем, що потрібні для ефективної організації інноваційної діяльності й реалізації нововведень у технічних ЗВО в контексті STEM-освіти.

Інноваційну інфраструктуру STEM-освіти утворюють організації, підприємства, бізнес-структури, установи та об'єднання, що не тільки надають послуги із забезпечення інноваційної діяльності в галузі освіти, а й створюють всі умови для розвитку дуальної освіти (консалтингові, маркетингові, інформаційно-комунікативні, юридичні, освітні тощо) [31, с. 730].

Циклічність інноваційного процесу є комплексом відносин між науковими установами, організаціями-розробниками й ЗВО, у яких реалізуються STEM-інновації [31], тому рівень розвитку інноваційної інфраструктури визначається не тільки наявністю відповідних інституцій, а й ефективністю взаємодії між ними, інтеграцією діяльності наукових колективів і педагогів-практиків, упровадженням ІКТ обміну знаннями, досвідом, дієвою системою управління інноваційними процесами [31].

Інноваційне освітнє середовище характеризується динамічністю інноваційної інфраструктури на різних макро- і мікрорівнях: суспільство, система освіти в державі, окремий регіон і заклад освіти. За визначенням І. Дичківської, «інноваційне середовище – це педагогічно доцільно організований простір життєдіяльності, який сприяє розвитку інноваційного ресурсу студента; інтегрований засіб накопичення й реалізації інноваційного потенціалу закладу вищої освіти, тобто здатності створювати, сприймати, реалізовувати нововведення та своєчасно позбавлятися від застарілого, педагогічно недоцільного» [62, с. 339].

У дослідженнях багатьох учених розглянуто культуральні характеристики суспільства, що визначають особливості інноваційних процесів.

Зокрема Ю. Карпова аналізує освіту Японії, де тенденція до спільної роботи й групової солідарності визначає розвиток масового виробництва,

високий рівень контролю якості й акцент на процесуальних інноваціях, однак ті самі культуральні особливості загальмували незалежне підприємництво та індивідуальну творчість, що знизило кількість радикальних інновацій [98, с. 43].

За нового соціально-гуманістичного впорядкування кінця ХХ–початку ХХІ ст. результатом інноваційного процесу є перетворення нових видів і способів людської життєдіяльності на соціально-культурні норми й зразки, які забезпечують їхнє інституційне оформлення, інтеграцію й закріплення в культурі суспільства [160, с. 267]. Нове знання, що виникає як безпосередній досвід дослідницької роботи, виводиться зі сфери пізнавального процесу й переоформлюється в інноваційний процес у нових системах технологічної діяльності. STEM-інновації є однією з основних соціокультурних передумов розвитку суспільної практики, збагачення її новими пізнавальними, технологічними, цифровими, естетичними й усіма іншими формами людського досвіду, що підлягають відтворенню в процесі їх освоєння новими поколіннями людей, наприклад, поколінням-Z.

Відтак, у циклічних інноваційних процесах софтизації й сервізації зростає роль STEM-освіти як суспільного інституту, що забезпечує динаміку культури, прискорене використання нового досвіду в різних галузях суспільної практики [222, с. 555–556].

Упровадження організаційно-управлінських умов реалізації інноваційних процесів у технічних ЗВО передбачає актуалізацію потреб освітян в STEM-інноваціях; наявність потрібних для розв'язання сучасних проблем освіти ефективних, науково обґрунтованих новацій (STEM-технологій) та достатню інформованість про них педагогічної спільноти; організацію інноваційної діяльності ЗВО на основі сучасних STEM-моделей інноваційних процесів; готовність структурного й функціонального стану технічного ЗВО до сприйняття й реалізації STEM-інновацій; інноваційний тип управління на всіх рівнях системи освіти; науково-методичний та організаційний супровід інноваційних процесів; матеріальне та моральне

стимулювання учасників освітнього процесу з використанням технологій STEM-освіти.

Організація діяльності інноваційного ЗВО (див. рис. 1.3) вимагає створення особливих структур, наприклад, STEM-центрів, STEM-лабораторій, що створює неявний на перший погляд, проте вагомий педагогічний ефект.

З-поміж умов, що забезпечують указаний вище розвиток інноваційних ЗВО, І. Фрумін [243] виокремлює як організаційні умови (створення клімату сприяння експерименту в педагогічному колективі; організація нової системи контролю за ходом експерименту; оптимальна організація інноваційних занять у загальному перебігу освітнього процесу); змістові умови (обговорення експерименту на семінарах, батьківських зборах, адміністративних нарадах, кваліфікована експертиза й діагностика нововведень) [243, с. 59–64].

Педагогічні умови впровадження STEM-інновацій полягають у сформованості готовності педагогів і педагогічного колективу загалом до активного творчого, креативного пошуку й реалізації STEM-інновацій; розвитку інноваційного мислення викладачів; у знятті бар'єрів в інноваційній діяльності; збереженні здоров'я педагогічних працівників; профілактиці їхнього професійного вигорання; отриманні позитивного емоційного ефекту від упровадження STEM-технологій в освітній процес технічних ЗВО (рис. 1.4).

Сучасний викладач ЗВО усвідомлює практичну значущість інноваційної діяльності з використанням сучасних STEM-технологій навчання на професійному й особистісному рівнях.

Використання викладачами STEM-технологій у методиці навчання фізики забезпечує готовність до педагогічних інновацій, що зумовлює підвищення мотиваційно-особистісного ставлення педагога до професійної діяльності, володіння ефективними способами й засобами досягнення педагогічних цілей, здатності до творчості та рефлексії.

STEM-технологія є підґрунтям для формування активної суспільної та професійно-педагогічної позиції студента, яка спонукає до інноваційної діяльності й сприяє її продуктивності [62, с. 277].

В організаційно-управлінському аспекті продуктивність нововведень (STEM-технологій) залежить від вибору ефективних моделей інноваційного процесу. У традиційних наукових дослідженнях домінує лінійна схема розвитку інноваційного процесу [210, с. 45]:

1) етап зародження нової ідеї або виникнення концепції нововведення (етап відкриття, яке є результатом фундаментальних і прикладних наукових досліджень або раптового «осяяння»);

2) етап винаходу, створення нового, що втілюється у будь-який об'єкт, матеріальний або ідеальний продукт;

3) етап інновації, практичного застосування винаходу, його доопрацювання, одержання стійкого ефекту від нововведення;

4) етап поширення нововведення, його широкого впровадження, дифузії в різні галузі (настає за умови сприйнятливості до нововведення);

5) етап широкого використання нового продукту в конкретній галузі, пов'язаний з втратою новизни;

6) етап скорочення, рутинізації нововведення, заміни його новим продуктом [210, с. 45].

У зарубіжних дослідженнях також представлено низку поколінь еволюції моделей інноваційних процесів від елементарних (лінійних) до інтерактивних та інтегрованих [273].

Перша лінійна модель інноваційного процесу з'явилася в період 1950–1960 рр. ХХ ст. Ця модель характеризує інноваційний процес через відкриття та нові знання, що перетворюються в сучасні продукти.

Концепція вирішального впливу на інноваційний процес результатів наукових досліджень трансформувалася в ідеї «підштовхувальних технологій» (technology push). У цій моделі звертали особливу увагу на початковий етап інноваційного процесу – фундаментальні й прикладні

дослідження, конструкторські й експериментальні розробки, що розглядає STEM-освіта. Такий підхід підвищив значущість діяльності наукових лабораторій, зумовив виникнення нових дослідницьких центрів.

Водночас світовий досвід показує, що фундаментальні дослідження впроваджуються в практику значно рідше, ніж прикладні, тому дають позитивний результат лише в 10% випадків; практичне застосування буде ще меншим. За словами Г. Форда, «самі по собі ідеї цінні, але кожна ідея, врешті-решт, – тільки ідея. Завдання полягає в тому, щоб реалізувати її на практиці» [155].

Моделі другого покоління – «підтягнуті попитом» (the demand pull) – представляли вже циклічні інноваційні процеси як реакцію на сигнали, що надходять з ринку (середина 1960–початок 1970 рр.). На відміну від попередніх моделей інновації не були безпосередньо результатом нових наукових ідей та експериментально-конструкторських розробок, вони задовольняли попит, який визначався актуальними потребами споживачів.

З часом посилення конкуренції та скорочення життєвого циклу інновацій спричинили потребу в тісних взаємозв'язках між науково-дослідницьким аналізом та іншими стадіями інноваційного процесу й розробленні його інтерактивної моделі. У ній інноваційний процес розглядався як комбінація двох попередніх моделей. Модель інтерактивного інноваційного процесу поєднує два типи взаємодій: внутрішні (між підрозділами організації) та зовнішні (компанії, клієнти тощо).

У цій моделі спостерігається посилення зв'язків між різними підрозділами організації. Уважали, що нові ідеї могли з'явитися в будь-якому підрозділі, тому взаємодія між різними підрозділами була невіддільною частиною інноваційного процесу. Основним джерелом цієї моделі були наявні знання, що задовольняли технологічні вимоги того часу. На цьому етапі розвитку сучасної освіти виникли нові знання, що характеризуються науково-дослідницькою діяльністю та конструкторськими надбаннями. Саме ці два компоненти є вагомими чинниками для розвитку STEM-освіти.

Інтерактивна модель так чи так залишалася лінійною. Перехід від простих лінійних моделей інноваційних процесів до складних, у яких наступні стадії не завжди детерміновані попередніми, відбувався на основі концепцій інноваційних систем, що самонавчаються [268].

У середині 1980-х рр. нова організація виробництва спричинила створення нового покоління моделей інноваційного процесу, а саме інтегрованих (рис.1.5), що є домінантною характеристикою STEM-освіти.



Рис.1.5. Інтегрована модель інноваційного процесу (на прикладі процесу розроблення нового продукту Nissan) [37]

За твердженням Р. Росвелла, специфіка інтегрованих інноваційних процесів полягає в тому, що в них звертають увагу на паралельну діяльність інтегрованих груп і зовнішні горизонтальні і вертикальні зв'язки [284]. У цих моделях важливими є інтеграція досліджень і розробок у виробництво й тісна співпраця з постачальниками та споживачами.

У системі STEM-освіти інтегровані моделі інноваційних процесів зумовили створення різноманітних організацій закладів освіти інноваційного типу, навчально-наукових педагогічних комплексів «Школа-ЗВО», а також спільних експериментальних навчальних закладів (STEM-центрів, STEM-лабораторій, STEM-амбасад), науково-методичних лабораторій, науково-дослідних центрів, наукових майданчиків, що забезпечують оптимальні умови для плідної співпраці педагогів-науковців і педагогів-практиків [93].



Інтеграція педагогічної науки ЗВО в контексті STEM-освіти, з одного боку, спрямовує й конкретизує наукові дослідження відповідно до актуальних проблем освіти й виховання, з іншого забезпечує затребуваність інноваційних розробок у ЗВО, збільшує ефект від реалізації нововведень.

Така модель (рис. 1.5) організації інноваційних процесів сприяє залученню педагогічних колективів закладів освіти різного типу та профілю до наукової діяльності, що уможливорює осмислення ними власного інноваційного досвіду на теоретико-методологічному рівні й розвитку теоретико-методологічної компетентності в контексті STEM-освіти. Інтеграція інноваційного потенціалу ЗВО в спільну роботу створює ефект синергізму, тобто взаємодію процесів софтизації й сервізації в ланцюжку «наука – інноваційна інфраструктура – інноваційна система ЗВО». Науковці та педагоги збагачують інноваційний потенціал завдяки обміну ідеями, знаннями, досвідом, що сприяє розвитку творчості та креативності. Неформальна співпраця вчених, об'єднаних спільністю підходів у дослідженні актуальних проблем інноваційного розвитку STEM-освіти, створює середовище продуктивної наукової комунікації, творчий стиль командної роботи, сприяє виробленню нової ефективної методології й оригінальної методики наукового пізнання на основі STEM-технологій.

У 1990-х рр. у моделях інноваційного процесу акцент зміщено з інтеграції на створення інноваційних мереж (innovation network) [287, с. 99].

Уважали, що для забезпечення інноваційності організації чи підприємства потрібно не тільки об'єднувати їхні різні підрозділи навколо інноваційного процесу, а й створювати та зміцнювати їхні мережеві взаємодії зі споживачами, постачальниками та іншими установами. Це сформувало так звану «систему інновацій».

На початку XXI ст. з'явилися «системи інноваційних теорій», таких інновацій, як дуальна освіта. «Дуальна система» (від лат. dualis – подвійний) – нова, більш гнучка форма організації професійного навчання [66].

Елементи дуальної системи навчання почали впроваджувати в Україні в 2015 р. на підставі відповідної нормативно-правової бази, а саме: Закону України «Про освіту» [77]; «Середньострокового плану пріоритетних дій уряду на період 2017–2020 рр., розділ III «Розвиток людського капіталу», підрозділ 8: «Модернізація професійно-технічної освіти»; наказу Міністерства освіти і науки України від 16.03.2015 № 298 «Про впровадження елементів дуальної системи навчання у професійну підготовку кваліфікованих робітників» [157]; розпорядження Кабінету Міністрів України від 19.09.2018 № 660-р «Про схвалення Концепції підготовки фахівців за дуальною формою здобуття освіти» [188].

П'яте покоління інноваційних процесів (теперішній час – майбутнє), Р. Росвелл називає «моделями стратегічних мереж (strategic networking model), стратегічної інтеграції та встановлення зв'язків» [284, с. 1–2].

Указаний інноваційний процес підтверджує циклічність розвитку інновацій. Новий цикл хвиль додає нові функції: проведення науково-дослідницької діяльності й конструкторських розробок з використанням систем обчислювальної техніки та інформатики, електронних мереж і засобів зв'язку, завдяки яким налагоджуються стратегічні зв'язки новаторів з постачальниками, партнерами, споживачами [284]. Відбувається інтерференція інноваційних складників і виникає новий цикл інноваційного розвитку. Стратегічними елементами п'ятого покоління моделей інноваційного процесу стали ІКТ, обробка статистичних даних, обмін інформацією, що є визначальними факторами для інноваційного процесу.

Зауважимо, що інформація й дані про інноваційну діяльність є тільки одним із множини елементів, що забезпечують ефективність інноваційного процесу. У сучасних наукових теоріях про інноваційні процеси відбувається зміщення акцентів з технологічних та економічних парадигм на визнання основними факторами інновацій людського капіталу, інформації, соціокультурного, інституційного середовища (див. рис. 1.3). Лауреат Нобелівської премії Ф.-А. Хаєк, автор однієї з теорій інтелектуальної

технології, довів, що всі підприємницькі ідеї ґрунтуються на знаннях, які дають імпульс розробленню інновацій [245].

З позицій менеджменту знань конкурентоспроможність та інноваційність організації, її можливості швидко реагувати на зміни в сучасному економічному просторі визначаються саме тим, якими знаннями вона володіє чи створює нові, настільки інтенсивно використовує й збільшує наявні інтелектуальні ресурси і як навчається [191]. Увага зосереджена саме на прихованих знаннях і механізмах, які дозволяють примножити цей вид знань й активізувати їхнє практичне застосування. Приховані знання – це персональні знання спеціаліста, які безпосередньо пов'язані з його індивідуальним досвідом. Такі знання, як нематеріальні активи, стають основними ресурсами організації й за умов їх продуктивного використання визначають її інноваційний потенціал [191].

Безумовно, сучасні моделі циклічного інноваційного процесу передовсім пов'язані зі стратегією швидкого навчання, обміну знаннями й досвідом, що є основними джерелами знань і підвищення можливостей оперативно реагувати на зовнішні зміни й потреби ринку освітніх послуг.

На загальну думку експертів, у найближчому майбутньому «управління знаннями стане чи не єдиною можливістю зберегти лідерські позиції у висококонкурентному середовищі, оскільки в сучасних умовах перемагає той, хто вміє працювати швидше й ефективніше, а значить, той, хто володіє й управляє знаннями» [63, с. 27–30]. За словами Е. Фромма, «розвиток визначається не стільки тим, що людина має, скільки тим, що вона собою представляє, що вона може зробити з тим, що має» [241, с. 10].

На основі багаторічного досвіду роботи в галузі управління знаннями К. Джанетто й Е. Уїллер [63] дійшли висновку, що «проекти в цій галузі зазнають невдачі переважно через занадто велику увагу до технології й недостатнє врахування на різних етапах проекту (планування, підготовка, реалізація) людського чи культурного чинника. Тим часом основне в управлінні знаннями – це не комп'ютерні мережі, а люди» [63, с. 12].

Актуальність цього підтверджують у своїй праці Л. Герасимов та Г. Люхіна, які справедливо зазначають, що «...інновація – це цілеспрямована реалізація того потенціалу, який закладено в творчості особистості. Специфіка інновації як діяльності породжує певний тип особистості» [46, с. 12].

Отже, у сучасних моделях інноваційних процесів є суб'єкт навчання з його постійним прагненням реалізувати свій потенціал до пізнання, створення й освоєння нового у взаємодії з іншими.

На основі аналізу переваг і недоліків різних моделей інноваційних процесів можемо зробити висновок, що найбільш продуктивними з них є інтеграційні моделі, інноваційні мережі, стратегії швидкого навчання та обміну знаннями й досвідом, які створюють умови для плідної взаємодії студентів в освітньо-науковому STEM-середовищі, співпраці педагогів й розвитку їхньої компетентності та мотивації в освоєнні й реалізації STEM-інновацій у навчанні фізики в технічних ЗВО.

### **1.3. Методологічне обґрунтування принципів STEM та їх функціонування в освітньому просторі**

На основі висновків, зроблених у п. 1.1 та п. 1.2, виникає проблема конкретно-наукового методологічного обґрунтування STEM, що є специфічним інтеграційним засобом навчання фізики, технологій, інженерії, математики. З огляду на це методологію ми розглядаємо з позицій системного підходу та структурно-логічного аналізу. Загальновідомо, що методологія є системою принципів розуміння закономірностей реального світу, використання методів дослідження їхнього взаємозв'язку [192].

В ході аналізу праць В. Бикова [20], Ю. Жука [72], В. Заболотного [75], Б. Суся [220] та Н. Мисліцької [220], ми сформуваємо принципи STEM-освіти:

1. *Відкритість* сучасного освітньо-наукового STEM-середовища і адаптація його компонент до кожного суб'єкту навчання через формування STEM-компетентності засобами ресурсів автоматизованих банків даних і

знань, обчислювальних ресурсів системи комп'ютерних мереж, комунікаційних мереж та ін., що забезпечує доступ кожного до якісної освіти [20].

2. *Комплексність та цілісність теорії і практики в освітньо-науковому STEM-середовищі*, де відсутнє виокремлення природничих наук, технології, інженерії, математики, а забезпечується їх логічне поєднання на кожному занятті, чим здійснюється пошук шляхів вирішення навчальної проблеми через конструювання, розрахунки, експеримент, програмування в реалізації проектної та навчально-дослідної діяльності, згідно навчального плану створеного на ідеї міждисциплінарного та професійно зорієнтованого підходу.

3. *Прикладність* передбачає самостійне використання STEM ЗУН (знання, уміння, навички) на практиці безпосередньо під час навчання фізики в технічних ЗВО, формування компетенції співпраці та спілкування в парах, командах, невеликих групах.

4. *Формування поваги до потреб кожного суб'єкту навчання*, забезпечує розвиток власних здібностей, нахилів, мислення, творчості засобами стимулювання та організації самостійного навчального дослідження сьогодні і впродовж всього життя.

5. *Ефективність навчальної діяльності*: забезпечення єдності системи ЗУН майбутнього фахівця з набутим чуттєвим досвідом; застосування упровадження моделювання та конструювання починаючи з LEGO та Arduino; рефлексія засобами аналізу навчальних здобутків теорії й практики, уміння аргументувати власні думки, створювати презентацію своїх наробок, бачення напрямів практичного повсякденного використання; розвиток творчої атмосфери.

6. *Розвиток основних STEM-компетенцій*: креативність; критичне мислення здатність до аналізу, узагальнення, встановлення закономірностей, вміння шукати потрібну інформацію; комунікабельність.

7. *Прототипування*, що виражається у формуванні інженерного і творчого потенціалу, типових моделей та конструкцій, гаджетів, електронних модулів в рамках навчальних проєктів, усвідомленні необхідності освоєння електроніки і мехатроніки, технологій створення матеріалів і дизайну, 3D друк і CAD-проектування тощо.

У нашому дослідженні використано поняття методичного підходу, який є менш формалізованим стосовно загальноновизнаного означення поняття методологія. Такий підхід ми розглядаємо в контексті сформульованих вимог до поставленої мети в параграфі:

- можливість виникнення STEM у цілісному конкурентному середовищі, у якому можливе використання порівняльних процедур;
- передбачувана наявність стійкості саморозвивального методу STEM, який містить також відхилення від рівноважного стану;
- ймовірна тривалість, що враховує динамічні показники (ланцюгових або базисних циклічних змін);
- дослідження на мікрорівні передбачає розгляд ЗВО як відкритої освітньої системи.

Загальною у виокремлених вимогах є ефективність, властивості якої розглянуто у п. 1.1, п. 1.2, тому закономірно з позиції методологічного підходу ми трактуємо це поняття як аналітичну та кількісну характеристику об'єкта (проєкту, програми, процесу тощо) кінцевого результату, що віддзеркалює повноту та якість системи через відповідні показники. Окрім того, виявляється також системний підхід, який дозволяє схарактеризувати інновацію як систему на основі принципу цілісності. У прикладному значенні цілісність і системність є тотожними до властивостей інновації. У разі, коли із системи розглядають її окремий елемент чи групу елементів згідно з принципом єдності під час реалізації інновації порушується цілісність і втрачається зміст нововведення, знижується інноваційний потенціал. Зокрема STEM є системою, яка складається із чотирьох елементів: природничі науки, технології, інженерії (технічна творчість), математика, між якими

налагоджено логічні зв'язки, тому видалення будь-якого елемента чи порушення зв'язків спричиняє руйнацію цілого. Сутність інновації полягає в тому, що визначені елементи в сукупності дають в освіті ефективний результат – високу якість. Така система самоорганізовується, а відповідно підкоряється законам, зокрема синергетики. До ідей синергетики націлено також філософсько-методологічну рефлексію, яка знаходить у ній евристичні напрями розвитку. Як зазначено в п. 1.2, інноваційним процесам властиві не лише циклічність інноваційних хвиль та їх інтерференція STEM, а й принципи самоорганізації, саморозвитку відкритих педагогічних систем. Завдяки цьому STEM зберігає свою стійкість і цілісність, демонструє ефективний розвиток.

Самоорганізація STEM є результатом саморуху системи будь-якої галузі, що віддзеркалює її здатність до внутрішньої активності, створення й ускладнення структур. Категорії стабільності, флуктуацій, нестійкості, хаосу, біфуркації, нової стабільності, нової якості після завершення циклу першого витка хвиль розвитку безпосередньо характеризують STEM-систему.

Найбільш революційним є вплив на STEM педагогічну систему в точці біфуркації, в інші моменти помітними є атракторні стани відносно стабільності, у яких здійснюється рефлексія нововведень (флуктуації). Тоді інноваційний процес у STEM-системі буде здійснюватися відповідно до ланцюжка: стабільний рівноважний стан природничих наук, технологій, інженерії, математики – привнесення флуктуацій, нововведень у будь-який елемент рівноважного стану (наукове відкриття, трансформоване в освіту, упровадження мехатроніки тощо) – виникнення збурень, невідповідності між розвитком елементів складників системи – виникнення нерівноважного стану, який може повернутися до первинної рівноважності (регрес) або перетворитися на хаос, – біфуркація як вища точка нерівноважності, хаосу – самоорганізація системи в нову якість за ймовірнісним сценарієм. Основною частиною перебігу циклу хвиль розвитку є точка біфуркації. В освіті її

важливо вчасно помітити й ужити заходів до створення ефективної інноваційної (прогрес) якості, не руйнівної (регрес).

Визначений нами ланцюжок інноваційного процесу демонструє, що сутність та зміст інновацій в освіті, зокрема фізичній, полягає в обґрунтуванні ролі соціальних, культурологічних, економічних та інших детермінант їх оновлення, поясненні функцій психологічних чинників інноваційної діяльності під час підготовки кваліфікованого фахівця.

Як бачимо, методологія дослідження циклів інноваційного розвитку ґрунтується на принципах взаємозв'язку, системності, розвитку явищ об'єктивної дійсності, тобто освітні явища слід аналізувати всебічно в розвитку, а не ізольовано одне від другого, що відповідає принципам STEM. Пізнати істину неможливо, коли факти, явища, процеси вивчати ізольовано, статично, без з'ясування властивих їм суперечностей.

Аналіз змісту наукових досліджень ХХ ст. [30; 37; 39; 42; 53; 57] засвідчує, що нерідко проблеми освітніх інновацій було розглянуто досить вузько, обмежено спробами знайти їх розв'язання тільки з позицій якоїсь однієї дисциплінарної теорії інноваційного процесу, проте складність і багатофакторність інноваційних освітніх процесів спричиняє потребу їх усебічного аналізу із застосуванням низки загальнонаукових підходів. Важливість використання загальнонаукової методології в дослідженні інноваційних процесів слід пояснити ще й тим, що будь-яка інновація чи наукове відкриття передбачають критичний аналіз прийнятого змісту основних понять, зміну підходів і методів до інтерпретації наявних та побудови нових теоретичних концепцій і переоцінки усталеного досвіду нововведень.

Значущість методологічного фундаменту в дослідженнях та організації інноваційних процесів у ЗВО обґрунтував С. Гончаренко, оскільки унаслідок застосування іншого підходу виникає широкомасштабний феномен «педагогічного шаманства й авантюризму» [49].



У методологічному аналізі інноваційного розвитку розрізняють мультидисциплінарність, міждисциплінарність та трансдисциплінарність. Усі три взаємодії є підґрунтям наукової картини світу та інтеграції, які покладено в основу STEM для отримання фундаментальних результатів. Міждисциплінарний синтез будується на філософії науки; термодинаміці, біології й фізиці (основа інженерії); математиці; міжкультурній комунікації (технології), що дістало назву STEM.

Специфіка інноватики також полягає в тому, що вона є міждисциплінарною галуззю знань, у якій поєднують методологічні концепції, теоретичні й емпіричні методи різних наук STEM, щоб дослідити проблеми освітніх інновацій та інноваційної діяльності для підвищення їхньої практичної ефективності.

Фундамент міждисциплінарного напряму дослідження феноменів інновації закладено на початку ХХ ст. у працях учених-теоретиків Г. Тарда [227], І. Шумпетера [261] та М. Кондратьєва [103]. Їхні основні ідеї стали підґрунтям для сучасних інноваційних теорій, у яких рушійною силою суспільного прогресу визнано не один фактор, а комплекс соціальних, технологічних, економічних та інших факторів розвитку суспільства.

Вагомі напрацювання щодо реалізації принципів міждисциплінарності в дослідженні інноваційних процесів представлено в працях Р. Акоффа [5], В. Андрущенка [4], В. Василькової [32], В. Дудченка [67], Е. Дюркгейма [68], С. Кримського [110], Н. Кропотової [111], С. Курдюмова [124], Т. Левовицького [275], О. Маркова [143] та ін. У процесі обґрунтування стратегії й змісту модернізації освіти науковці виходять за межі традиційних педагогічних теорій, здійснюють пошук та інтеграцію інноваційних ідей практично в усіх наукових галузях.

За словами В. Стьопіна [214], О. Стрижака [215], у сучасній постнекласичній науці частіше стають актуальними трансдисциплінарні дослідження в контексті розвитку STEM-освіти, однак, беручи до уваги думку Макса-Ніфа [276], ми маємо враховувати, що після створення в 1994 р.

спілки трансдисциплінарних дослідників сформувався уявлення про нове поняття – «відкрита наука», яке вимагає взаємозв'язку природничих та гуманітарних, фундаментальних і прикладних наук, що є предметом дослідження STEM-освіти.

На думку О. Князевої й С. Курдюмова, поняття трансдисциплінарність та мультидисциплінарність є близькими. Зокрема міждисциплінарність означає передусім перенесення методів дослідження та моделей з однієї наукової галузі в іншу, а трансдисциплінарність характеризує такі дослідження, які охоплюють різні дисципліни й виходять на метарівень, незалежний від тієї чи тієї конкретної дисципліни. Мультидисциплінарність виявляється в дослідженні, у якому предмет вивчають з позиції кількох наукових дисциплін, тому доцільно говорити про трансдисциплінарні стратегії й міждисциплінарні дослідження, оскільки трансдисциплінарність визначає відправні пункти пошукової роботи та спрямованість досліджень, тоді як міждисциплінарність віддзеркалює основний зміст дослідження [124, с. 109–125], що відповідає принципам STEM.

У контексті інноваційних змін когнітивні практики виявляють тяжіння до міждисциплінарного синтезу, тому що міждисциплінарність пов'язана зі здатністю всебічно підходити до аналізу завдань і дозволяє вивчати те, що неможливо сприйняти в межах однієї наукової дисципліни з її специфічними об'єктом, предметом і методами дослідження [111, с. 22].

За словами В. Докучаєвої, базисом створення нових знань про інновації в освіті слугують відомості з різних наукових галузей – класичних і порівняно нових, утворених унаслідок міждисциплінарного синтезу. Наразі варто говорити саме про новий міждисциплінарний конструкт, яким є інтегрально-педагогічна сукупність знань [65, с. 356].

Розвиток і примноження нових знань у сучасній науці відбувається переважно за рахунок відкриттів на межі різних наукових дисциплін, оскільки традиційне поле предметних знань уже практично вичерпало свій ресурс [111, с. 23]. Методологічний арсенал сучасної педагогіки спрямований

переважно на локальну модифікацію освітнього процесу, тому він не розв'язує проблеми системних інноваційних змін в освіті. Педагогічна інноватика потребує методів теоретичного осмислення й практичного аналізу проблем, які неможливо розв'язати тільки засобами педагогічної методології. Саме міждисциплінарний підхід в контексті STEM-освіти позиціонує зміни в системі освіти з процесом проникнення в неї нового з усіх наукових і практичних галузей, що виводить дослідження на метатеоретичний рівень побудови та концептуалізації моделей інноваційних освітніх процесів.

Міждисциплінарність передбачає діалог, взаємодію, взаємозбагачення, а не заперечення різних методологій у дослідженні інновацій. На думку В. Василькової, основним принципом ведення міждисциплінарного дискурсу є потреба виходу за межі внутрішньої дисциплінарної парадигми для ослаблення властивих їй обмежень, розширення способів опису реальності, якими володіють окремі дослідники, і зсуву сприйняття в метапозиції стосовно парадигмальних підходів окремих учасників міждисциплінарного дискурсу [32, с. 72].

Порівняльну характеристику мультидисциплінарності, міждисциплінарності та трансдисциплінарності наведено в таблиці 1.3 [279, с. 2].

*Таблиця 1.3*

**Характеристика мультидисциплінарності, міждисциплінарності та трансдисциплінарності в контексті STEM-освіти**

Мультидисциплінарність	Міждисциплінарність	Трансдисциплінарність
Порівняння	Колективна робота	Перехід до нової якості
Послідовність	Інтеграція	Наступальність
Прикладне значення	Фокусування	Трансформація
Активність у дослідженні	Поєднання	Модифікація
Академічна суворість (зосередженість на розв'язанні однієї центральної проблеми)	Сполучення	Модернізація

Основою міждисциплінарних досліджень є отримання нового, якісно вищого знання порівняно з попереднім. Епістемологічні виміри [277]

міждисциплінарності набувають першорядного значення в процесі утвердження нових підходів до навчання та наукових досліджень з фізики на основі впровадження технологій STEM-освіти.

У таблиці 1.4. окреслено основні цінності міждисциплінарності [277].

Отже, міждисциплінарність є підґрунтям для технологій STEM-освіти й має три ціннісні виміри: широту, інтеграцію та трансформацію (таблиця 1.4). Широта демонструє кількісні та якісні показники. З одного боку, йдеться про набір взаємодіючих дисциплін (наприклад, фізики, вищої математики, радіоелектроніки, теоретичної механіки), з іншого – про спільні теоретико-методологічні підходи, об'єкт дослідження, креативність наукової групи, розподіл праці між її членами, відповідність отриманих результатів якісним стандартам тощо.

Таблиця 1.4

**Основні цінності міждисциплінарності [277, с. 500]**

Показники	Основні цінності міждисциплінарності		
	Широта	Інтеграція	Трансформація
<b>Додана вартість</b>	Експертиза	Майбутній синтез	Трансформація до спеціалізованого світогляду
<b>Пояснення</b>	Різні дисципліни	Інтегративний контекст дослідження	Гібридні спільноти, майбутні генерації
<b>Оціночні акценти</b>	Управління диверсифікацією	Спільні інтегративні стандарти	Креативність, оновлення структури знань
<b>Епістемологічні стандарти</b>	Комбінація стандартів різних дисциплін	Інтеграційний процес	Проактивні, нові стандарти
<b>Політика включення</b>	Структурна гнучкість в оцінюванні	Система самооцінки	Нове спрямування наукового продукту
<b>Прибічники</b>	Академічні організації, соціологія, науки	Проблемно зорієнтовані організації, теоретики і практики	Університетські реформи, антидисциплінарні рухи
<b>Опоненти</b>	Посилення бюрократії, відсутність спільноти	Інституційний ізоморфізм дисциплін з упродовженням обмежень	Епістемологічна анархія, відсутність прогресу

Епістемологічна риса міждисциплінарності полягає в її здатності до трансформації старих теорій, догматизованого знання.

Водночас трансформаційні знання визначає інформація про наявні знання та про можливості щодо отримання нового. Трансформаційне знання дозволяє з'ясувати, як правовими, технічними, економічними, культурними та іншими засобами досягти поставлених цілей.

У процесі аналізу дисциплінарних досліджень [120] розрізняють інструментальну та критичну методологію. Інструментальну методологію спрямовано на розв'язання завдань конкретної дисципліни або низки професійно зорієнтованих дисциплін, наприклад, фізики з теоретичною механікою, електротехнікою, радіоелектронікою, аеродинамікою тощо.

У системі трансдисциплінарності з позиції STEM-освіти виокремлюємо чотири основні напрями:

1. Пошук системної інтеграції знання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін з використанням технологій STEM-освіти.

2. Розвиток синтетичної (штучної) парадигми постмодерністського змісту, що не розкриває інноваційних підходів упровадження нововведень в освітній процес технічних ЗВО.

3. Розгляд міждисциплінарних досліджень та виділення трансдисциплінарності не тільки як переходу до нової якості, а й подолання дисциплінарних кордонів (трансгресія), що виникають унаслідок упровадження інновацій у технічних ЗВО.

4. Розвиток концепції постнормальної науки та «другого методу здобуття знань», що ґрунтується на принципах логіки, кібернетики, загальної теорії систем, структуралізму, організаційної теорії.

У XXI ст. міждисциплінарність у природничих науках, зокрема у фізиці з урахуванням концепції розвитку STEM-освіти, в демонструє такі тенденції:

– критичне ставлення до технічних дисциплін як окремих галузей з урахуванням засобів STEM-освіти;

– стирання меж між природничими та гуманітарними науками на основі впровадження технологій STEM-освіти, що сприятиме розвитку в студентів мотивації до вивчення технічних дисциплін у ЗВО;

– перехід від одиничності, неподільності знання до узагальнювальних, об'єднуваних стратегій у межах STEM-освіти;

– розвиток трансдисциплінарності в природничій галузі з використанням сучасних засобів STEM-освіти, де природничик працює в реальному часі з партнерами за межами технічного ЗВО.

З методологічного погляду всі основні підходи трансдисциплінарності в навчанні фізики з технологіями STEM-освіти об'єднано на підставі визначальних принципів філософської науки:

– основою міждисциплінарної взаємодії є наукова картина світу, яка формує цілісний образ Всесвіту й взаємодію його неорганічного, органічного та соціального складників на основі технологій STEM-освіти;

– зазначене дозволяє встановити схожість предметних галузей різних наук та обґрунтувати трансляцію знань з однієї науки в іншу (наприклад, фізики до авіоніки), здійснити обмін парадигмальними установками з урахуванням тенденцій розвитку STEM-освіти та основних її складників;

– міждисциплінарний обмін та інтеграція сприяють отриманню нових фундаментальних результатів у навчанні фізики з виокремленням елементів STEM-освіти (інженерії, технічності, науковості), які залучають до загальнонаукової картини світу;

– теорії є основним змістом фундаментальної науки, що розглядає одну ясну ідентифіковану теорію, яка пояснює всі феномени у своїй галузі з упровадження STEM-інновацій;

– фундаментальна наука породжує різні теорії в підгалузях, її інтегральна мета полягає в об'єднанні таких теорій у межах спільної системи наукових координат на основі технологій STEM-освіти;

– використовують логіку, пояснення та підтвердження в навчанні фізики з урахуванням засад STEM-освіти, які формулюють універсальні загальні принципи щодо всіх технічних галузей.

Аналіз понять трансдисциплінарності, мультидисциплінарності, міждисциплінарності засвідчує, що їхньою основою є інтеграція, яка бере свої витоки з міжпредметних зв'язків. Психологічним підґрунтям міжпредметних зв'язків є утворення міжсистемних асоціацій, що віддзеркалюють різноманітні предмети і явища реального світу в єдності і протилежності, у їхній багатоаспектності й суперечності [149, с. 42].

Розв'язання проблеми подолання суперечності між потребою в забезпеченні високого рівня інтеграції наукових знань з фізики, математики, технічних дисциплін, технологій сконцентровано у STEM.

Сукупність теоретичних положень, що пояснюють сутність інтеграції, у сучасній педагогіці схарактеризовано загальним поняттям «інтегративний підхід»: унаслідок інтеграції раніше самостійні елементи поєднуються та синтезуються в цілісну систему на основі встановлення функціональних взаємозв'язків, взаємного переходу та доповнення, керування, зближення теорій навчання й виховання, об'єднання в системах організації освіти та її змісту. Основними способами інтеграції є уніфікація, універсалізація, категоріальний синтез, екстраполяція, узагальнення, моделювання, систематизація [39, с. 95–96].

Як зазначає Н. Подопригора [173, с. 82], інтеграційні процеси в сучасній дидактиці фізики є міждисциплінарними й відбуваються переважно на прикладному, методичному та дидактичному рівнях. Реалізація інтегративних підходів є важливим фактором підвищення ефективності навчання, який може забезпечити якісну підготовку фахівця з фізики і передбачає максимальне використання на кожному з етапів навчання досягнутого на попередніх етапах. Це потребує не лише реалізації встановлення міждисциплінарних зв'язків, а й дотримання послідовності

вивчення професійно зорієнтованих дисциплін, тем, співвідношення змісту окремих розділів.

У працях Л. Шестакової представлено особливості міждисциплінарної взаємодії в освітньому процесі технічного ЗВО з акцентом на вдосконалення методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти. Зокрема ця взаємодія має такі специфічні риси [173]:

– структура сучасного наукового знання формується в чотирьох галузях: 1) природознавчого знання (знання про навколишній світ і природне середовище життя людини); 2) техно-знання (знання про штучний інтелект і штучне середовище життя людини); 3) соціо-знання (знання про суспільство); 4) гуманітарне знання (знання про людину);

– у структурі сучасного наукового знання відбувається постійна й динамічна взаємодія між усіма чотирма галузями сучасного знання;

– в усі галузі наукового знання на сучасному етапі розвитку освіти проникає гуманітарне знання, що виявляється, наприклад, у наявності особливостей різних наукових шкіл і науковців, у стилі й методах мислення різних дослідників, у наявності евристичного та інтуїтивного методів роботи в різних галузях наукового знання, у використанні методу асоціацій тощо.

Особливості забезпечення інтегративної наступності всіх ланок освіти представлено в працях М. Борулавої [20], С. Гончаренка [47; 50], В. Ільченко [229], М. Літвінової [132; 133], В. Серікова [202], М. Чапаєва [249] та ін.

У дослідженнях М. Макс-Ніф [276] обґрунтовано, що інтеграційного когнітивного синтезу не можна досягти на основі акумулювання та узагальнення продуктів розумової діяльності різних індивідів. Такий синтез, на думку вченого, починається в індивідуальному мозку, тому, все менш ефективним стає так званий монодисциплінарний метод навчання.

На основі аналізу вказаних досліджень ми дійшли висновку, що інтегративний підхід у навчанні фізики на основі STEM-технологій спрямовано на встановлення єдності фундаментальних досліджень,



прикладних наукових розробок та практичного досвіду реалізації інновацій у реформуванні змісту освіти.

Стратегічний концепт інтеграції теорії й практики інноваційної освіти визначає тріада складників: фундаментальні дослідження, прикладні наукові розробки, практична реалізація інновацій, проте часто розрив між методологічними, теоретичними й методичними знаннями досягає загрозливих масштабів [249, с. 96], тому для сучасної інноватики властивою є тенденція до інтеграції цілей, змісту, функцій неології, аксіології й праксеології, що визначає цілісність процесів створення, сприйняття, оцінки, освоєння, упровадження й аналізу ефективності використання нового в педагогічній практиці. У методології інноватики підкреслюється єдність трьох складників інноваційного процесу: створення, освоєння й реалізації новацій. Саме такий трьохкомпонентний процес і є об'єктом вивчення в педагогічній інноватиці [246].

Методологічні положення педагогічної інтеграції постають функцією і методом пізнання теорії та практики інноваційних процесів.

Педагогічна інтеграція є методологічним знанням, спроможним забезпечувати наступність традиційного й нового, теоретичного знання й практичного досвіду. Педагогічна інтеграція є інструментом перетворення практики, здатним усувати дублювання, тобто оптимізувати педагогічний процес, сприяти створенню нових теоретичних і практичних об'єктів: концепцій, теорій, педагогічних систем, навчальних курсів, видів діяльності, моделей, технологій, дидактичних засобів [39, с. 97].

Прикладні інтегративні дослідження в навчанні фізики спрямовано на пошук шляхів застосування теоретичних концепцій у розробленні технологій реалізації STEM-освіти у діяльності технічного ЗВО. Практичні аспекти інтеграції охоплюють усі підструктури інноваційної діяльності в навчанні фізики в контексті STEM-освіти: цілі, принципи, зміст, методи, засоби й форми. «Інтегративно-педагогічні концепції, конденсуючи багатий набір інтегративних засобів, використовуються в якості технолого-

методологічного й власне технологічного інструментарію здійснення інтегративно-педагогічної діяльності. Вони можуть на своїй основі народжувати інтегративно-педагогічні технології» [249, с. 48].

Процеси інтеграції в педагогічній системі пов'язано з якісними й кількісними перетвореннями її елементів, змінами у взаємозв'язках між ними. Функції нелінійності та лінійності інтегративної системи виявляються в тому, що зміна одного з її елементів спричиняє зміну інших не пропорційно, а за складнішим законом. Наприклад, у процесі інтегрування змісту освіти важливо передбачити низку можливих наслідків від уведення тих чи тих інноваційних структур, тому побудова інтегративного змісту не може дати відповідного результату без дотримання принципу наступності. [249, с. 62].

У сучасній концепції інноватики розрізняють три типи інновацій: 1) інновацію продукту; 2) інновацію процесу; 3) інновацію стратегії.

Дослідники інноваційних процесів XXI ст. наголошують, що в умовах високої конкуренції й швидкого розвитку можна досягти нетипових для певної галузі темпів зростання, тільки уміючи керувати цими трьома різними для розвитку аспектами інновації. Кожен з них важливий, однак звернути увагу лише на один недостатньо, оскільки важливо повноцінно використати всі можливості для розвитку організації [225, с. 17]. Комплексність інноваційних освітніх процесів, їхня нелінійність, одночасне здійснення кластеру інновацій, вимагають посилення інтеграції дій усіх суб'єктів нововведень в усіх аспектах нововведень для досягнення успіхів.

З погляду інтегративних характеристик інновація є системним утворенням, що поб'єднує: а) інтегративне ціле, яке є синтезом процесуальних і результативних складників; б) інтеграцію – процес; в) інтеграцію – результат, що віддзеркалює момент фіксації отримання в перебігу інтеграційного процесу певного інтегрального продукту [249, с. 56]. У такому інтегративному баченні інноваційний процес у навчанні фізики на основі технологій STEM-освіти потрібно розглядати як систему, у якій

поєднано два компоненти: концептуально-предметний (що нове створюється) і процесуально-технологічний (способи реалізації й утілення нового в потрібний результат), тому STEM-інновація представляє систему, процес і технологію, які в єдності забезпечують потрібний інтегративний результат у процесі навчання фізики.

Інтеграція в першому наближенні є комплексним процесом застосування спеціальних концепцій, механізмів та експертиз, які не зводяться до компонентів окремих професійно зорієнтованих дисциплін (системний принцип) унаслідок упровадження STEM-технологій [277].

Водночас у дослідженні ми звернули увагу на таке: 1) концептуальну несумісність дисциплін; 2) інтеграція не завжди є метою міждисциплінарних досліджень за умов досягнення інтелектуального синтезу в окремій області STEM-освіти; 3) ідея інтеграції не враховує того, що знання, створене в різних концептуальних парадигмах, буває несумісним.

Отже, у параграфі здійснено методологічне обґрунтування принципів STEM та їх функціонування в освітньому просторі. З'ясовано, що науково-дослідницький, науково-організаційний і науково-педагогічний потенціал, інтеграційний підхід забезпечують змістову, організаційно-технологічну, інституційно-комунікативну, особистісно-розвивальну функції інтеграції інноваційних освітніх процесів у навчанні фізики на основі технологій STEM-освіти. Визначено, логіко-методологічний інструментарій інтеграції в освіті застосовують для розв'язання синтетичних проблем у концептуалізації, оптимізації, уніфікації, універсалізації інноваційних STEM-освітніх процесів.

Викладене вище підтверджує, що міждисциплінарний, інтеграційний, системний, компетентнісний та професійно зорієнтований підходи є обґрунтуванням для створення ефективної методики навчання фізики на основі STEM-технологій, що поглиблює й збагачує наукові уявлення студентів про його складники, виконує функцію евристично-методологічного засобу досліджень теоретичних і практичних проблем інноваційних перетворень STEM-освіти у технічній вищій освіті.

#### **1.4. Педагогічні умови формування особливостей методики навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти засобами STEM-освіти**

У вимогах до розвитку освітнього інформаційного суспільства [234] і Державних стандартах [164; 180] визначено стратегічні напрями формування інформаційної компетентності майбутніх фахівців, зокрема й технічних ЗВО. У процесі аналізу психолого-педагогічної та спеціальної літератури [6; 7; 43; 47; 60; 74; 88; 161; 166; 167; 182; 190], досліджень учених [14; 17; 19; 27; 33; 55; 65; 96; 137; 195] ми визначили, що одним з ефективних шляхів розв'язання цієї проблеми є використання ІТ-технологій, e-learning навчання, технологій STEM-освіти в процесі навчання фізики студентів технічних ЗВО, що забезпечить не тільки здобуття фундаментальних знань, але й формування мотивованої потреби в саморозвитку та самовдосконаленні, розвитку мислення й творчості, психологічної готовності до постійного впровадження в життя новітніх технологій.

Особлива роль при цьому належить діяльності викладача технічних ЗВО в навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на базі концепції STEM-освіти. Загальновідомо, що викладач є носієм культури та її творцем, тим, хто сприймає й водночас створює педагогічний досвід. З огляду на це сформульовано *вимоги до особистості викладача*:

- оволодіти функцією помічника студента в осмисленні його місця в освітній системі формування компетентності в обраній галузі знань;
- навчити студентів культури обміну думками та утримання від поспішних суджень;
- володіти мистецтвом комунікації, що передбачає вміння організовувати та проводити дискусії, не нав'язуючи свою позицію, не здійснюючи тиску на групу своїм авторитетом, вміло встановлювати та підтримувати емоційний настрій студентів;

– вміти підбирати компетентнісно-орієнтований зміст навчання, що забезпечує поступальний розвиток наукового мислення з використанням інноваційних підходів та технологій STEM-освіти [64].

На нашу думку, успішне вирішення визначених вище завдань буде ефективним за умови створення педагогічних умов формування особливостей методики навчання фізики студентів технічних ЗВО засобами STEM-освіти.

У процесі аналізу наукових досягнень учених [35; 38; 50; 52; 168; 169; 195; 197; 203] та власних досліджень [113; 117; 119; 120] можна окреслити такі *педагогічні умови*, пов'язані зі STEM-освітою:

– процес навчання фізики на основі STEM-технологій потрібно зорієнтувати на особистісні властивості студента (поведінку, діяльність, мислення, пам'ять, роботу в команді тощо) та широке впровадження інтегрованого навчального курсу, що охоплює фізику й науковий та інженерний складники STEM-освіти (вища математика, аеронавігація, опір матеріалів, динаміка польотів та ін.), відповідно до розробленого фізичного практикуму [113; 114; 121], який передбачає врахування не лише інтересів і побажань суб'єктів навчання, а й уподобання, професійний рівень та можливості викладача;

– сформулювати вимоги до визначення співвідношення реального фізичного та комп'ютерного експерименту як взаємодоповнювальних засобів вивчення реального фізичного явища чи процесу; тоді особливостями методики навчання фізики на основі STEM-технологій є врахування попереднього досвіду суб'єктів навчання та сприяння розвитку пізнавальних інтересів і здібностей, спрямованих на формування STEM-компетентності;

– визначальною є самостійна пізнавально-пошукова діяльність суб'єктів навчання з урахуванням психологічних та індивідуальних особливостей майбутніх випускників технічних ЗВО під час навчання фізики на основі STEM-технологій відповідно до сучасних тенденцій послідовного розвитку методики навчання фізики;

– навчання фізики на основі STEM-технологій забезпечується співвідношенням та поєднанням технічного й природничо-математичного складників STEM-освіти, передбачає обґрунтоване поєднання її теоретичних і практичних компонентів, що сприяє ефективності результатів навчальних досягнень суб'єктів навчання, розвиває зацікавленість студентів технічним профілем навчання.

Визначені педагогічні умови засвідчують, що центральною проблемою ефективної навчально-професійної діяльності є стимулювання в студентів мотивації учіння засобами STEM-освіти.

У психологічних дослідженнях (Л. Божовича [22], В. Давидова [60], Д. Ельконіна [85], Г. Костюка [112], О. Леонтьєва [129], С. Максименко [141] та інших) доведено, що без достатньої мотивації не можливе досягнення значних успіхів у діяльності та розвитку особистості суб'єкта навчання.

З погляду І. Бахтіної [14], мотивація є істотно важливою для ефективного здійснення освітнього процесу, зокрема з фізики. Відомо, що байдуже ставлення до навчання є причиною низької успішності суб'єкта навчання [14].

На думку Є. Ільїна, мотивація є психічним явищем, що спонукає суб'єктів навчання до виконання тієї чи тієї дії та активізує студентів на спрямоване досягнення запланованого результату [91].

У наукових працях з психології мотивації навчання представлено у двох значеннях:

- 1) система факторів, що визначає поведінку суб'єкта навчання (цілі, інтереси, мотиви);
- 2) характеристика процесу, що розвиває поведінкову активність суб'єкта навчання [181, с. 209].

За твердженням В. Безлюдної, навчальну мотивацію визначають такі чинники: 1) освітня система; 2) освітня установа; 3) організація освітнього

процесу; 4) специфіка предмета; 5) суб'єктивні особливості педагога тощо [15].

Успіх у навчальній діяльності (М. Мешков [150], В. Якунін [266]) пов'язують насамперед з рівнями інтелектуального розвитку суб'єкта навчання в процесі вивчення фізики на основі технологій STEM-освіти.

Психологи (В. Давидов [60], Л. Божович [22], Д. Ельконін [85], Г. Костюк [112], О. Леонтьєв [129], С. Максименко [141] та ін.) вважають, що мотивація є центральною першорядною проблемою навчально-професійної діяльності студента, оскільки забезпечує організацію дієвої системи навчання фізики на основі STEM-технологій.

Внутрішні мотиви приваблюють студента процесом виконання діяльності, що визначається його самостійністю. Американський психолог М. Чиксентмихаї [274] тлумачив внутрішню мотивацію з позиції емоційного стану – «поток» радості від активності. Учений з'ясував виділив такі показники стану суб'єкта навчання [274]:

- відчуття повного (розумового та фізичного) залучення до навчальної діяльності;
- концентрація суб'єктів навчання на увазі, думках, почуттях у навчальній діяльності;
- упевненість у своїх діях, досягнення своїх цілей;
- відсутність у суб'єктів навчання тривоги та хвилювання через зроблені помилки;
- організація в своїй діяльності для досягнення ефективності результату.

Водночас Н. Бордовська й А. Реан [24] звертають увагу на те, що слід урахувати мотиваційні фактори успішності у навчально-професійній діяльності з фізики з огляду на тенденції розвитку STEM-освіти. Дослідження показало, що немає значущого зв'язку між рівнем інтелекту студентів і показниками їхньої навчальної успішності.

Наукові розвідки А. Маркової [144; 145] засвідчують, що керувати процесом розвитку мотивів у навчальній діяльності складніше, ніж формувати навчальні дії й операції. Для дієвого формування мотивів навчально-професійної діяльності студентів викладачі демонструють значення обраної професії, вимоги, які вона висуває до особистості та переваги, які створює для її розвитку й реалізації.

Діагностика та корекція мотивації навчання студентів є нагальним завданням психологів – фахівців у галузі освіти. Проблема полягає в тому, щоб знайти такі методи педагогічного впливу, які не тільки якнайкраще мотивують студента до пізнавально-пошукової діяльності, а й сприяють його максимальному розвитку, становленню та реалізації в контексті STEM-освіти.

На нашу думку, мотивація є одним з основних факторів успішного навчання студента, особливістю якого забезпечення дієвості освітнього процесу, у якому перебуває студент. Навчально-професійна діяльність та мотивація студента змінюються від першого до останнього курсу. Специфічним для студентів-першокурсників вважають процес їх адаптації до нової ситуації загалом і до навчальної діяльності зокрема [203].

Контроль полягає у співвіднесенні результатів і процесу виконання навчальних дій з їхніми зразками. У суб'єктів навчання переважає внутрішній контроль (самоконтроль), а зовнішній (контроль викладача) має другорядне значення. На нашу думку, суб'єкти навчання здійснюють такі види самоконтролю: а) аналіз основних результатів; б) контроль процесу виконання; в) контроль передбачуваних результатів.

Контроль навчальної діяльності студента в процесі вивчення фізики на основі STEM-технологій передбачає подальше виправлення недоліків й усунення помилок. Відповідність результатів студента визначають вимогами навчальної ситуації та оцінкою. На відміну від контролю оцінка мотивує студента до ефективного виконання завдань з фізики та вказує на причини й шляхи подолання недоліків.



З огляду на це окремі дослідники об'єднують студентів у три групи залежно від того, який особистісний зміст вони вбачають у своїй навчально-професійній діяльності із засвоєння фізики [24].

Для першої групи студентів зміст цієї діяльності полягає в тому, щоб старанно виконувати вимоги викладачів, мати високі оцінки, вивчити основну літературу, підготувати конспекти заданого матеріалу тощо. Їхня навчально-професійна діяльність є вузькоспрямованою.

Для інших студентів засвоєння змісту навчально-професійної діяльності сприяє досягненню досить повного розуміння матеріалу з фізики, оволодінню способами й прийомами цієї діяльності, реалізації своїх інтересів, можливості спілкуватися з викладачами та іншими студентами. Їхня навчально-професійна діяльність є активною.

Навчально-професійна діяльність має найвищий рівень активності й віддзеркалює творчу спрямованість тих студентів, які глибоко розуміють цілі навчання у ЗВО, виявляють ініціативність та самостійність під час опрацювання матеріалу, готують оригінальні виступи на семінари (див. [http://www.glau.kr.ua/index.php/ua/?option=com\\_content&view=article&id=383](http://www.glau.kr.ua/index.php/ua/?option=com_content&view=article&id=383); <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=576889519355141&set=pcb.1740816319340669&type=3&theater&ifg=1>).

Науковці поділяють мотивацію навчально-професійної діяльності на внутрішню (специфічну) і зовнішню (неспецифічну).

Під час педагогічного експерименту на основі засад STEM-освіти ми з'ясували, що внутрішня мотивація передбачає вияв інтересу й допитливості в студента та характеризується як предметно-змістовна, зумовлена предметним змістом діяльності в навчанні фізики. Зовнішню породжують соціальні фактори, потреби, інтереси, прагнення особистості покращити рівень знань з фізики, тобто виконати зовнішні вимоги, реалізувати бажання отримати оцінку, винагороду заради престижу.

Творчість студента, яку актуалізує STEM-освітня технологія, є внутрішньомотивованою формою активності, що здійснюється суб'єктом

навчання заради самої діяльності. Фактором мотивації є відчуття ефективності та активності студента, що сприяє зростанню компетентності суб'єкта навчання.

Найважливіша умова розкриття можливостей студента та його професійного розвитку полягає в посиленні ролі професійних мотивів у контексті розвитку STEM-освіти. На мотивацію навчально-професійної діяльності студента впливають зміст занять, методика викладання, особистість викладача, взаємовідносини в колективі, досягнуті результати, прийняті в ЗВО способи заохочення й стимулювання. Позитивна роль мотивів й установок в інтенсифікації навчально-професійної діяльності вимагає цілеспрямованої психологічної мобілізації студентів у педагогічному процесі, чіткої зорієнтованості на майбутню роботу.

Педагогічні джерела засвідчують, що виявляються в навчально-професійній діяльності позитивні мотиви, які формуються в суб'єктів навчання під час вивчення фізики на основі STEM-технологій за таких умов:

- 1) усвідомлення безпосередніх та перспективних цілей навчання фізики на основі STEM-засобів;
- 2) розуміння теоретичної та практичної значущості засвоєних знань з фізики й професійно зорієнтованих дисциплін з використанням STEM-технологій;
- 3) урахування емоційного складника, щодо викладу матеріалу з фізики, який визначає науковий, інженерний, технічний та математичний компоненти STEM-освіти;
- 4) визначення новизни матеріалу в навчанні фізики, ускладнення його змісту з урахуванням елементів STEM-освіти для формування в суб'єктів навчання креативності та творчості до навчання;
- 5) використання міждисциплінарного, компетентісного, інтеграційного, системного та професійно зорієнтованого підходів у навчанні фізики та дисциплін технічного напрямку навчання на основі технологій STEM-освіти для спрямування студентів на професійну діяльність;

б) вибір таких фізичних задач з виокремленням складників STEM-освіти, які б викликали в студентів пізнавальні суперечності в самій структурі навчальної діяльності;

7) підтримка зацікавленості та пізнавального психологічного клімату в навчанні фізики з урахуванням інновацій STEM-освіти.

Підсумовуючи зазначене вище ми дійшли висновку, що особлива роль у підготовці кваліфікованого фахівця в контексті розвитку STEM-освіти належить мотивації суб'єкта навчання в процесі вивчення фізики та розвитку наукового мислення. До основних аспектів впливу мотивації навчання на розвиток особистості студентів під час вивчення фізики в технічних ЗВО належать такі показники (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5

**Показники впливу мотивації на навчання студентів у процесі вивчення фізики засобами STEM-освіти**

№ з/п	Показники впливу мотивації на навчання студентів у процесі вивчення фізики засобами STEM-освіти
1	2
1.	Співвідношення наукового змісту та організації самостійного пізнання фізики засобами STEM-освіти є основним показником мотивації їхньої навчально-професійної діяльності.
2.	Внутрішня або зовнішня мотивація навчальної діяльності студентів з фізики підвищуватиметься й матиме творчу спрямованість за умови упровадження STEM-технологій.
3.	<p>Стимулювальний вплив на навчання студентів фізики завдяки внутрішнім мотивам у процесі вивчення фізики забезпечують такі форми та джерела STEM-освіти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проблемний підхід до навчання фізики;</li> <li>– новизна знань, що вимагає вдосконалення методики навчання фізики;</li> <li>– упровадження цифрового обладнання, новітніх установок, ППЗ тощо;</li> <li>– урахування міжпредметного, компетентнісного, інтеграційного, системного та професійно зорієнтованого підходів;</li> <li>– різноманітність та варіативність самостійної роботи студентів, особливо формуванням творчих та наукових завдань.</li> </ul>
4.	<p>Розвиток пізнавальних інтересів та пізнавальних потреб студентів у процесі навчання фізики на основі STEM-технологій:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– елементарний рівень пізнавальних інтересів впливає на виконання навчальних дій за зразком;</li> <li>– вищий рівень пізнавальних інтересів дозволяє студентам активно ставитися до пізнання залежностей, причинно-наслідкових зв'язків, закономірностей та до їх самостійного пошуку під час пізнавальних дій;</li> </ul>

1	2
4.	– найвищим рівнем розвитку пізнавального інтересу є творчий; він поєднується з інтересом до пізнання теоретичних проблем та до реалізації видів діяльності не за зразком, а самостійно знайденими шляхами.
5.	Новизна навчального матеріалу, розуміння теоретичної й практичної значущості засвоєних знань, вибір навчальних задач, що створюють пізнавальні суперечності в самій структурі навчальної діяльності; підтримка активності та пізнавального психологічного клімату на заняттях з фізики на основі STEM-технологій.
6.	Самоосвіта та самовиховання є визначальними факторами розкриття особистісних якостей суб'єкта навчання в контексті STEM-освіти.
7.	Особистість викладача, взаємостосунки в колективі, досягнуті результати, прийняті заохочення і стимулювання.
8.	Залежність рівня розвитку мислення студента від мотиваційних компонентів у навчанні фізики з використанням STEM-технологій.

Окреслені в таблиці 1.5 показники впливу мотивації та формування мислення в навчанні фізики на основі технологій STEM-освіти в майбутніх фахівців технічних ЗВО потребують детального аналізу.

Зокрема особливості формування інтелекту та розвитку мислення викладено в працях визнаних психологів і педагогів (С. Рубінштейна [190], В. Давидова [60], О. Кабанової-Меллер [95], Н. Менчинської [148], І. Якиманської [265], Л. Лернера [130] та ін.).

Поняття «мислення» у філософській та психолого-педагогічній літературі розглянуто з різних позицій. Кожен автор намагається дати своє тлумачення цього поняття, однак загалом вони передають ту саму суть:

– мислення – це процес, що віддзеркалює об'єктивну реальність та становить вищий ступінь людського розвитку, дає знання суб'єктам навчання про істотні властивості, зв'язки та відношення об'єктивної реальності, визначає психічні зв'язки в процесі пізнання «від явища до сутності» [239, с. 514];

– мислення – вищий пізнавальний процес, який є активною формою творчого віддзеркалення та формування нового знання, перетворення людиною дійсності; мислення є психологічним утворенням, що розкриває

шляхи здобуття нових знань та творче перетворення наявних уявлень [187, с. 132];

– мислення – процес віддзеркалення об'єктивної реальності, що становить вищий ступінь людського пізнання; його рівень впливає на засвоєння людиною знання про істотні властивості, зв'язки й відношення об'єктивної реальності [140, с. 295];

– мислення – вища форма віддзеркалення дійсності в психіці, ідеальна діяльність головного мозку, результатом якої є об'єктивна істина; людське мислення ґрунтується на чуттєвому сприйнятті дійсності, що забезпечує постійне формування структури знання [49].

Процеси мислення суб'єктів навчання під час вивчення природничих дисциплін досліджували А. Ейнштейн [87] та Г. Альтшуллер [2], а процеси розумової діяльності суб'єктів навчання вивчали такі психологи: Л. Гурова [58] (розвиток мислення в процесі розв'язування задач); А. Брушлінський [27] (спрямованість розумового процесу); О. Тихомиров [232] (структура розумової діяльності); Н. Тализіна [224] та П. Гальперін [43] (теорія поетапного формування розумових дій); Ю. Кулюткін (евристичні методи в розумовій діяльності) та ін.

Співвідношення організаційних форм навчання та розвиток мислення в процесі навчання розглядали у своїх працях дидакти Ю. Бабанський, Л. Занков [82], В. Лозова [136], О. Матюшкін [146], М. Махмутов [147], В. Паламарчук [166; 167] та ін.

Проблему розвитку мислення суб'єктів навчання з природничо-наукового циклу викладено в наукових розвідках методистів; з-поміж яких О. Бугайова [28] (науковий метод пізнання); С. Гончаренко [49] (формування в суб'єктів навчання наукового світогляду); В. Разумовський [184] (принцип генералізації); П. Атаманчук [8] (розвиток та керування навчально-пізнавальною діяльністю, яку спрямовано на творчу індивідуальність); О. Ляшенко [137; 138; 139] (понятійне мислення); А. Павленко [165; 186]

(розвиток мислення в процесі розв'язування фізичних задач); Н. Звереві [73] (природничо-наукове мислення) та ін.

Зокрема Н. Зверева виокремлює такі властивості природничо-наукового мислення [73]:

- уміння спостерігати, аналізувати та пояснювати дані спостережень;
- уміння проводити експеримент, пояснювати й оформляти результати;
- визначення етапів циклу пізнання (факти – гіпотеза – експеримент – висновки);
- розуміння структури теоретичних знань, що визначається в побудові теоретичної моделі для пошуку зв'язку між якісним та кількісним компонентами явищ, одержання висновків і наслідків;
- виявлення головного в складних явищах, аналізу та узагальнення матеріалу суб'єктами навчання;
- оволодіння деякими загальними ідеями та принципами природничо-наукових знань;
- усвідомлення методів наукового пізнання та їх співвідношення;
- творча активність та здатність застосовувати набуті знання в нових ситуаціях [73].

Психолого-педагогічні підходи у розвитку мислення розглянув С. Рубінштейн, зазначивши, що вивчення властивостей об'єкта дослідження в процесі мислення здійснюється через постійне виявлення нових зв'язків та якостей, що фіксуються в сучасних поняттях – відповідно з об'єкта вичерпується новий зміст та якості [190].

Розвиток мислення суб'єктів навчання можливий лише в процесі активної розумової діяльності для розв'язання проблем саме під час засвоєння природничо-наукових дисциплін, оскільки існує принципова можливість організувати таку продуктивну діяльність, оскільки міжпредметну інтеграцію, що є прийомом розумової діяльності, можна вважати також системою синтезу й узагальнення в процесі розв'язування

пізнавальних задач. Розв'язування задач є характерною й водночас специфічною ознакою інтелектуальної діяльності студента [186].

У дослідженні С. Гончаренка [50] розглянуто такі види мислення: 1) конкретно-дійове, 2) наочно-образне, 3) абстрактне, 4) практичне та теоретичне, 5) репродуктивне й творче.

Загальну характеристику мислення як психічного процесу викладено в А. Маклаков [140, с. 296]. У ній передбачено такі складники: особливості перебігу (узагальнення, віддзеркалення й опосередкування; пізнання дійсності; розв'язання конкретного завдання; зв'язок з мовою); форми мислення (поняття, судження, умовивід, аналогія); мисленнєві операції (аналіз, синтез, порівняння, абстрагування, узагальнення, конкретизація).

Для розвитку наукового мислення молоді В. Мощанський [154] виділяє п'ять етапів: 1) створення формальної логіки – першої в історії системи норм, що забезпечує науковість мислення; 2) подолання обмеженості розумово-споглядальних, формально-логічних побудов в епоху становлення дослідного природознавства; 3) панування метафізичного методу мислення в природознавстві й поступове усвідомлення його неадекватності об'єктом пізнання; 4) розроблення методу наукового мислення, який відповідає вимогам діалектичної логіки; 5) поступовий перехід природодослідників на позиції діалектичного мислення в епоху нової революції в фізиці.

За підходами до розв'язування фізичних задач Г. Касянова [97] виокремлює такі стилі мислення: конвергентний, дивергентний, науковий, творчий, фізичний, критичний, діалектичний, образний, продуктивний, традиційний, самостійний, «планетарний». Як зазначає дослідниця, такі стилі мислення дозволяють на абстрактному чи конкретному рівні оцінювати результати, доводити фізичні закони, пояснювати фізичні явища або процеси.

На думку В. Мултановського [156], розвиток мислення студентів у процесі навчання фізики, найперше передбачає формування фізичних

понять, однак завдання учіння цим не вичерпується. Фізичні поняття, судження й умовиводи потрібно об'єднувати в системи, структура яких відповідає формам теоретичного мислення: узагальненню й висновкам з нього. Для розвитку мислення у формі теоретичних узагальнень, важливо знати загальні структурні елементи будь-якої фізичної теорії (основа, ядро, висновки) і бачити шляхи й етапи їх пізнання, обирати відповідну методику вивчення матеріалу.

У формуванні й розвитку мислення А. Маклаков умовно окреслює декілька етапів, межі й зміст яких неоднорідні [140, с. 323].

За твердженням В. Шарко [257, с. 26–27], мислення має три складники: змістовий компонент (природничий); операційно-функціональний; мотиваційний. У змістовому компоненті мислення (поняття, судження, умовиводи) учена розглядає образи, уявлення, теоретичні й емпіричні поняття, закони, теорії, символи, схеми тощо. Операційний компонент мислення представлено системою розумових дій (мисленневих операцій), склад якої охоплює: аналіз, синтез, порівняння, абстрагування, узагальнення, класифікація, систематизація, конкретизація, індукція, дедукція. Кожна з цих операцій (розумових дій, прийомів розумової діяльності, механізмів цілеспрямованого розвитку розумових дій) виконує певну функцію в процесі пізнання й знаходиться в складному взаємозв'язку з іншими операціями.

Аналіз праць з проблеми розвитку мислення в суб'єктів навчання виявив [50; 154; 156; 186; 190], що більшість науковців у своїй діяльності розглядає різні види мислення, однак усі вони спрямовані на розвиток розумової діяльності студентів, яка виступає важливою умовою набуття досвіду.

Одне з чільних місць у психологічній, педагогічній і методичній літературі посідає поняття формування й розвитку мислення на основі впровадження сучасних технологій навчання. Саме STEM-технології спрямовано на системний розвиток мислення суб'єктів навчання.



Теоретичне природничо-наукове мислення формується як диференційно-синтетичне (фізичне, хімічне, біологічне, технічне) на основі внутрішньооб'єктних узагальнень з орієнтацією на особливі для кожної природничої науки сутності. Здебільшого це зумовлено різними типами асоціацій, узятими за основу міждисциплінарних зв'язків. При цьому практично ігнорується основоположна роль теоретичних узагальнень як психологічної бази встановлення зв'язку між науковими поняттями [182, с. 218].

У процесі навчання фізики за реалізації визначених нами педагогічних умов впровадження концепції STEM-освіти мислення активізується тоді, коли студент починає аналізувати, порівнювати, узагальнювати, синтезувати, проте найліпше мислення студентів розвивається в умовах розв'язання проблемних ситуацій. Під поняттям проблемна ситуація ми розуміємо такий психологічний стан майбутніх фахівців, що виникає під час мисленнєвої взаємодії суб'єкта навчання з об'єктом, яким є зміст навчального матеріалу. Функція змісту полягає в тому, що він має викликати пізнавальну потребу розкрити суть фізичного процесу або явища теми. Зміст навчального матеріалу сам по собі не викликає пізнавального ефекту, а взаємодія суб'єкта навчання з цим матеріалом створює потрібну ситуацію. Викладач має створити таку ситуацію і спрямувати студента на засвоєння навчального матеріалу.

Традиційну методику роботи викладача досліджено багатьма вченими [69; 151; 233]. Їхні напрацювання засвідчують, що вона може бути різною: наведення загальної характеристики проблемної ситуації, самостійне формулювання питання, формування варіантів розв'язку, що пропонуються студентам. Далі викладач може обмежитися тим, що створює проблемну ситуацію, сам формулює питання й пропонує суб'єктам навчання лише знайти його розв'язок. Важливо, щоб виникли інформаційно-пізнавальні суперечності між лінійністю засвоєння студентами знань й усвідомленням ними недостатності набутих знань для їх пояснення, що змінюються кожні 5–

10 років; традиційним зіткненням суб'єктів навчання з потребою використання раніше засвоєних знань і прояв цієї закономірності в нових практичних умовах; теоретичним методом розв'язання завдання та практичною нездійсненністю обраного способу; досягнутим результатом успішності й відсутністю в майбутніх фахівців знань для її теоретичного обґрунтування. Така методика стає іншою за умов використання STEM-технологій. У визначені суперечності проникає система нових знань, що оновлюються прискорено; математичне моделювання фізичних явищ та процесів; інженерна потреба впровадження набутих знань безпосередньо під час навчання.

Складність і важливість визначених особливостей вимагають, щоб етап розв'язання розумової задачі в навчанні фізики на основі технологій STEM-освіти спочатку розглядався на самостійному рівні формулювання питання. Особливо цінним є варіант, коли викладач лише створює умови для виникнення проблемної ситуації, а студенти самостійно виокремлюють її суперечності й формулюють питання, які потребують розв'язання.

Успішність процесу розв'язання фізичної задачі з виокремленням компонентів STEM-освіти переважно зумовлено точністю формулювання питання, однак при цьому не менш важливо досить чітко встановити в проблемній ситуації початкові дані, тобто ту інформацію, на яку можна спиратися, перетворити її, так чи так використовувати для знаходження невідомого.

Традиційно другий етап розв'язання розумової задачі за проблемного навчання починається з пошуку шляхів розв'язку сформульованого питання і полягає у формулюванні різних гіпотез. Широка варіативність гіпотез дозволяє з різних боків, у різних системах зв'язків розглянути той самий об'єкт, знайти найбільш точний і економний шлях розв'язання поставленої проблеми. Застосування ІКТ як елемента STEM-освіти докорінно змінює методику аналізу гіпотез через математичне моделювання, за яким перевірка гіпотез здійснюється відразу (що є третім етапом у традиційній методиці

використання проблемності в навчанні). На цьому етапі усувається метод проб та помилок.

Розв'язання забезпечує використання алгоритму, тобто є прямим виконанням уже відомого рішення. Творчий підхід до розв'язання розумової задачі виявляється в активному використанні алгоритму, що може виражатися або в його пристосуванні його до змісту завдання, або до трансформації завдання. Достовірно творче розв'язання фізичної задачі припускає подолання різного ступеня інертності мислення й побудови нової стратегії розв'язку, проте окремі етапи цієї попередньої роботи студент не завжди повністю усвідомлює, тому складається враження, що таке розв'язання відбувається раптово, як *інсайт-розв'язок*.

Розв'язання проблемних ситуацій є розумовим процесом, тому важливо мати на увазі, що ефективність залежить від рівня розвитку мислення студента та його ставлення до організованої при цьому діяльності, а також те, що процес розв'язування задачі є обов'язковою об'єктивною умовою розвитку мислення особистості, умовою вдосконалення її пізнавальної діяльності.

Формування природничо-наукового мислення, мотивації, проблемності навчання студентів засобами впровадження в освітній процес пізнавальних задач з фізики на основі технологій STEM-освіти в технічних ЗВО дозволяють виокремити два взаємопов'язані напрями:

– удосконалення методики навчання фізики в технічних ЗВО із залученням проблемного навчання, мотивації та розвитку мислення студентів засобами STEM-освіти зумовлює перехід до освітньої парадигми з урахуванням інтеграційного, міждисциплінарного, компетентісного, системного та професійно зорієнтованого підходів. Така методика забезпечує розвиток та актуалізацію критичного мислення, сприяє формуванню та перенесенню міжпредметних умінь студентів під час вивчення дисциплін природничо-математичного циклу, а також уможлиблює прикладне

використання природничо-наукових методів пізнання (наприклад, експеримент, теорія, моделювання тощо).

– використання технологій STEM-освіти для розв’язання різнорівневих пізнавально-навчальних задач для профільного спрямування навчання студентів та розвитку самостійної пошукової діяльності дозволить забезпечити їх якісну підготовку до практичного життя.

Удосконалення методики навчання фізики студентів технічних ЗВО в контексті STEM-освіти може бути ефективним, якщо вдало визначено педагогічні умови навчання, мотивацію навчання, розвиток мислення, проблемність. Окрім того, важливо формувати психологічну готовність майбутнього фахівця технічних ЗВО засобами STEM-технологій, що є показником фахової компетентності.

У Національній доктрині розвитку освіти зазначено, що основним завданням вищої школи є професійна підготовка суб’єктів навчання, здатних до творчості та прийняття оптимальних рішень, у яких вироблено навички самоосвіти, вміння узгоджувати свої дії з діями інших учасників спільної діяльності [159].

Закон України «Про вищу освіту» [76] передбачає забезпечення ЗВО культурного та духовного розвитку особистості з формування українського патріотизму та поваги до Конституції України.

Визначені вимоги доводять, що навчально-професійна діяльність суб’єктів навчання в технічних ЗВО є провідною, оскільки вимагає від студентів навчальної (наукової) активності. Психолого-педагогічні дослідження [7; 14; 27; 43; 50; 63] засвідчують, що така активність можлива за визначення педагогічних умов її реалізації та створення ситуації готовності майбутнього фахівця до цієї активності. У процесі нашого дослідження ми з’ясували, що ситуацію готовності потрібно забезпечувати психологічним станом суб’єктів навчання, нормами, критеріями соціокультурного рівня їх розвитку, а також сучасними інноваційними тенденціями розвитку освіти. На нашу думку, указану ситуацію можна

створити засобами STEM-освіти. Навчально-професійній діяльності студентів у галузі фізики на основі STEM-технологій властиві загальні та специфічні риси процесу учіння (визначення мети, змісту, мотивації, форм організації). Вона впливає на особистісне зростання студента, його професійне становлення (розвиток знань, умінь і навичок). Особливо важливо розкривати творчий, інженерний нахил суб'єкта навчання для подальшого спонукання до оволодіння технічною професією.

Учені визначають [26; 106; 125], що готовність майбутнього фахівця до професійної діяльності в технічній галузі під час фахової підготовки залежить від розуміння основних понять.

Поняття психологічної готовності до діяльності увели в педагогічний обіг в 1976 р. дослідники М. Дьяченко і Л. Кандибович. Поняття охоплює запас професійних компетентностей та рис особистості: мислення, увагу, пам'ять, моральний стан, переконання, інтереси, педагогічні здібності, професійна пам'ять, працездатність, емоційність [71].

У дослідженні Р. Бондаренка [26] готовність визнано особливою формою інтерпретації змісту освіти, системою інтеграційних властивостей, якостей і досвіду особи, що має ознаки загальної теоретичної й методичної готовності до професійної діяльності.

За словами С. Кучеренка, психологічну готовність [125] слід розглядати як актуалізацію й пристосування можливостей особистості для успішних дій у визначений час.

А. Кравченко [106] тлумачить професійну діяльність як активність суб'єкта навчання спрямовану на перетворення предмета праці для отримання результату, що відповідає суспільним, особистісним та духовним потребам.

У процесі освітньої діяльності спостерігаються етапи психологічної готовності професійного самовизначення, формується професійний характер, виробляється стійкість психічних процесів (мислення, увага, уява, стійкість

до стресів), що поступово формує психологічну готовність студента до успішного вивчення фізики та рівнів професійного становлення:

- розвиток професійного мислення;
- готовність до професійної діяльності;
- професійна рефлексія та ін.

Для розвитку навчально-професійної діяльності важливо засвоїти наукові знання в процесі розв'язування професійних завдань, зорієнтованих на використання STEM-технологій та на структуру формування психологічної готовності до майбутньої професійної діяльності, у складі якої ми визначаємо такі компоненти: мотиваційний; орієнтаційно-контрольований; когнітивно-оперативний; емоційно-рефлексивний; психофізіологічний.

Окрім формування компетентності майбутніх фахівців технічної галузі *мета навчально-професійної діяльності* охоплює професійні психологічні установки, прагнення займатися дослідницькою роботою, інтереси.

У нашому дослідженні визначено *ознаки навчально-професійної діяльності в процесі навчання фізики на основі STEM-технологій*:

– формування фахової компетентності фізики на основі технологій STEM-освіти психологічно стимулює студентів до професійно-творчої діяльності в технічних ЗВО, тому для організації суб'єктом навчання повноцінної навчально-професійної діяльності потрібно інтенсивно засвоїти теоретичний матеріал з урахуванням прикладного компонента фізики та професійно зорієнтованих дисциплін для подальшого формування своєї професійності в практичних діях, що ґрунтуються на узагальненнях емпіричного рівня;

– досягненню професійної мети для суб'єкта навчання сприяють інтегровані наукові знання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, що є передумовою готовності розв'язання виробничих проблем, де розглядають розбіжність між навчально-професійною діяльністю й практичною та пізнавальною з урахуванням концепції STEM-освіти;

– забезпечення єдності навчальної та наукової роботи студентів, що розвиває їхню самостійність у процесі навчання фізики на засадах STEM-освіти, унаслідок чого самостійна робота суб'єктів навчання зближується з науково-дослідною роботою викладачів;

– процес навчання фізики є прикладним, що спостерігається у зв'язках з дисциплінами технічного профілю (теоретичною механікою, опором матеріалів, авіаційною технікою, радіоелектронікою тощо) з використанням технологій STEM-освіти;

– навчання фізики характеризується проблемністю викладу матеріалу, що виокремлює технічний та інженерний складники STEM-освіти;

– урахування вікових та індивідуальних особливостей студентів під час навчання фізики на основі концепції STEM-освіти.

Для успішної організації професійної діяльності студентами технічних ЗВО потрібні професійна спрямованість уваги, уявлень, сприймання, пам'яті, педагогічне мислення, педагогічні здібності, знання, дії, операції і заходи, необхідні.

*Когнітивно-операційний компонент* охоплює професійну спрямованість, пам'ять, увагу, уявлення, творче мислення, що важливі для досягнення успіхів у професійній діяльності. Навчально-професійна діяльність студентів під час навчання фізики на основі технологій STEM-освіти має такі особливості:

– її підпорядковано засвоєнню способів і досвіду професійного розв'язання практичних завдань з фізики на основі STEM-засобів навчання, які можуть трапитися в майбутній діяльності;

– посилення ролі професійних мотивів самоосвіти та самовиховання, що є важливою умовою розкриття можливостей суб'єкта навчання до його професійного розвитку.

*Емоційно-рефлексивний компонент* забезпечує успішність і результативність діяльності майбутнього фахівця, формування почуття відповідальності, вольових процесів, емоційного тону, емоційної

сприйнятливості, цілеспрямованості, наполегливості, рішучості, самостійності, самоконтролю. Ми поділяємо позицію Л. Подоляк у доцільності виокремлення цього компонента в *напрямах професіоналізації* майбутнього фахівця [172]:

- професіоналізуються всі пізнавальні процеси: сприймання, спостережливість, пам'ять, уява, мислення;

- студент повинен самостійно розробляти засоби досягнення поставлених професійних цілей, на основі яких формуються механізми планування діяльності, програмування, оцінка результатів та їх кореляція;

- студент виробляє професійну спрямованість, якщо має прояви професійної мотивації, інтерес до професійної діяльності; розуміння професійних завдань з оцінюванням власних можливостей для їх розв'язання; самовдосконалюється в професійній діяльності, що виявляється в підсиленні мотивів до самоосвіти та самовиховання.

*Психофізіологічна готовність* виявляється в упевненості у власних силах, наполегливості доводити розпочату справу до логічного кінця, професійній працездатності, здатності вільно керувати своєю поведінкою і поведінкою інших, активності, урівноваженості й витримці. Професійна спрямованість суб'єкта навчання (майбутнього пілота, диспетчера, інженера з технічного обслуговування літака) визначається стійкістю, внутрішнім прийняттям цілей та завдань професійної діяльності, розвитком інтересу до цієї діяльності.

*Орієнтаційно-контрольовальний компонент* передбачає високий рівень самооцінки власної професійної підготовки й відповідності в розв'язанні професійних завдань, професійного самовдосконалення, зокрема:

- формування реальних уявлень про значущість майбутньої професії, що досягається використанням засобів STEM-освіти;

- вироблення високої самооцінки до засвоєння знань та вмій з фізики, важливих для подальшого розв'язання професійних завдань;



– формування впевненості в суб'єкта навчання до успішного засвоєння професії, що визначається наявністю потрібних технічних та інженерних задатків, які виявляються в процесі навчання фізики;

– стимулювання в студента прагнення до самоосвіти, що викликає активний інтерес до фізики як прикладної науки, пов'язаної з майбутньою професією;

– зближення соціально-рольових функцій викладача й студента та обмін ними в навчанні фізики з використанням технологій STEM-освіти.

Отже, визначені нами педагогічні умови формування особистісних якостей майбутнього фахівця технічної галузі, зокрема авіаційної, безпосередньо впливають на удосконалення методики навчання фізики студентів технічних ЗВО засобами STEM-освіти. Ефективні зміни щодо спрямованості професійної діяльності студента в навчанні фізики на основі STEM-технологій можливі за умови зміцнення мотивів, пов'язаних з майбутньою професією; зростання професіоналізму в розв'язанні складних навчальних завдань; посилення відповідальності та бажання добитися успіхів у професійній діяльності.

### **Висновки до першого розділу**

*Проаналізовано* Національну стратегію розвитку освіти в Україні на період до 2021 р., Національну інноваційну систему України щодо стану та законодавчого забезпечення кардинальних змін у технічних ЗВО, спрямованих на підвищення якості й конкурентоспроможності освіти в нових економічних і соціокультурних умовах, прискорення інтеграції України в міжнародний освітній простір в умовах нового соціально-гуманістичного впорядкування кінця ХХ–початку ХХІ ст., заснованого на інтелектуальній технології, що дозволяє сприймати новітній принцип суспільної організації та соціальних змін, за якими теоретичне знання є джерелом оновлення й зміни природи технологічного прогресу.

*Розглянуто* модель взаємодії процесів софтизації й сервізації (джерел ресурсів) у ланцюзі наука–інноваційна інфраструктура–інноваційна система технічного ЗВО. *Установлено*, що основними рисами постіндустріального суспільства, на основі яких виникають інноваційні системи, є такі: провідна роль теоретичного знання, що є підґрунтям для технологічних інновацій; фундаменталізація знань і нової інтелектуальної технологізації, що дає більш ефективні підходи до розв’язання технічних, економічних і соціальних, освітніх проблем; *доведено*, що реалізація визначеного напрямку успішно здійснюється засобами STEM-технологій та тенденціями розвитку освіти за інтеграційного, міждисциплінарного, компетентісного, системного та професійно зорієнтованого підходів.

*Установлено*, що розвитку технологій властиві інноваційні хвилі, які інтерферують й утворюють цикли інноваційного розвитку. *Виявлено*, що такий ланцюг інтерференції зумовив створення нового довготривалого циклічного коливання технологічних інновацій – STEM, яке має власну траєкторію інноваційного розвитку й визначає синхронізований цикл інноваційного розвитку наукових, освітніх, економічних, виробничих, екологічних систем. *Обґрунтовано* циклічність інноваційності в розвитку методики навчання, зокрема фізики, у якій наявні довготривалі циклічні коливання психолого-педагогічних, наукових і технологічних інновацій та STEM.

Методологічно обґрунтовано STEM, що є специфічним інтеграційним засобом навчання фізики, технологій, інженерії, математики, де інноваційний процес у STEM-системі здійснюється відповідно до ланцюжка: стабільний рівноважний стан природничих наук, технологій, інженерії, математики – привнесення флуктуацій, нововведень у будь-який елемент рівноважного стану (наукове відкриття трансформоване в освіту; упровадження мехатроніки тощо) – виникнення збурень, невідповідності між розвитком складників системи – виникнення нерівноважного стану, який може повернутися до первинної рівноважності (регрес) або перетворитися на

хаос – біфуркація як вища точка нерівноважності хаосу – самоорганізація системи в нову якість за ймовірнісним сценарієм. Основною частиною в циклі хвиль розвитку є точка біфуркації. В освіті її важливо вчасно помітити й ужити заходи для створення ефективної інноваційної (прогрес) якості, а не руйнівної (регрес).

*Сформовано* педагогічні умови вироблення особливостей методики навчання фізики студентів технічних ЗВО засобами STEM-освіти, з-поміж них такі: процес навчання фізики на основі STEM-технологій потрібно зорієнтувати на особистісні властивості студента; важливо окреслити вимоги до визначення співвідношення реального фізичного та комп'ютерного експерименту як взаємодоповнювальних засобів вивчення реального фізичного явища чи процесу; визначальною є самостійна пізнавально-пошукова діяльність суб'єктів навчання; навчання фізики на основі STEM-технологій забезпечується співвідношенням та поєднанням технічного й природничо-математичного складників STEM-освіти, передбачає обґрунтоване поєднання теоретичних і практичних її компонентів.

*Продемонстровано*, що формування природничо-наукового мислення засобами STEM-освіти об'єднує: процеси наукового аналізу, модельного порівняння, математичного узагальнення, інженерного синтезу; показники впливу мотивації навчання на результати навчання; проблемність як психологічний стан майбутніх фахівців, причиною якого є інформаційно-пізнавальні суперечності між лінійністю засвоєння студентами знань й усвідомленням ними недостатньої предметної компетентності під час мисленнєвої взаємодії суб'єкта (студента) з об'єктом (навчальним матеріалом), розв'язання якої забезпечують засоби технологій STEM-освіти за визначеними в нашому дослідженні алгоритмами.

Основні положення першого розділу дисертації викладено автором у публікаціях [113–117; 118; 119; 120; 121].

### Список використаних джерел до першого розділу

1. Алексеева М. Б., Масино М. М. Инновационный анализ: учеб. пособие. Санкт-Петербург : СПбГИЭУ, 2011. 185 с.
2. Альтшуллер Г. С., Злотин Б. Л., Зусман А. В. Теория и практика решения изобретательских задач. Методические рекомендации. Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1989. 127 с.
3. Андрущенко В. П. Основні тенденції розвитку вищої освіти на рубежі століть (Спроба прогностичного аналізу). *Вища освіта України*. 2001. № 1. С. 11–17.
4. Андрущенко В. Роздуми про освіту: статті, нариси, інтерв'ю. Київ : Знання України, 2008. 819 с.
5. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах: пер. с англ. Москва : Сов. радио, 1974. 272 с.
6. Архангельский С. И. Некоторые методологические вопросы введения в теорию обучения высшей школы. *Вопросы повышения эффективности теоретических исследований в педагогической науке : статьи*. Москва, 1976. Ч. II. С. 15–41.
7. Архангельский С. И. Учебный процесс в высшей школе, его закономерные основы и методы. Москва : Высшая школа, 1980. 368 с.
8. Атаманчук П. С. Дидактичні основи формування фізико-технологічних компетентностей учнів : монографія. Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський нац. ун-т імені Івана Огієнка, 2011. 252 с.
9. Атаманчук П. С., Поведа Т. П. Особливості гуманістичного супроводу навчально-пізнавальної діяльності учнів з фізики. *Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка. Серія: педагогічні науки: Збірник у 2-х т.* Чернігів: ЧДПУ, 2006. №36. Т. 1. Вип. 36. С. 9–13.

10. Афанасьева О. Ю. Коммуникативное образование студентов педагогических вузов на основе идеи междисциплинарности. *Педагогическое образование и наука*. 2006. № 2. С. 24–28.

11. Бабін І. Стратегія та сучасні тенденції розвитку університетської освіти України в контексті Європейського простору вищої освіти на період до 2020 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.tempus.org.ua/uk/national-team-here/238-strategija-ta-suchasni-tendenciji-rozvitku-universitetskoji-osviti-ukrajini-v-konteksti-jevropejskogo-prostoru-vishhoji-osviti-na-period-do-2020-r.html>. (дата звернення: 16.04.2017).

12. Бажал Ю. М. Економічна теорія технологічних змін. 1996, Київ : Заповіт. 240 с.

13. Базилевич В. Ринкова економіка: основні поняття і категорії : навч. посіб., Київ : Знання, 2006. С. 90–96.

14. Бахтина И. А. Мотивация учебной деятельности студентов ССУЗ : дис. ... канд. психол. наук : 19.00.05 / И. А. Бахтина; РАО, Ин-т среднего спец. образования. Казань, 1997. 180 с.

15. Безлюдна В. Мотивація навчання як основна складова оволодіння іноземною мовою студентів немовних спеціальностей. *Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини*. Умань : ФОП Жовтий О. О., 2013. Ч. 2. С. 32–37.

16. Безрукова В. С. Все о современном уроке в школе : проблемы и решения. Москва : Сентябрь, 2004. 160 с.

17. Бендес Ю. П. Використання інформаційних технологій у процесі навчання фізики в технічних навчальних закладах: монографія. Полтава : Шевченко Р. В., 2011. 360 с.

18. Белл Даниел. Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования. Перевод с английского. изд. 2-ое, испр. и доп. Москва : Academia, 2004. 788 с.

19. Беляева С. А. Теоретические основы фундаментализации общенаучной подготовки в системе высшего технического образования : дис. ... д-ра. пед. наук : 13.00.01 / С. А. Беляева. Москва, 1999. 458 с.

20. Биков В. Ю. Системно-структурні засади забезпечення якості професійної освіти. *Управління якістю професійної освіти : зб. наук. праць*. Донецьк : ДПО ІПП АПН України, 2001. С. 269–270.

21. Богданова І. М. Педагогічна інноватика: навч. посіб. Одеса : ТЕС, 2000. 148 с.

22. Божович Л. И. Проблемы формирования личности: Избранные психологические труды / под ред. Д. И. Фельдштейна ; Вступительная статья Д. И. Фельдштейна. 3-е изд. Москва : Московский психолого-социальный институт, Воронеж : МОДЭК, 2001. 352 с.

23. Болонський процес. Національний звіт: 2007–2009. Київ, 2010. 32 с.

24. Бордовская Н. В., Реан А. А. Педагогика: учеб. для вузов. СПб. : Питер, 2000. 304 с.

25. Благодаренко Л. Ю. Теоретико-методичні засади реалізації фізичної компоненти державного стандарту базової середньої освіти : дис. ... д-ра. пед. наук: 13.00.02 / Л. Ю. Благодаренко; М-во освіти і науки України. Київ, 2011. 455 с.

26. Бондаренко Р. М. Підготовка практичних психологів до роботи з дітьми з особливостями психофізичного розвитку у просторі післядипломної освіти [Електронний ресурс]. *Електронний збірник наукових праць Запорізької обласної академії післядипломної педагогічної освіти*. 2011. Вип. № 6. URL: [http://virtkafedra.ucoz.ua/el\\_gurnal/pages/vyp6/bondorenko.pdf](http://virtkafedra.ucoz.ua/el_gurnal/pages/vyp6/bondorenko.pdf). (дата звернення: 17.03.2018).

27. Брушлинский А. В. Исследование направленности мыслительного процесса: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. пед. наук (по психологии). Москва, 1964. 28 с.

28. Бугаев А. И. Методика преподавания физики. Теоретические основы. Москва : Просвещение, 1981. 288 с.

29. Бузгалин А. В., Колганов А. И. Теория социально-экономических трансформаций. Прошлое, настоящее и будущее экономик «реального социализма» в глобальном постиндустриальном мире. Москва : ТЕИС, 2003. 656 с.

30. Бушок Г. Ф., Венгер Е. Ф. Методика преподавания общей физики в высшей школе. Київ : Наукова думка, 2000. 415 с.

31. Бушуев С. Д., Бушуева Н. С., Бабаев И. А. Креативные технологии управления проектами и программами: монография. Киев : Саммит-Книга, 2010. 768 с.

32. Василькова В. В. Междисциплинарность как когнитивная практика (на примере становления коммуникативной теории). *Коммуникация и образование: сб. статей* / под ред. С. И. Дудника. СПб. : Санкт-Петербургское философское общество, 2004. С. 69–88.

33. Ващенко Л. М. Система управління інноваційними процесами в загальній середній освіті регіону: автореф. дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.01 / Л. М. Ващенко; Інститут педагогіки АПН України. Київ, 2006. 45 с.

34. Великий тлумачний словник сучасної української мови / уклад. і голов. ред. В. Т. Бусел. Київ : Ірпінь: Перун, 2004. 422 с.

35. Величко І. С., Величко С. П. Сучасні проблеми дидактики фізики вищої школи. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : зб наук. праць*: у 3-х томах. Кривий Ріг, 2005. Т. 2. С. 73–79.

36. Вища освіта України і Болонський процес: навч. посіб. / [М. Ф. Степко та ін.] ; за ред. В. Г. Кременя. Тернопіль : навчальна книга-Богдан, 2004. 384 с.

37. Власенко О. Еволюція інноваційної політики та інноваційних процесів в умовах переходу традиційної економіки до економіки знань. Актуальні проблеми державного управління: *Збірник наукових праць Одеського інституту державного управління*. 2013, Вип. 2(54). С. 3–6. [Електронний ресурс]. URL: [http://www.oridu.odessa.ua/9/buk/Zmist\(54\).pdf](http://www.oridu.odessa.ua/9/buk/Zmist(54).pdf). (дата звернення: 26.01.2019).

38. Вовкотруб В. П. Ергономічний підхід до організації освітнього середовища підготовки майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін і технологій. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Кіровоград, 2012. Вип. 102. С. 33–41.

39. Вознюк О. В., Дубасенюк О. А. Цільові орієнтири розвитку особистості у системі освіти : інтегративний підхід : монографія. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2009. 684 с.

40. Воробьев А. Е., Чекушина Т. В. Инновационный менеджмент недропользования: учеб. пособие. Москва : РУДН, 2008. 222 с.

41. Воронин А. С. Словарь терминов по общей и социальной педагогике. науч. ред. Г. Д Бухарова ; Федеральное агентство по образованию ГОУ ВПО Уральский гос. тех. ун-т–УПИ. Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. 135 с.

42. Гавриш І. В. Теоретико-методологічні основи формування готовності майбутніх учителів до інноваційної професійної діяльності : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04 / І. В. Гавриш. Харків, 2006. 572 с.

43. Гальперин П. Я. Психология мышления и учение о поэтапном формировании умственных действий. *Исследования мышления в советской психологии* / под ред. Е. В. Шороховой. Москва : Наука, 1966. С. 236–277.

44. Галузеві стандарти вищої освіти. Педагогічна освіта. Педагогіка і методика середнього освіти. Фізика. Частина II. Освітньо-професійна програма підготовки бакалавра. Київ, 2003. 74 с.

45. Гегелевская концепция общественного развития. [Электронный ресурс]. URL:[https://www.e-reading.club/chapter.php/103872/63/Shevchuk\\_-\\_Filosofiya\\_konspekt\\_lekciii.html](https://www.e-reading.club/chapter.php/103872/63/Shevchuk_-_Filosofiya_konspekt_lekciii.html). (дата обращения: 17.04.2017).

46. Герасимов Г. И., Илюхина Л. В. Инновации в образовании: сущность и социальные механизмы. Ростов н/Д : Логос, 1999. 136 с.

47. Гончаренко С. У. Педагогічні дослідження: методологічні поради молодим науковцям. Київ : Вінниця : ДОВ Вінниця, 2008. 278 с.



48. Гончаренко С. У. Принцип фундаменталізації освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2004. Вип. 55. С. 3–8.

49. Гончаренко С. У. Формування наукового світогляду учнів під час вивчення фізики : посібник для вчителя. Київ : Рад. шк., 1990. 208 с.

50. Гончаренко С. У. Методика як наука. Хмельницький : ХГПК, 2000. 30 с.

51. Гончарова Н. Глосарій термінів, що визначають сутність поняття STEM-освіта. *Інформаційний збірник для директора школи та завідуючого дитячим садочком*, 2015. Вип. 17–18 (41). С. 90–92.

52. Гончарова Н. О., Патрикеева О. О. Впровадження STEM-освіти в навчальних закладах (за результатами опитування науково-педагогічних працівників ОІППО). *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2016. Вип. 8. С. 215–223.

53. Головань М. С. Професійна компетентність викладача вищого навчального закладу. *Проблеми сучасної педагогічної освіти. Серія: Педагогіка і психологія*. 2014. Вип. 44. Ч. 3. С. 79–88.

54. Горбатенко В. П., Бульбенюк С. С. Політична трансформація в сучасному світі. навч. посібник. Київ : ДП «Вид. дім «Персонал», 2010. 160 с. [Електронний ресурс]. URL: [http://maup.com.ua/assets/files/lib/book/polit\\_transform.pdf](http://maup.com.ua/assets/files/lib/book/polit_transform.pdf). (дата звернення: 11.05.2017).

55. Горносталь П. М. Активізація пізнавальної діяльності майбутніх вчителів фізики (на матеріалах практикуму з механіки) : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 / П. М. Гонросталь. Київ, 1994. 199 с.

56. Гриньова О., Цунікова І. Трансформація інформаційно-освітнього середовища в контексті впровадження STEM-навчання. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2016. Вип. 10. С. 197–207.

57. Гриценко В. Г. Нові інформаційні технології при вивченні статистичних закономірностей у процесі підготовки вчителів фізики : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 / В. Г. Гриценко. Черкаси, 1998. 198 с.

58. Гурова Л. Л. Психологический анализ решения задач. Воронеж : Изд-во Воронежского ун-та, 1976. 327 с.
59. Давиденко А. А. Методика розвитку творчих здібностей учнів у процесі навчання фізики (теоретичні основи). Ніжин : Аспект-Поліграф, 2004. 264 с.
60. Давыдов В. В. Теория развивающего обучения. Москва : ИНТОР, 1996. 544 с.
61. Даниленко Л. І. Управління інноваційною діяльністю в загальноосвітніх навчальних закладах: монографія. Київ : Міленіум, 2004. 358 с.
62. Дичківська І. М. Інноваційні педагогічні технології: навч. посібник. Київ : Академвидав, 2004. 352 с.
63. Джанетто К., Уиллер Э. Управление знаниями. Руководство по разработке и внедрению корпоративной стратегии управления знаниями: пер. с англ. Москва : Добрая книга, 2005. 192 с.
64. Дорофеева І. Формування критичного мислення школярів. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Кіровоград, 2007. Вип. 72. Ч. 2. 283 с.
65. Докучаева В. В. Теоретико-методологічні основи проектування інноваційних педагогічних систем : дис. ... д-ра. пед. наук : 13.00.01 / В. В. Докучаева. Луганськ, 2007. 481 с.
66. Дуальна освіта. [Електронний ресурс]. URL: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/profesijno-tehnichna-osvita/dualna-osvita> (дата звернення: 26.01.2019).
67. Дудченко В. С. Основы инновационной методологии. Москва : Союз, 1996. 68 с.
68. Дюркгейм Э. Метод социологии: пер. с фр. Западно-европейская социология XIX – начала XX веков : пер. с фр. / под ред. В. И. Добренькова. Москва : Издание Международного Университета Бизнеса и Управления, 1996. С. 9–65.
69. Дубасенюк О. А., Антонова О. Є. Методика викладання педагогіки: курс лекцій. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2014. 328 с.

70. Дутка Г. Філософські та загальнонаукові передумови фундаменталізації змісту професійної освіти. *Педагогіка і психологія професійної освіти*. 2004. № 6. С. 18–24.

71. Дьяченко М. И., Кандыбович Л. А. Психологические проблемы готовности к деятельности. Минск : БГУ, 1976. 176 с.

72. Жук Ю. О. Роль засобів навчання у формуванні навчального середовища. *Науково-методичний вісник «Нові технології навчання»*. Київ : ІЗМН, 1998. № 22. С. 106–112.

73. Зверева Н. М. Активизация мышления учащихся на уроках физики Москва : Просвещение, 1980. 112 с.

74. Загвязинский В. И. Инновационные процессы в образовании и педагогическая наука. Инновационные процессы в образовании. Тюмень : Изд-во Тюменского гос. ун-та, 1990. 256 с.

75. Заболотний В. Ф. Формування методичної компетентності учителя фізики засобами мультимедіа: автор. дис. ... д-ра. пед. наук : 13.00.02 / В. Ф. Заболотний; М-во освіти і науки України, Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. Київ, 2010. 39 с.

76. Закон України «Про вищу освіту». [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1556-18> (дата звернення: 09.06.2018).

77. Закон України «Про освіту». [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2145-19> (дата звернення: 09.06.2018).

78. Закон України «Про наукову та науково-технічну діяльність». [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/848-19> (дата звернення: 09.06.2018).

79. Закон України «Про інноваційну діяльність». [Електронний ресурс]. URL: [zakon5.rada.gov.ua/laws/show/40-15gov.ua/laws/](http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/40-15gov.ua/laws/) (дата звернення: 09.06.2018).

80. Закон України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні». [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=40-15>. (дата звернення: 09.06.2018).

81. Закономерности инновационного развития общества. [Электронный ресурс]. URL: [https://studme.org/44988/investirovanie/zakonomernosti\\_innovatsionno\\_go\\_razvitiya\\_obschestva](https://studme.org/44988/investirovanie/zakonomernosti_innovatsionno_go_razvitiya_obschestva). (дата обращения: 15.06. 2017).

82. Занков Л. В. Избранные педагогические труды. Москва : Просвещение, 1990. 424 с.

83. Зязюн І. А. Філософія педагогічної дії: монографія. Черкаси : ЧНУ ім. Богдана Хмельницького, 2008. 608 с.

84. Елгина Л. С. Фундаментализация образования в контексте устойчивого развития общества : сущность, концептуальные основания : дисс. ... канд. философ. наук: 09.00.11 / Л. С. Елгина ; М-во образования Российской Федерации, Бурятский гос. ун-т. Улан-Удэ, 2000. 155 с.

85. Эльконин Д. Б. Избранные психологические труды. Москва : Педагогика, 1989. 560 с.

86. Енциклопедія освіти / АПН України : відпов. ред. В. Г. Кремень. Київ : Юрінком Інтер, 2008. 1040 с.

87. Эйнштейн А. Физика и реальность. Сб. статей. Москва : Наука, 1965. 359 с.

88. Іваницький О. І. Інноваційні технології навчання фізики: навчальний посібник. Запоріжжя : Диво, 2007. 99 с.

89. Іваницький О. І. Теоретичні і методичні основи підготовки майбутнього вчителя фізики до впровадження інноваційних технологій навчання : автореф. дис. на здобуття ступеня д-ра пед. наук : 13.00.02 / О. І. Іваницький; Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. Київ, 2005. 43 с.

90. Изучение мотивации поведения детей и подростков / Под ред. Л. И. Божович и Л. В. Благоннадежиной; НИИ общей и педагогической психологии АПН СССР, Ин-т психологии АПН РСФСР. Москва : Педагогика, 1972. 352 с.

91. Ильин Е. П. Мотивация и мотивы. Санкт-Петербург : Питер, 2011. 512 с.

92. Інноваційна Україна 2020: національна доповідь / за заг. ред. В. М. Гейця та ін.; НАН України. Київ, 2015. 336 с.

93. Інновації в освіті: інтеграція науки і практики: зб. наук.-метод. праць / за заг. ред. О. А. Дубасенюк. Житомир : ФОП Левковець, 2014. 492 с.

94. Иноземцев В. Перспективы постиндустриальной теории в меняющемся мире. [Электронный ресурс]. URL:[http://www.iir-mp.narod.ru/books/inozemcev/page\\_1003.html](http://www.iir-mp.narod.ru/books/inozemcev/page_1003.html). (дата обращения: 11.09.2017).

95. Кабанова-Меллер Е. Н. Учебная деятельность и развивающее обучение. Москва : Знание, 1981. 96 с.

96. Касперський А. В. Радіоелектроніка в системі формування фізичних і технічних знань у середніх загальноосвітніх та вищих педагогічних навчальних закладах : дис. ... д-ра. пед. наук : 13.00.02 / А. В. Касперський ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т ім. М. П. Драгоманова. Київ, 2003. 524 с.

97. Касянова Г. В. Система фізичних задач для розвитку творчих здібностей учнів : навч. посібник. Київ : ІЗМН, 1997. 120 с.

98. Карпова Ю. А. Введение в социологию инноватики : учеб. пособие. СПб. : Питер, 2004. 192 с.

99. Коваленко О., Сапрунова О. STEM-освіта – досвід упровадження в країнах ЄС та США. *Рідна школа*. 2016. № 4. С. 46–49.

100. Коновал О. А. Теоретичні і методичні засади вивчення електродинаміки як релятивістської теорії у вищих педагогічних навчальних закладах : дис. ... д-ра. пед. наук : 13.00.02 / О. А. Коновал. Київ, 2010. 468 с.

101. Коновал О. А. Теоретичні та методичні основи вивчення електродинаміки на засадах теорії відносності: монографія. Кривий Ріг : Видавничий дім, 2009. 346 с.

102. Кондратьев Н. Д. Особое мнение : избр. произведения в 2 кн. Москва : Наука, 1993. Кн. 1. 655 с.

103. Кондратьев Н. Д. Особое мнение: избр. произведения: в 2 кн. Москва : Наука, 1993. Кн. 2. 719 с.

104. Краевский В. В. Общие основы педагогики: [учебник для студ. высш. пед. уч. заведений. Москва : Академия, 2008. 256 с.

105. Краевский В. В., Бережнова Е. В. Методология педагогики: новый этап: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. Москва : Академия, 2006. 400 с.

106. Кравченко А. И. Социология: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. Москва : Академия, 2002. 414 с.

107. Кремень В. Освіта і наука України : шляхи модернізації : факти, роздуми, перспективи. Київ : Грамота, 2003. 216 с.

108. Кремень В. Г. Філософія освіти ХХІ століття. *Шлях освіти*. 2003. № 6. С. 2–5.

109. Кременський Б. Г. Формування сучасного наукового стилю мислення учнів в процесі навчання фізики : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук: 13.00.02 / Б. Г. Кременський; Український держ. педагогічний ун-т ім. М. П. Драгоманова. Київ, 1997. 24 с.

110. Кримський С. Б. Проект і проектування в сучасній цивілізації. Метод проектів : традиції, перспективи, життєві результати : практико-орієнтований зб. [керівник авторського колективу – директор ліцею міжнародних відносин № 51 С. М. Шевцова ; наук. керівник і ред. – канд. істор. наук І. Г. Єрмаков]. Київ : Департамент, 2003. 500 с.

111. Кропотова Н. В. Университет как пространство междисциплинарной коммуникации. *Проблеми та перспективи формування національної гуманітарно-технічної еліти: зб. наук. пр.* / Мін-во освіти і науки України; АПН України; Нац. техн. ун-т «ХПІ». Харків : НТУ ХПІ, 2008. Вип. 18 (22). С. 22–30.

112. Костюк Г. С. Избранные психологические труды. Москва : Педагогика, 1988. 304 с.

113. Кузьменко О. С. Теоретико-методичні особливості використання сучасних комп'ютерно-орієнтованих засобів навчання у процесі вивчення

фізики. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики* : зб. наук. праць. Кривий Ріг, 2012. Вип. X. Т. 2. С.178–183.

114. Кузьменко О. С. Організація самостійної пізнавально-пошукової діяльності курсантів льотної академії під час проведення фізичного практикуму. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2012. Вип. 18. С. 166–168.

115. Кузьменко О. С. Формування професійної компетентності студентів вищих навчальних закладів з позиції акмеологічного підходу. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2013. Вип. 19. С. 93–96.

116. Кузьменко О. С. Розвиток наукового мислення студентів в процесі розв'язування задач професійного спрямування із загального курсу фізики. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*: зб. наук. праць. Ужгород, 2013. № 28. С. 91–94.

117. Кузьменко О. С. Методологічні аспекти формування наукового світогляду студентів льотної академії при проведенні робіт фізичного практикуму. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти* : зб. наук. праць. Кіровоград, 2014. Вип. 5. Ч. 3. С. 71–75.

118. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Формування професійного мислення студентів технічних вузів в процесі вивчення фізики. *Збірник наукових праць «Педагогічні науки»*. Херсон, 2016. Випуск LXXI. Том 1. С. 43–47.

119. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Особливості вивчення фізики у вищих навчальних закладах технічного профілю в умовах розвитку STEM-освіти. Сучасні тенденції навчання природничо-математичних та технологічних дисциплін у загальноосвітній та вищій школі : матеріали III Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф., 17–22 жовтня 2016 р. Кропивницький (Кіровоград): РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2016. С. 51–52.

120. Кузьменко О. С. Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти : монографія. Кропивницький : КОД, 2018. 624 с.

121. Кузьменко О. С. Використання поняття симетрії для формування наукового світогляду студентів у процесі навчання фізики в умовах розвитку STEM-освіти. *Науковий вісник Львівської академії. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Кропивницький, 2017. Вип. 2. С. 173–179.

122. Кун Т. Структура научных революций. Москва : Прогресс, 1977. 300 с.

123. Кураленко О. Г. Методологические вопросы инновационного развития экономических систем. *Молодой ученый*. 2011. Т. 1. № 10. С.127–130.

124. Курдюмов С. П., Князева Е. Н. Структуры будущего : синергетика как методологическая основа футурологии. Синергетическая парадигма. *Нелинейное мышление в науке и искусстве*. сост. и отв. ред. В. Копцик. Москва : Прогресс-Традиция, 2002. С. 109–125.

125. Кучеренко С. М. Оценка психологической готовности студентов к профессиональной деятельности как одно из направлений повышения качества подготовки специалистов. *Вісник Харківського університету. Серія психологія*. Харків : ХДУ, 1998. № 403. С. 107–111.

126. Кушнір В. А. Системний аналіз педагогічного процесу: методологічний аспект: монографія. Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2001. 348 с.

127. Лаврентьев Г. В., Лаврентьева Н. Б. Инновационные обучающие технологии в профессиональной подготовке специалистов : учебное пособие: в 3 ч. 2-е изд. Барнаул : Изд-во Алт. Ун-та, 2009. Ч. 1. 166 с.

128. Лагервей Н. Изменение образования через развитие школы. *Управление в образовании: проблемы и подходы* / под ред. П. Карстанье, К. Ушакова. Москва, 1995. С. 15–42.

129. Леонтьев А. Н. Потребности, мотивы и эмоции. Москва : МГУ, 1971. 40 с.



130. Лернер И. Я. Дидактические основы методов обучения. Москва : Педагогика, 1981. 186 с.

131. Липова Л. А. Основні напрями фундаменталізації змісту природничих предметів в умовах профільного навчання. [Електронний ресурс]. URL: [www.ipro.org.ua/files/новини/ОСТАННІ\\_НОВИНИ\\_2012/0422/2.doc](http://www.ipro.org.ua/files/новини/ОСТАННІ_НОВИНИ_2012/0422/2.doc) (дата звернення: 12.06.17).

132. Літвінова М. Б. Вплив форми надання навчального матеріалу з фізики на успішність його опанування студентами з різними стилями мислення. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 5: Педагогічні науки: реалії та перспективи: зб. наук. пр.* Київ, 2017. Вип. 59. С. 85–91.

133. Літвінова М. Б. Досвід діагностування кліпового мислення. *Збірник наукових праць «Педагогічні науки»*. Херсон, 2017. Вип. LXXVI. Т. 3. С. 140–145.

134. Літвінова М. Б. Адаптивне навчання фізики з використанням центрального образу. *Збірник наукових праць «Педагогічні науки»*. Херсон, 2017. Вип. LXXX. Т. 1. С. 247–252.

135. Лозова О., Горбенко С., Гончарова Н. Використання засобів STEM-навчання в умовах модернізації системи позашкільної освіти. *Наукові записки Малої академії наук України : зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 10. С. 82–87.

136. Лозова В. І. Пізнавальна активність школярів: (Спецкурс з дидактики); навч. посібник для пед. ін-тів. Харків: Основа при ХДУ, 1990. 89 с.

137. Ляшенко О. І. Взаємозв'язок теоретичного та емпіричного у навчанні фізики: дис. ... д-ра. пед. наук: 13.00.04; 13.00.02 / О. І. Ляшенко. Київ, 1996. 442 с.

138. Ляшенко О. І. Якість освіти як основа функціонування й розвитку сучасних систем освіти. *Педагогіка і психологія*. 2005. №1(46). С. 5–12.

139. Ляшенко О. І. Формування фізичного знання в учнів середньої школи: логіко-дидактичні основи. Київ : Генеза, 1996. 128 с.

140. Маклаков А. Г. Общая психология: учебник для вузов. Санкт-Петербург : Питер, 2008. 583 с.

141. Максименко С. Д., Максименко К. С., Папуча М. В. Психологія особистості: підруч. Київ : КММ, 2007. 296 с.

142. Мартинюк М., Гнатюк О., Декарчук М. Психолого-педагогічні основи добору і конструювання змісту навчання фізики. *Наукові записки: збірник наукових статей Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова*. Київ : НПУ, 2003. Вип. LIII(53). С. 193–205.

143. Маркова О. Ю. Междисциплинарность как методологический принцип философии образования. *Образование и гражданское общество: материалы круглого стола, 15 ноября 2002 г. Серия: Непрерывное гуманитарное образование (научные исследования)*. / под ред. Ю. Н. Солонина. СПб. : Санкт-Петербургское философское общество, 2002. Вып. 1. С. 24–27.

144. Маркова А. К., Матис Т. А., Орлов А. Б. Формирование мотивации учения : кн. для учителя. Российская акад. гос. службы, Нац. исслед. ун-т Высшая школа экономики. Москва : Просвещение, 1990. 192 с.

145. Маркова А. К. Формирование интереса к учению у школьников. Москва : Педагогика, 1986. 191 с.

146. Матюшкин А. М. Проблемные ситуации в мышлении и обучении. Москва : Просвещение, 1972. 208 с.

147. Махмутов М. И. Проблемное обучение : основные вопросы теории. Москва : Педагогика, 1975. 368 с.

148. Менчинская Н. А. Проблемы учения и умственного развития школьника: избр. психол. тр. Москва : Педагогика, 1989. 218 с.

149. Методы системного педагогического исследования / под ред. Н. В. Кузьминой. Ленинград : Изд-во ЛГУ, 1980. 172 с.

150. Мешков Н. И. Мотивация учебной деятельности студентов : учеб. пособ. Саранск : Изд-во Морд. ун-та, 1995. 182 с.

151. Мистецтво бути викладачем: практ. посібн. /А. Брінклі, Б. Дантес, С. Флемм, С. Флемінг, Ч. Форсі, Е. Ротшильд. Київ : Навчально-методичний центр «Консорціум із удосконалення менеджмент-освіти в Україні», 2003. 144 с.

152. Мороз І. О. Теоретичні та методичні засади інтегрованого навчання термодинаміки і статистичної фізики в педагогічних університетах : дис. ... д-ра. пед. наук: 13.00.02 / І. О. Мороз. Київ, 2013. 452 с.

153. Мороз О. Г., Падалка О. С., Юрченко В. І. Педагогіка і психологія вищої школи : підручник. Київ : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2003. 267 с.

154. Мощанский В. Н. Формирование научного мышления учащихся при обучении физике. *Физика в школе*. 1991. № 4. С. 16–19.

155. Моя жизнь, мои достижения / Генри Форд ; пер. с англ. Е. Кочерин, Н. Рудницкая. 2-е изд. Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2014. 304 с. URL: [http://www.foxdesign.ru/aphorism/book/b\\_zap39.html](http://www.foxdesign.ru/aphorism/book/b_zap39.html). (дата обращения: 18.07.2018).

156. Мултановский В. В. Формирование мышления учащихся при изучении физической теории. *Физика в школе*. 1976. № 4. С. 22–30.

157. Наказ Міністерства освіти і науки України від 16.03.2015 № 298 «Про впровадження елементів дуальної системи навчання у професійну підготовку кваліфікованих робітників». [Електронний ресурс]. URL: <http://old.mon.gov.ua/files/normative/2015-04-17/3825/nmo-298-1.pdf>. (дата звернення: 28.12.2018).

158. «Національна стратегія розвитку освіти в Україні на 2012 – 2021 роки». [Електронний ресурс]. URL:[http://meduniv.lviv.ua/files/info/nats\\_strategia.pdf](http://meduniv.lviv.ua/files/info/nats_strategia.pdf). (дата звернення: 04.06.2017).

159. Національна доктрина розвитку освіти. Освіта України. 2002. 23 квітня. [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/347/2002>. (дата звернення: 15.08.2018).

160. Новейший философский словарь / сост. А. А. Грицанов. Москва : Изд. Скакун, 1998. 896 с.

161. Общая психология : учеб. пособие для студентов пед. институтов / В. В. Богословский, А. А. Степанов, А. Д. Виноградова и др.; Под ред. В. В. Богословского и др. 3-е изд., перераб. и доп. Москва : Просвещение, 1981. 383 с.

162. Олвин Тоффлер. Адаптивная корпорация. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.iir-mp.narod.ru/books/inomezcev/page\\_1448.html](http://www.iir-mp.narod.ru/books/inomezcev/page_1448.html). (дата обращения: 13.06.2017).

163. Онікієнко В. В, Ємельяненко Л. М, Терон І. В Інноваційна парадигма соціально-економічного розвитку України : монографія, 2006. Київ : РВПС НАН України. 353 с.

164. Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007–2015 роки : Закон України. *Голос України*. 2007. № 21. С. 8–10.

165. Павленко А. І. Теоретичні основи методики навчання учнів складанню і розв'язуванню фізичних задач у середній школі : дис... д-ра. пед. наук: 13.00.02 / А. І. Павленко. Київ, 1997. 454 с.

166. Паламарчук В. Ф. Першооснови педагогічної інноватики: у 2 т. Київ: Освіта України, 2005. Т. 1. 420 с.

167. Паламарчук В. Ф. Першооснови педагогічної інноватики : у 2 т. Київ : Знання України, 2005. Т. 2. 504 с.

168. Патрикеева О. О., Лозова О. В., Горбенко С. Л. Новітні підходи щодо впровадження STEM-освіти в навчальних закладах України. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук.праць*. Київ, 2016. Вип. 8. С. 260–267.

169. Патрикеева О., Черноморець В. Сучасні засоби формування STEM-грамотності. *Наукові записки Малої академії наук України : зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 10. С. 8–16.

170. Патрикеева О. О., Черноморець В. В., Коваленко М. В. Навчальні програми – ефективний засіб формування STEM-грамотності. *Освіта. Технікуми, коледжі*. № 2 (42). 2017. С. 32–34.

171. Педагогіка : Велика сучасна енциклопедія / сост. Е. С. Рапацевіч. Мн. : Соврем.слово, 2005. 720 с.

172. Подоляк Л. Г., Юрченко В. І. Психологія вищої школи: навч. посіб. для магістрантів і аспірантів. Київ : Філ-студія, 2006. 320 с.

173. Подопригора Н. В. Методична система навчання математичних методів навчання у педагогічних університетах: монографія. Кіровоград: ФО-П Александрова М. В., 2015. 512 с.

174. Положення про Всеукраїнський конкурс «Школа ХХІ століття». [Електронний ресурс]. URL: <http://www.osvita.ua.com/2014/02/положення-про-конкурс-школа-xxi-століття/>. (дата звернення: 15.01.2016).

175. Постанова Верховної Ради України Про проведення парламентських слухань на тему: «Національна інноваційна система: стан та законодавче забезпечення розвитку». [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon0.rada.gov.ua/rada/show/2291-viii>. (дата звернення: 02.03.2018).

176. Пидкасистый П. И., Фридман Л. М., Гарунов М. Г. Психолого-дидактический справочник преподавателей высшей школы. Москва : Педагогическое общество России, 1999. 354 с.

177. Поляков С. Д. Инновации в жизни школы. *Директор школы*. 1997. №6. С. 87–89.

178. Попова О. В. Становлення і розвиток інноваційних педагогічних ідей в Україні у ХХ столітті : монографія. Харків, 2001. 256 с.

179. Попова О. В. Розвиток інноваційних процесів у середніх загальноосвітніх навчально-виховних закладах України в ХХ столітті : автореф. дис. ... д-ра. пед. наук : 13.00.01 / О. В. Попова; М-во освіти і науки України, Харківський держ. пед. ун-т ім. Г. С. Сковороди. Харків, 2001. 44 с.

180. Про схвалення Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.05.2013 № 386-р. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/386-2013-p>. (дата звернення: 15.06.2016).

181. Психологія: навч. посіб. / О. В. Винославська [та ін.]. Київ : ІНКОС, 2005. 351 с.
182. Психологическая диагностика: учеб. пособ. / под ред. К. М. Гуревича, Е. М. Борисовой. Москва : Изд-во УРАО, 1997. 304 с.
183. Попков В. А., Коржуев А. В. Дидактика высшей школы : учеб. пособ. для студ. высш. пед. учеб. заведений. Москва : Академия, 2001. 136 с.
184. Разумовский В. Г. Творческие задачи по физике в средней школе. Москва : Просвещение, 1966. 156 с.
185. Решетова З. А., Баляева С. А. Один из подходов к построению учебной дисциплины. *Вестник высшей школы*. 1985. №1. С. 35–39.
186. Розв'язування навчальних задач з фізики: питання теорії і методики. С. У. Гончаренко, Є. В. Коршак, А. І. Павленко та ін. Київ : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2004. 185 с.
187. Розпорядження кабінету Міністрів України від 17.06.2009 № 680 - р. «Про схвалення Концепції розвитку національної інноваційної системи». *Офіційний вісник України*. 2009. №47. [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/680-2009-p>. (дата звернення: 22.06.2018).
188. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19.09.2018 № 660-р «Про схвалення Концепції підготовки фахівців за дуальною формою здобуття освіти». [Електронний ресурс]. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/660-2018-p> (дата звернення: 22.08.2018).
189. Ростока М. STEM-підхід у контексті формування інтелектуального потенціалу України. *Наукові записки Малої академії наук України : зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 10. С. 60–67.
190. Рубинштейн С. П. Основы общей психологии. СПб. : Питер, 1999. 720 с.
191. Румизен М. К. Управление знаниями : пер. с англ. Москва : Издательство АСТ : Издательство Астрель, 2004. 318 с.
192. Соціально-педагогічний словник / за ред. В. В. Радула. Київ : Ексоб, 2004. 304 с.

193. Садовий М. І., Трифонова О. М. Окремі питання сучасної та традиційної фізики: навч. посіб. для студ. пед. навч. закладів освіти. Кіровоград : Каліч О. Г., 2007. 138 с.

194. Савченко І. М., Олійник Р. О. Проектні форми організації дослідницької діяльності учнівської молоді в системі Малої академії наук. *Наукові записки Малої академії наук України : зб. наук. праць*. Київ, 2016. Вип. 8. С. 99–108.

195. Садовий М. І. Теоретичні та методичні основи становлення та розвитку фундаментальних ідей дискретності та неперервності в курсі фізики загальноосвітньої школи : дис. ... д-ра. пед. наук : 13.00.02 / М. І. Садовий. Київ, 2001. 534 с.

196. Самойленко П. И., Сергеев А. В. Общие тенденции интеграции современной дидактики физики. *Специалист*. 1998. № 5. С. 32–34.

197. Сальник І. В. Віртуальне та реальне у навчальному експерименті старшої школи: теоретичні основи: монографія. Кіровоград: ФОП Александрова М. В., 2015. 324 с.

198. Селевко Г. К. Энциклопедия образовательных технологий: в 2 т. Москва : НИИ школьных технологий, 2006. Т. 1. 816 с.

199. Сергеев О. В., Куриленко С. П. Тенденції розвитку сучасної дидактики фізики як наукової дисципліни. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету. Серія педагогічна*. 2001. Вип. 7. С. 135–141.

200. Сергієнко В. П. Інтеграція фундаментальності та професійної спрямованості курсу загальної фізики у підготовці сучасного вчителя : монографія. Київ : НПУ, 2004. 382 с.

201. Сидоренко В., Білевич С. Фундаменталізація професійної підготовки як один із пріоритетних напрямів розвитку вищої освіти в Україні. *Вища освіта України*. 2004. № 3. С. 35–41.

202. Сериков В. В. Образование и личность. Теория и практика проектирования педагогических систем: монография. Москва : Логос, 1999. 272 с.

203. Сільвейстр А. М. Мотивація навчальної діяльності студентів нефізичних спеціальностей педагогічного ВНЗ до вивчення курсу загальної фізики. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Кіровоград, 2012. Вип. 108. Ч. 2. С. 120–124.

204. Скаткин М. Н. Проблемы современной дидактики. Москва : Педагогика, 1984. 96 с.

205. Сліпухіна І. А., Чернецький І. С. Технологічна компетентність майбутнього інженера : формування і розвиток у комп'ютерно інтегрованому лабораторному практикумі з фізики. *Інформаційні технології і засоби навчання*. [Електронне наукове фахове видання]. Київ, 2013. Т. 38. № 6. С. 83–95. [Електронний ресурс]. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/952/703>. (дата звернення: 15.07.2017).

206. Сліпухіна І. А., Мелашко М. А., Чернецький І. С., Кубай Ю. В. Особливості технології створення інтерактивного електронного документа для супроводу лабораторного практикуму з фізики. *Інформаційні технології і засоби навчання*. [Електронне наукове фахове видання]. Київ, 2014. Т. 39. № 1. С. 264–274. [Електронний ресурс]. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1006/740#.U3SzdMVybwo>. (дата звернення: 25.04.2018).

207. Сліпухіна І. А., Точиліна Т. М. Трансформація фундаментальних дисциплін в умовах стандартизації вищої технічної освіти. *Педагогічні науки: зб. наук. праць*. Херсон. Вип. 66. С. 392–397. [Електронний ресурс]. URL: [http://www.ps.stateuniversity.ks.ua/file/issue\\_66/7.pdf](http://www.ps.stateuniversity.ks.ua/file/issue_66/7.pdf). (дата звернення: 16.03.2016).

208. Сліпухіна І. А., Чернецький І. С. Дослідницька діяльність студентів у контексті використання наукового й інженерного методів. *Вища*



*освіта України: теоретичний та науково-методичний часопис*. № 3.

Додаток 1: Інтеграція вищої освіти і науки. Київ, 2015. С. 216–225.

209. Слободяник О. В. Методика організації самостійної роботи студентів педагогічних університетів у процесі навчання фізики: дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 / О. В. Слободяник. Кіровоград, 2012. 258 с.

210. Слостенин В. А., Подымова Л. С. Педагогика: инновационная деятельность. Москва : Изд-во Магистр, 1997. 308 с.

211. Современный философский словарь / под общ. ред. В. Е. Кемерова. 3-е изд., испр. и доп. Москва : Академический проект, 2004. 864 с.

212. Стадник В. В., Йохна М. А. Інноваційний менеджмент : навч. посіб. Київ : Академвидав, 2006. 464 с.

213. Стратегія реформування вищої освіти в Україні до 2020 року, 2015 р. [Електронний ресурс]. URL: <http://ed.eenu.edu.ua/documents/storage/357>. (дата звернення: 17.02.2017).

214. Степин В. С. Саморозвивающиеся системы и постнеклассическая рациональность. *Вопросы философии*. Москва, 2003. № 8. С. 5–17.

215. Стрижак О. Є. Трансдисциплінарність навчально-інформаційного середовища. *Наукові записки Малої академії наук України : зб. наук. праць*. Київ, 2016. Вип. 8. С. 13–27.

216. Стрижак О. Є., Сліпухіна І. А., Поліхун Н. І., Чернецький І. С. STEM-освіта: основні дефініції. *Інформаційні технології і засоби навчання*. Київ, 2017. Т. 62. № 6. С. 16–33. [Електронний ресурс]. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1753/1276> Web of Science (дата звернення: 21.02.2018).

217. Стюарт Т. А. Интеллектуальный капитал. Новый источник богатства организаций. пер. с англ. Москва : Поколение, 2007. С. 12.

218. Сусь Б. А., Шут М. І. Проблеми дидактики фізики у вищій школі. Вид. 2-е. Київ : Просвіта, 2003. 155 с.

219. Сусь Б. А. Дидактичні та методичні основи реалізації і активізації самоосвітньої навчальної діяльності курсантів при вивченні курсу загальної

фізики у вищих технічних військових закладах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра. пед. наук : 13.00.02 / Б. А. Сусь. Київ, 1998. 36 с.

220. Сусь Б. А., Мислицька Н. А. Діяльнісний підхід під час навчання фізики у вищих навчальних закладах в умовах сучасного навчального середовища. *Наукові записки. Серія: педагогічні науки*. Кіровоград, 2001. Вип. 98. С. 271–273.

221. Сусь Б. А., Сусь А. Б. Незвичне бачення традиційних проблемних питань фізики: науково-методичне видання. Київ : Просвіта, 2010. 124 с.

222. Сурмин Ю. П., Туленков Н. В. Теория социальных технологий: учеб. пособ. Київ : МАУП, 2004. 608 с.

223. Тайичи Сакайя. Стоимость, создаваемая знанием, или История будущего. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.iir-mp.narod.ru/books/inozemcev/page\\_1337.html](http://www.iir-mp.narod.ru/books/inozemcev/page_1337.html). (дата обращения: 15.06.2017).

224. Талызина Н. Ф. Управление процессом усвоения знаний (психологические основы). 2-е изд., дополн., исправ. Москва : Издательство Московского университета, 1984. 345 с.

225. Такер Роберт Б. Инновации как формула роста: Новое будущее ведущих компаний. Москва : Олимп-бизнес, 2006. 224 с.

226. Тард Г. Социальная логика. СПб. : Социально-психологический центр, 1996. 500 с.

227. Тард Г. Социальные законы. Личное творчество среди законов природы и общества: пер. с фр. / под ред. Л. Е. Оболенского. СПб. : Изд-е В. И. Губинского, 1900. 120 с.

228. Гарнавська Н. Перспективи активізації інноваційної складової конкурентоспроможності України в умовах трансформації міжнародного бізнесу. *Вісник Тернопільського національного економічного університету*, 2010. Вип. 5. С. 104–116.

229. Теорія і практика інтеграції змісту освіти. Освітня програма «Довкілля». зб. наук. праць за ред. В. Р. Ільченко. Київ : Полтава, 2004. 133 с.

230. Теоретичні і методичні основи викладання загальнотехнічних і спеціальних дисциплін: інтегрований підхід: монографія / за ред. І. Козловської та К. Леніка; Львівськй науково-практичний центр, Люблінський політех. ін.-т. Львів : Євросвіт, 2003. 248 с.

231. Технології навчання фізики: навч. посіб. з мультимедійним супроводженням / В. Ф. Заболотний, М. І. Шут, Н. А. Мисліцька. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2014. 176 с.

232. Тихомиров О. К. Психология мышления: учеб. пособ. Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1984. 272 с.

233. Туркот Т. І. Психологія і педагогіка вищої школи в запитаннях і відповідях : навч. посіб. Київ : Кондор, 2011. 516 с.

234. У вимогах до розвитку освітнього інформаційного суспільства: Постанова Верховної Ради України про Рекомендації парламентських слухань на тему: «Законодавче забезпечення розвитку інформаційного суспільства в Україні». [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1565-18>. (дата звернення: 17.01.2017).

235. Українська радянська енциклопедія: енциклопедія у 12 т. / гол. ред. М. П. Бажан. Київ : Головна редакція УРЕ, 1977. Т. 12. 1985. 572 с.

236. Ульянова О. В. Компетенция интеграции как инструмент формирования профессиональной компетентности. *Альманах современной науки и образования*. 2013. № 8(75). С. 176–178.

237. Управління інноваціями: навч. посіб. для студентів ВНЗ / Н. І. Чухрай, Л. С. Лісовська ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т Львів. політехніка. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. 280 с.

238. Федішова (Подопригора) Н. В. Використання автоматичних пристроїв і функціональних вузлів ЕОТ у системі шкільного фізичного експерименту: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. пед. наук: 13.00.02 / Н. В. Федішова; М-во освіти і науки України, Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. Київ, 1999. 16 с.

239. Философская энциклопедия: в 5 т. / глав. ред. Ф. К. Константинов. Москва : Сов. энциклопедия, 1964. Т. 3. 584 с.

240. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський. Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. Київ : НТУУ КПІ, 2015. 136 с.

241. Фромм Э. Психоанализ и этика: основы гуманистической характерологии. Москва : АСТ–ЛТД, 1998. 568 с.

242. Фостер Р. Обновление производства : атакующие выигрывают: пер. с англ.; общ. ред. и вступ. ст. В. И. Данилова-Данильяна. Москва : Прогресс, 1987. 272 с.

243. Фрумин И. Д. Пути инновационной школы. *Директор школы*. 1993. № 4. С. 59–64.

244. Чухно А. А., Юхименко П. І., Леоненко П. М. Сучасні економічні теорії : підручник. Київ : Знання, 2007. 878 с.

245. Хайек Ф.-А. Пагубная самонадеянность. Ошибки социализма: пер. с англ. Москва : Новости при участии изд-ва Catallaху, 1992. 304 с.

246. Хуторской А. В. Теоретико-методологические основания инновационных процессов в образовании. *Интернет-журнал «Эйдос»*. 2005. 26 марта. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.eidos.ru/journal/2005/0326.htm>. (дата обращения: 17.02.2016).

247. Хуторской А. В. Современная дидактика: учеб. пособ. Москва : Высшая школа, 2007. 639 с.

248. Хуторской А. В. Формирование понятия фундаментальности постоянной при обучении физики в средней школе: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. пед. наук: 13.00.02 / А. В. Хуторской. Москва, 1986. 16 с.

249. Чапаев Н. К. Структура и содержание теоретико-методологического содержания педагогической интеграции: дисс. ... д-ра. пед. наук: 13.00.01 / Н. К. Чапаев. Екатеринбург, 1998. 387 с.

250. Чернецький І., Поліхун Н., Сліпухіна І. Місце STEM-технології навчання в освітній парадигмі XXI століття. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 9. С. 50–62.

251. Чернецький І. С., Сліпухіна І. А., Поліхун Н. І. Особливості застосування мультидисциплінарного підходу у STEM-навчанні. Проблеми та інновації в природничо-математичній, технологічній і професійній освіті: матеріали V-ї Міжнар. наук.-практ. онлайн-інтернет конф., 10–13 жовтня 2017 р., Кропивницький, 2017. С. 27–29.

252. Читалин Н. А. Фундаментализация профессионального образования. *Профессиональное образование*. Казанский педагогический журнал. 2000. № 2(19). С. 11–15.

253. Чернецький І. С., Сліпухіна І. А., Поліхун Н. І. Мультидисциплінарний підхід у формуванні STEM-орієнтованих навчальних завдань. *Наукові записки. Серія : Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кропивницький, 2017. Вип. 12. Ч. 1. С. 158–168. [Електронний ресурс]. URL: <http://phm.kspu.kr.ua/ojs/index.php/NZ-PMFMTO/article/view/1355/1328> (дата звернення: 17.08.2018).

254. Чернецький І., Поліхун Н., Сліпухіна І. Місце STEM-технології навчання в освітній парадигмі XXI століття. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 9. С. 50–62.

255. Чернецький І. С., Сліпухіна І. А., Меньяйлов С. М. Цифрові вимірювальні комплекси – засіб розвитку дослідницьких якостей суб'єктів пізнавальної діяльності. *Наук. часоп. Нац. пед. ун-ту ім. М. П. Драгоманова. Сер. № 5. Педагогічні науки: реалії та перспективи: зб. наук. пр.* Київ, 2013. Вип. 40. С. 259–269. [Електронний ресурс]. URL: <http://enpuir.npu.edu.ua/bitstream/123456789/8348/1/Chernetskyi%20I..pdf> (дата звернення: 13.06.2016).

256. Чернецький І. С. Сучасні засоби навчально-дослідницької діяльності учнів в контексті функціонування лабораторного комплексу НЦ МАНУ. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 5: Педагогічні науки: реалії та перспективи: зб наук. праць*. Київ, 2014. Вип. 48. С. 244–250. [Електронний ресурс]. URL: <http://enpuir.npu.edu.ua/bitstream/123456789/15710/1/Chernetsky.pdf> (дата звернення: 17.05.2017).

257. Шарко В. Д. Розвиток мислення учнів у процесі навчання: Методичний посібник для вчителів, працівників методичних служб, викладачів ВНЗ і студентів. Київ : Спб Богданова, 2007. 132 с.

258. Шарко В. Д. Методологічні засади сучасного уроку: Посібник для студентів, керівників шкіл, вчителів, працівників післядипломної освіти. Херсон : ХНТУ, 2009. 120 с.

259. Шарко В. Д., Коробова І. В., Гончаренко Т. Л. Нові технології в шкільній і вузівській дидактиці фізики: монографія. Херсон : ФОП Грінь Д. С., 2015. 258 с.

260. Шевчук В. Прогнозування зовнішньої стійкості економіки України: Аналітична доповідь. Київ : НІСД, 2013. 30 с.

261. Шумпетер Й. А. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия: пер. с нем., англ. Москва : Эксмо, 2008. 863 с.

262. Шатковська Г. І. Фундаменталізація як принцип сучасної освіти. *Зб. наук. пр. Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2010. Вип. 16. С. 253–256.

263. Юсуфбекова Н. Р. Педагогическая неология как направление методологических исследований. *Новые исследования в педагогических науках*. Москва, 1989. № 2(54). С. 8–10.

264. Юсуфбекова Н. Р. Общие основы педагогической инноватики. Опыт разработки теории инновационных процессов в образовании : метод. пособ. Москва : ЦСПО РСФСР, 1991. 92 с.

265. Якиманская И. С. Знание и мышление школьника. Москва : Знание, 1985. 78 с.
266. Якунин В. А. Обучение как процесс управления : Психологические аспекты. Ленинград : Изд-во Лен. ун-та, 1988. 160 с.
267. Anderson L. W., Bloom B. S., Krathwohl D. R. A Taxonomy of learning, teaching, and assessing. New York : Longman, 2001. 156 p.
268. Berkhout G., Van DerDuin P., Hartmann D. [eds.] Innovation in a Historical Perspective: The Cyclic Nature of Innovation: Connecting Hard Sciences with Soft Values. *Volume 17 of the book series: Advances in the Study of Entrepreneurship, Innovation & Economic Growth, Emerald Group Publishing Limited, Elsevier Ltd., 2007. P. 7–24.*
269. Bloom B. S. Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals: Hand book I, cognitive domain. New York : Longman, 1994. 99 p.
270. Drucker P. F. Post-Capitalist Society. N. Y. : Harper-Collins Publishers, 1995. P.37.
271. The Global Competitiveness Report 2017–2018 WEF. [Electronic resource]. URL: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2017-2018/> (last access: 17.06.2018).
272. Chaminade C., Roberts H. Social Capital as a Mechanism: Connecting knowledge within and across firms. *Third European Conference on Organizational Knowledge, Learning and Capabilities (OKLC)*. Athens, Greece, April 2002. P. 28–33.
273. Christiansen J. A. Building the innovative organization: Management systems that encourage innovation. New York : St. Martin's Press, 2000. 357 p.
274. Csikszentmihalyi Mihaly. Finding Flow: The Psychology of Engagement with everyday life. Publisher : Basic Books, 1998. P. 144.
275. Lewowicki Tadeusz. Interdyscyplinarnosc pedagogiki – tradycja i wspolczesnosc, problemy i szanse. *V польсько-український форум «Interdyscyplinarnosc pedagogiki i jej subdyscypliny»*. Краків, Польща. 2016. С. 17–31.

276. Manfred A. Max-Neef. Foundations of transdisciplinarity. *Ecological Economics*. 2005. № 53. P. 5–16.

277. The Oxford Handbook of Interdisciplinarity. Second Edition / Editor-in-chief R. Frodeman. Associate editors J. T. Klein and R.C.S. Pacheco. Oxford University Press, 2017. 652 p.

278. Podoprygora N. Organization and realization of the experimental cycle of scientific cognition at Physics study. *Latin-American Journal of Physics Education*. 2014. Vol. 8. № 1, March. P.13–21.

279. Slipukhina I. Role of computer oriented laboratory training course in physics for development of key competences of future engineers. *Proceedings of the National Aviation University*. 2014. № 1 (58). P. 96–102. [Electronic resource]. URL: <http://jrnl.nau.edu.ua/index.php/visnik/article/view/6701/8308/> (last access: 15.01.2015).

280. Slipukhina I. Formation of technological competence of future engineers in the study of general physics course. *Proceedings of the National Aviation University*. 2014. 2 (59). P. 141–147. [Electronic resource]. URL: <http://jrnl.nau.edu.ua/index.php/visnik/article/view/6878/8269/> (last access: 14.02.2016).

281. Slipukhina I. A., Olkhovyk V. V., Kurchev O. O., Kapranov V. D. Development of education and information portal of physics Academic course : web design features. *Інформаційні технології і засоби навчання*. [Електронне наукове фахове видання]. Київ: ІТЗН НАПН України, 2018. Т. 64. № 2. С. 221–233. [Електронний ресурс]. URL:<https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1781>. (дата звернення: 25.08.2018).

282. 2017 Transforming Undergraduate STEM Education in Japan. [Electronic resource]. URL: <http://daigakukyoiku-gakkai.org/site/wp-content/uploads/2016/07/2017-Transforming-Undergraduate-STEM-Education-in-Japan-En.pdf> (last access: 14.02.2018).



283. The Problem about Technology in STEM Education: Some Findings from Action Research on the Professional Development & Integrated STEM Lessons in Informal Fields. [Electronic resource]. URL: [https://www.researchgate.net/publication/308788640\\_The\\_Problem\\_about\\_Technology\\_in\\_STEM\\_Education\\_Some\\_Findings\\_from\\_Action\\_Research\\_on\\_the\\_Professional\\_Development\\_Integrated\\_STEM\\_Lessons\\_in\\_Informal\\_Fields](https://www.researchgate.net/publication/308788640_The_Problem_about_Technology_in_STEM_Education_Some_Findings_from_Action_Research_on_the_Professional_Development_Integrated_STEM_Lessons_in_Informal_Fields) (last access: 14.02.2018).

284. Rothwell Roy. The Changing Nature of the Innovation Process / Roy Rothwell. *Technovation*, 1 Jan. 1993: пер., обработка А. Сенин. 2001. [Electronic resource]. URL: <http://technopark.al.ru/business/innovation/innovation.htm>. (дата обращения: 11.03.2017).

285. Jantsch E. Inter- and Transdisciplinary University: A systems approach to Education and Innovation. *Policy Sciences*. Vol. 1. Num. 1. 1970. P. 403–428.

286. Kovalchuk T. Methodological elements of situational analysis. *The USV Annals of Economics and Public Administration*. Volume 16, Special Issue. 2016. P. 124–130.

287. Freeman C. Networks of Innovators : a synthesis of research issues. *The Economics of Hope*. London : Pinter, 1992. P. 93–120.

288. Zgurovsky M. Z. Metric aspects of periodic processes in economy and society. *Cybern. and Syst. Analysis*. 46, №.2, 2010. P. 167–172.

## РОЗДІЛ 2

### СУЧАСНИЙ СТАН ТА ОСНОВНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ STEM-ОСВІТИ В ТЕХНІЧНИХ ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

#### 2.1. Генезис STEM-освіти в світі та Україні

У першому розділі обґрунтовано теоретичні основи STEM та можливості її використання в освітньому просторі. Актуальність проблеми взаємозв'язку навчання фізики й професійно зорієнтованих дисциплін під час підготовки майбутніх фахівців з інженерного та технічного напрямів полягає в потребі формування в студентів технічних ЗВО вмінь використовувати здобуті знання в практичній діяльності, що зумовлено новітніми завданнями закладів освіти щодо значного підвищення якості знань студентів, ролі навчання у формуванні стилю мислення й пізнавальних здібностей студентів в умовах розвитку STEM-освіти.

Обґрунтування доцільності використання STEM в освіті є основою для реалізації освітніх програм через STEM, що передбачає створення системи предметних компетентностей різних навчальних дисциплін для формування нових технологій навчання, розвитку інноваційного мислення та забезпечення ринку праці висококваліфікованими інженерними кадрами. Такі об'єднання не обмежено, оскільки в студентів важливо виробити прагнення зрозуміти природні та модельні світи. Студенти, які зорієнтовані на використання новітніх STEM-технологій, потрапляють у нове освітнє середовище 4-ї технологічної революції [135]. Швидкий потік інформації, високотехнологічні інновації та винаходи трансформуються у всі галузі життєдіяльності. Для матеріалізації інтересів суб'єктів навчання потрібні знання та навички SMART-суспільства (S – specific, M – measurable, A – assignable, R – realistic, T – time-related), яке є продовженням інформаційно-комунікаційного та суспільства знань, що розвивається на базі SMART-технологій, що забезпечує STEM-освіта. Термін SMART означає властивість

об'єкта, зміст якої полягає в інтеграції у ньому компонентів, які не були раніше поєднані через інтернет.

Концепція SMART-суспільства є підґрунтям державних програм сучасного розвитку Південної Кореї та Японії [248, с. 114–124].

Важливо не лише знати й розуміти, але й досліджувати та упроваджувати в практику здобуті знання. В освіті STEM уважають інтегрованим навчальним підходом, у межах якого академічні науково-технічні концепції можливо вивчаються в реальному житті. Спочатку виникла STEM-грамотність, яка визначала конкурентоспроможність у світовій економіці [223].

У 1990-х р. американський бактеріолог Р. Колвел запропонував термін «STEM», який почали активно вживати з 2000-х р. На базі STEM з'явилися нові версії цієї концепції, найбільш поширеними з яких є STEAM (наука, технології, інженерія, мистецтво та математика) та STREM (наука, технологія, робототехніка, інженерія та математика). STEM-освіта відрізняється від традиційної лише тим, що визначені дисципліни вивчають не окремо, а в комплексі, тому не випадково STEM доповнюють також інші дисципліни. У таблиці 2.1. представлено різновиди STEM у різних наукових галузях.

Таблиця 2.1

### Упровадження STEM-освіти

Поняття	Назва англійською мовою	Назва українською мовою
STM	Scientific, Technical, and Mathematics; [249] or Science, Technology, and Medicine; or Scientific, Technical, and Medical.	Наука, технології та математика, або наука, технологія та медицина, або наука, техніка та медицина.
eSTEM	Environmental STEM [200; 201]	Екологічний STEM.
STEMM	Science, Technology, Engineering, Mathematics, and Medicine	Наука, техніка, інженерія, математика та медицина.
iSTEM	Invigorating Science, Technology, Engineering, and Mathematics; identifies new ways to teach STEM-related fields.	Активізація науки, технології, інженерії та математики; визначено нові способи навчання, пов'язані із STEM.
STREM	Science, Technology, Robotics, Engineering, and Mathematics; adds robotics as a field.	Наука, технологія, робототехніка, інженерія, математика.
STREAM	Science, Technology, Robotics, Engineering, Arts, and Mathematics; adds robotics and arts as fields.	Наука, технологія, робототехніка, інженерія, мистецтво та математика.

1	2	3
STEAM	Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics [247].	Наука, техніка, машинобудування, мистецтво та математика.
STREM	Science, Technology, Robotics, Engineering, and Multimedia; adds robotics as a field and replaces mathematics with media.	Наука, технології, робототехніка, інженерія та мультимедіа; додано робототехніку та змінено математику на медіа.
GEMS	Girls in Engineering, Math, and Science; used for programs to encourage females to enter these fields [204; 221].	Залучення дівчат у галузі інженерії, математики та науки.
AMSEE	Applied Math, Science, Engineering, and Entrepreneurship.	Прикладна математика, наука, інженерія та підприємництво.

Нині STEM є однією з основних тенденцій розвитку світової освіти. Завдяки швидкому розвитку високопродуктивних технологій постійно виникають нові професії й попит на фахівців, які володіють STEM-технологіями навчання, швидко зростає [238; 246].

Наприклад, з 2000 до 2017 р. у країнах ЄС частка фахівців, які володіють методом STEM, збільшилася на 12%.

У європейських країнах передбачається, що до 2025 р. попит на викладачів, який використовують STEM, зросте на 8%, тоді як попит на фахівців інших професій – лише на 3% [207].

З 2011 р. цей напрям в освіті запроваджено в 16 країнах. Зокрема, у Фінляндії налічується найбільша кількість випускників, які використовували в навчанні STEM, що становить 1109 фахівців на 100000 громадян віком від 20 до 39 років. Ця цифра вдвічі вища, ніж, наприклад, у Канаді та Швейцарії.

На рис. 2.1 представлено кількість фахівців, що володіють STEM-освітою у ЗВО в 2015–2016 рр. (кількість випускників на 100 000 громадян віком 20–39 років).

У Фінляндії інституційно метод навчання STEM започатковано в 2006 р. створенням Національного науково-освітнього центру LUMA, який координує взаємодію шкіл, університетів, промисловості та бізнесу. Цей центр розробляє способи діяльності студентів у науково-технічних таборах, організовує навчальні курси та семінари для вчителів. Окрім того, LUMA

служує ресурсним центром, що надає різноманітні навчальні послуги в галузі STEM [245].

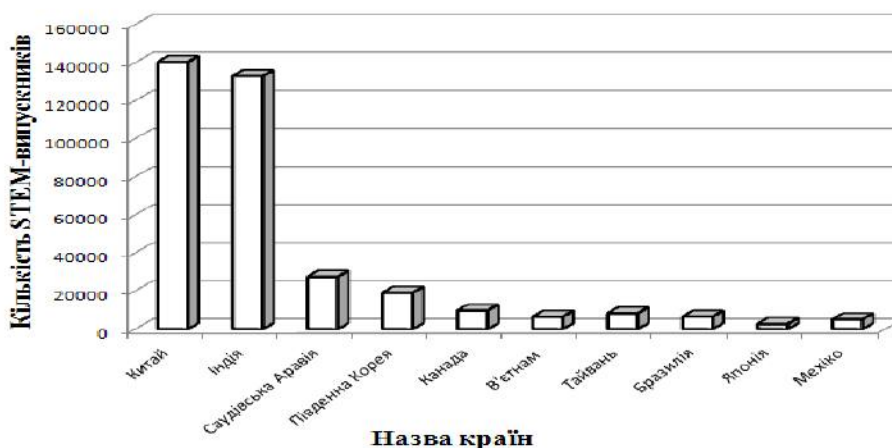


Рис. 2.1. Статистика розвитку STEM-освіти у світі [246]

У США випускники STEM-галузі становили лише 475 осіб на 100 000 громадян віком 20–39 років. Обмеження талановитого буму підтверджує той факт, що протягом 2012–2017 рр. у цій країні було лише 23,9% випускників, які вивчали елементи STEM-освіти.

Незважаючи на це, статус STEM-освіти в США стає значущим, зокрема середній прибуток працівників STEM становить близько 34,44 долара США за годину, що майже вдвічі більше, ніж в інших галузях (близько 18,68 доларів США за годину). Рівень безробіття в професії STEM становить 3,1%, що на 4,3% нижче, ніж в інших професіях.

Окрім того, прогнозовано, що в 2014–2024 р. частка працівників у цій галузі становитиме 16% (19% – інформатика, 12% – інженерія, 16% – нові технології виробництва), тоді як в інших галузях – лише 11%. На думку експертів, до 2020 р. попит на фахівців STEM збільшить кількість нових робочих місць у США – понад 1 мільйон [214].

Актуальність STEM-освіти в США підкреслено п'ятирічним федеральним стратегічним планом розвитку STEM-освіти, ухваленим у 2013 р. План передбачає підготовку близько 100 000 нових учителів STEM до 2020 р. та забезпечує ефективну підтримку поточного контингенту вчителів.

Одним із завдань є збільшення частки студентів, що беруть участь у The Special Needs Offenders Program, у кожному навчальному році в закладах загальної середньої освіти до 50%. Заплановано збільшити кількість випускників коледжів та ЗВО, які засвоїли навчальні предмети із STEM-напрямку фахових спеціальностей на 1 млн. [218].

Метою розвитку освіти в Малазії на 2013–2025 р. передбачено реформу STEM-освіти й визначено етапи цієї реформи [226]:

1-й етап реформи (2013–2015 рр.) – покращення якості STEM-освіти завдяки вдосконаленню навчального плану, підготовці викладачів, використанню інтегрованих методів навчання.

2-й етап реформи (2016–2020 рр.) – підвищення рівня поінформованості громадськості та зацікавленості в STEM засобами медіа та партнерськими зв'язками.

3-й етап реформи (2021–2025 рр.) – оцінка успішності ініціатив перших двох етапів та розроблення майбутньої дорожньої карти з новими ініціативами та програмами.

У 2015 р. Австрія ухвалила національну стратегію розвитку освіти [240] в галузі STEM у школах на 2016–2026 р. (Національна Стратегія Освітньої Школи STEM). У стратегії визначено п'ять основних завдань: 1) розвиток здібностей, залучення та зацікавленості студентів STEM; 2) збільшення можливостей викладачів та покращення якості викладання предметів STEM; 3) підтримка можливостей STEM-освіти в закладах загальної середньої та вищої освіти; 4) сприяння ефективному партнерству з університетами, бізнесом та промисловістю; 5) створення бази даних [244; 246].

Понад 10 європейських країн має аналогічні національні стратегії та ініціативи (Австрія [240], Німеччина [227], Франція [225], Італія [234], Нідерланди [242], Норвегія [236], Великобританія [206], Ірландія [230], Іспанія [231]).

Міжнародне співробітництво в галузі розвитку STEM-освіти, реалізовано в одному з найбільших міжнародних проєктів «InGenious» [222], що тривав протягом 2011–2014 р. У ньому взяли участь Австрія, Бельгія, Чехія, Данія, Естонія, Фінляндія, Німеччина та інші країни.

Цей проєкт спрямовано на створення сховища інноваційних практик у промисловості та освітній галузі, поширення й реалізацію передових та інноваційних практик. Для участі залучено понад 1500 учителів, започатковано співпрацю між 158 закладами загальної середньої освіти та представниками промисловості, організовано різноманітні семінари, літні школи, онлайн-конференції тощо [222].

У 2013 р. розпочато трирічний проєкт «MASCIL», у якому брали участь 11 країн: Австрія, Болгарія, Кіпр, Чехія, Греція, Литва, Нідерланди, Норвегія, Іспанія, Туреччина та Велика Британія, проєкт передбачає розроблення та організацію тренінгів для вчителів за підтримки промислового сектора. Зміст курсу містить різноманітні навчальні матеріали й ресурси для роботи та підвищення кваліфікації вчителів [208].

Проєкт «INSTEM» (2012–2015 рр.) спрямовано на організацію дослідницьких тренінгів для використання інноваційних методів навчання та підвищення інтересу студентів до науки, а також надання всебічної інформації про кар'єру в галузі STEM. В INSTEM узяли участь Австрія, Німеччина, Греція, Ірландія, Італія, Норвегія, Румунія, Туреччина та Велика Британія. Проєкт також є комплексним джерелом навчальних матеріалів та методів навчання для предметів STEM [223].

Навчальна робототехніка [138; 175; 214] стала новим напрямом у технології STEM, що дозволяє розвивати навички програмування та проєктування завдяки інтегруванню всіх чотирьох компонентів STEM. Наприклад, у 2015 р. розпочато трирічний проєкт «ER4STEM» (Австрія, Болгарія, Греція, Мальта та Велика Британія), спрямований на творче та критичне використання робототехніки для підтримки інтересу студентів до науково-технічного сектора.

Метою «ER4STEM» є розроблення відкритої та концептуальної основи, яка дозволяє студентам вивчати різні галузі робототехніки та STEAM, а також розв'язувати практичні проблеми підвищеної складності. У межах проєкту передбачено семінари з навчальної робототехніки в п'яти країнах для із залученням понад 4000 осіб. Європейську конференцію з навчальної робототехніки проводять один раз на рік (2016 р. – Австрія, 2017 р. – Болгарія, 2018 р. – Мальта). Результатом проєкту є розроблення великого сховища ER4STEM для вчителів [214].

У Нідерландах STEM-освіту почали впроваджувати з 2016 р. Останнім часом було впроваджено багато важливих ініціатив в регіонах з найперспективніших напрямів, зокрема й Oefen fabriek (промисловий практичний центр професійної підготовки) у Брилле, Technum (технологічний навчальний центр) у Флісінгені і Seaports Xperience Centre в Гронінгені [239].

Для технічної освіти в Нідерландах уряд затвердив Технологічний пакт, який зосереджено на трьох напрямках діяльності з перспективою до 2020 р. [239]:

– *перехід до технологій*: усе більше студенти обирають для вивчення різні галузеві технології;

– *навчання технологій*: зростання кількості учнів і студентів з технічною кваліфікацією, що прагнуть працювати з технологіями;

– *робота в секторі технологій*: технології, які утримують працівників у секторі *hi-tech* і дають змогу знаходити альтернативні робочі місця в технологічному секторі для людей з технічними задатками, чиї робочі місця знаходяться під загрозою або ще не були задіяні.

Технологічний пакт використовує термін *технології* [239] в широкому сенсі з урахуванням галузі технологій і точних наук.

У Казахстані дослідники активно розвивають освіту за STEM-програмою. Зміст шкільної освіти оновлюють у контексті STEM у межах Державної програми розвитку освіти та науки на 2016–2019 рр. Реалізація



нової освітньої політики передбачає впровадження STEM-елементів у навчальний план, призначений для розроблення нових технологій, наукових інновацій, математичного моделювання.

Запроваджений міждисциплінарний та проєктний підхід до навчання дозволяє студентам зміцнювати науково-дослідний і науково-технічний потенціал, розвивати навички критичного, інноваційного та творчого мислення, розв'язувати проблеми спілкування та співпраці. Кількість «міжгалузевих тем» у науковій тематиці планується збільшувати.

З 2015 р. кожен студент першого курсу вивчає предмет «Природничі науки», що є основою для подальшого засвоєння природничих наук у ЗВО.

Окрім того, з 2016–2017 навчального року, заплановано оснащення всіх закладів загальної середньої освіти ІКТ, цифровими освітніми ресурсами, забезпечення доступу до Інтернету.

З 2019 р. предмети в старших класах вивчатимуть англійською мовою, що сприятиме здобуттю нових знань мовою оригіналу та вступу до міжнародного наукового співтовариства.

Потенціал міждисциплінарної роботи в галузях STEM зафіксовано в *New Biology for the 21st Century* [206]. Цей розвиток дає змогу знаходити науково обґрунтовані розв'язання суспільних проблем, зокрема й галузі природничо-наукових дисциплін. У доповіді на конференції задекларовано, що з 2020 р. передбачено розвиток «інженерних професій», які швидко використовуватимуть можливості творчості, винахідництва та міждисциплінарного підходу для створення й адаптації нових галузей праці, з-поміж яких також ті, що потребують відкритості до міждисциплінарних зусиль з «неінженерними дисциплінами» [235].

Підготовка студентів до роботи на інтерфейсі вимагає нового способу використання STEM-технології.

Завдання ЗВО на сучасному етапі полягає в забезпеченні формування у випускників компетентностей, які дозволяють отримати гарантовані робочі місця в обраній STEM-галузі. Наприклад, проєкт «Калейдоскоп» (США)

сприяє розвитку міждисциплінарного навчання в галузі науки та математики, підсумовує трирічні надбання в двадцяти восьми ЗВО та впровадження міждисциплінарного навчання STEM. Унаслідок розвитку цього напрямку навчання пріоритетними виявляються стратегії лідерства, навчання та культури для підтримки міждисциплінарного навчання на рівні бакалавра [241].

Експерти The European Schoolnet Academy стверджують, що національні стратегії впровадження STEM-освіти потрібно спрямувати на [209] створення позитивного образу науки; підвищення наукової грамотності населення; покращення стану викладання навчальних дисциплін у школі; підвищення інтересу студентів до науки, її популяризація; подолання гендерних стереотипів та досягнення гендерного балансу.

22 червня 2015 р. Міністерство освіти і науки України ініціювало проведення круглого столу з проблем упровадження STEM-освіти для представників провідних установ, ініціатив, проєктів у галузі освіти всіх рівнів (загальноосвітньої, профільної, позашкільної, дошкільної, вищої), а також у 2016 р. обговорено створення робочої групи з питань упровадження STEM-освіти в Україні (Наказ МОН України від 29.02.2016 № 188).

Реформування вищої освіти України, як відомо, ґрунтується на таких засадах: по-перше, упровадження національної ідеї вищої освіти, зміст якої полягає в збереженні й примноженні національних освітніх традицій. Вища освіта передбачає виховання громадянина держави України, гармонійно розвиненої особистості, для якої потреба у фундаментальних знаннях та підвищенні загальноосвітнього й професійного рівня асоціюється зі зміцненням своєї держави; по-друге, розвиток вищої освіти повинен підпорядкувати законам ринкової економіки; по-третє, розвиток вищої освіти слід розглядати в контексті тенденцій розвитку світових освітніх та європейських систем.

Нині в Україні склалися сприятливі умови для впровадження STEM-освіти, зокрема:

– схвалено рішення Колегії Міністерства освіти і науки України «Про форсайт соціо-економічного розвитку України» на середньостроковому (до 2020 р.) і довгостроковому (до 2030 р.) часових горизонтах (у контексті підготовки людського капіталу) від 21.01.2016 (Протокол №1/1-4);

– розроблено План заходів щодо впровадження STEM-освіти в Україні на 2016–2018 рр., затвердженого МОН України від 05.05.2016;

– створено потужну державну установу – відділ STEM-освіти в Інституті модернізації змісту освіти МОН України;

– організовано робочу групу науковців та педагогів-практиків для науково-методичного забезпечення STEM-освіти;

– Україна поступово долучається до міжнародних освітніх стандартів якості природничо-математичного напрямку;

– в Україні поступово формується свідоме громадянське суспільство, яке вимагає відповідного рівня підготовки фахівців з технічного напрямку;

– українські науковці докладно вивчили досвід функціонування STEM-освіти в провідних країнах світу (США, Великобританія, Польща та ін.) й представили його у вітчизняних наукових і педагогічних публікаціях.

В Україні провідними інституціями, що займаються впровадженням STEM-освіти, є ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти» МОН України, де створено відділ «STEM-освіти»; Інститут педагогіки Національної академії педагогічних наук України; Національний центр «Мала академія наук України».

Основними завданнями відділу STEM-освіти ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти» є [29]:

– розроблення нормативно-правової бази, наукових та методичних матеріалів, що віддзеркалюють упровадження STEM-освіти;

– аналіз вітчизняного та міжнародного досвіду в галузі STEM-освіти;

– забезпечення наукового та методичного супроводу щодо експериментальної діяльності на базі закладів освіти різного напрямку навчання, що впроваджують STEM-освіту;

- надання практичної допомоги організаціям та ЗВО з розроблення науково-методичного забезпечення напряму STEM-освіти;
- аналіз процесу розбудови STEM-освіти, виявлення проблем і прогнозування розвитку напряму STEM;
- координація робочих груп науковців, педагогічних та науково-педагогічних фахівців у галузі STEM;
- фандрайзинг та координація інноваційних проєктів і STEM-освіти;
- проведення науково-практичних семінарів, конференцій, фестивалів для підвищення кваліфікації педагогічних працівників усіх категорій з інноваційної STEM-діяльності;
- поширення досвіду упровадження STEM-освіти через мережу інтернет, публікації, презентації тощо.

Згідно з міжнародними індексами в системі освіти й партнерства в трикутнику «бізнес–університет–освіта» України сформульовано такі завдання: розробити методологію проведення оцінки непрямого економічного впливу витрат університетів і сформувати відповідну статистичну базу даних; сприяти створенню умов для кращої співпраці бізнесу та університетів.

Нині розроблено такі умови співпраці:

- розширення фінансової автономії університетів, зокрема й переліку послуг, які заклади вищої освіти можуть пропонувати за окрему плату;
- полегшення передачі обладнання від бізнесу університетам для покращення якості навчання та стимулювання наукової діяльності;
- створення розділів на сайтах для університетів та бізнесу;
- започаткування системи ваучерів для проведення наукових досліджень та розробок, важливих для бізнесу;
- організація майданчика для обміну ідеями та розробками між бізнесом та університетами;

- забезпечення більшої фінансової прозорості, завдяки публікуванню розширених даних на своїх вебсайтах, а також покращення організаційного управління з уведенням в органи управління представників бізнесу;

- збереження сильних аспектів України, що полягають у якості навчання природничо-наукових дисциплін за новітньою програмою розвитку цих спеціальностей (STEM);

- приєднання до інших рейтингів та програм (наприклад, Programme for International Student Assessment (PISA)), що сприятиме покращенню репутації та якості освіти;

- розроблення програми інформування про освітні можливості України для залучення до навчання іноземних студентів;

- підвищення рівня навчання персоналу бізнес-компаній, збільшення витрат на наукові дослідження та розробки в галузі природничо-наукових дисциплін.

На міжнародному рівні визначено особливості розвитку STEM-освіти. Вони визнані українськими науковцями [33; 142; 145; 166; 194; 195] і полягають у тому, що:

- STEM-освіту важливо розпочинати з дошкільного віку, продовжувати в студентські роки, здійснювати впродовж усього життя;

- мовою науки є англійська, тому в «Стратегії розвитку України – 2020» зазначено: 75% випускників закладів загальної середньої освіти володітимуть іноземними мовами;

- передбачено гендерний підхід у навчанні, який потребує створення програми STEM-освіти для дівчат;

- у процесі STEM-освіти потрібно виховувати патріотичні почуття та любов до своєї країни;

- наука повинна захоплювати студента, щоб займатися нею було цікаво, доступно і радісно.

Залучення до STEM-освіти сприяє не лише розвитку креативного мислення та формуванню компетентності студентів технічних ЗВО (таблиця 2.2), а й кращій соціалізації особистості.

На виконання поставлених завдань у технічних ЗВО України виникають науково-дослідні структури. Зокрема у Льотній академії Національного авіаційного університету ми створили «STEM-центр» і науково-дослідну лабораторію «STEM-освіти та інноваційної освіти». Завдяки їхній діяльності науково-викладацький склад активізує інноваційний розвиток предметів природничо-математичного циклу та науково-дослідної роботи як у технічному ЗВО, так і в освітніх закладах різного профілю навчання, які беруть участь у семінарах, конференціях та форумах.

Таблиця 2.2

#### Еволюція ключових компетентностей

№ з/п	Ключові компетентності студентів (2015)	Ключові компетентності студентів (2020)
1.	Комплексне розв'язання проблем	Комплексне розв'язання проблем
2.	Взаємодія з людьми	Критичне мислення
3.	Уміння керувати людьми	Креативність
4.	Критичне мислення	Уміння керувати людьми
5.	Уміння вести переговори	Взаємодія з людьми
6.	Контроль якості	Емоційний інтелект
7.	Зорієнтованість на клієнтів	Уміння формувати власну думку та приймати рішення
8.	Уміння формувати власну думку та приймати рішення	Зорієнтованість на клієнтів
9.	Уміння слухати й запитувати	Уміння вести переговори
10.	Креативність	Гнучкість розуму (уміння швидко переходити з однієї думки на іншу)

Окрім того, створено громадську організацію «STEM-ОСВІТА 4.0» (zareestrovano в Кіровоградському міському управлінні юстиції 18.04.2016), яка працює над упровадженням STEM-освіти в освітній процес технічних ЗВО. Її основною метою є програма «STEM-ОСВІТА 4.0», що забезпечує впровадження в освітній процес ЗВО STEM-технологій; участь у європейському співробітництві в освітній галузі; формування позитивного ставлення до сучасних систем та технологій освіти; формування свідомої мотивації студентів до навчання на прикладі досвіду європейських країн;

залучення молоді до участі в практичних заходах і проєктах; підвищення поінформованості суспільства та популяризація вільного обміну досвідом й інформацією в галузі освіти; популяризацію інформації про новітні технології навчання серед освітньої спільноти.

Льотна академія НАУ є експериментальним ЗВО МОН України за тематикою дослідно-експериментальної роботи Всеукраїнського рівня «Науково-методичні засади створення та функціонування Всеукраїнського науково-методичного віртуального STEM-центру» (наказ Міністерства освіти і науки України № 708 від 17.05.2017) [116].

Чинні нормативні документи [52; 53; 54; 55; 56] та аналіз наукової літератури [5; 24; 33; 34; 35; 102; 103; 1116; 126; 127; 128; 129; 142; 145; 165; 166; 187; 188; 189] і розробки ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти» дали змогу окреслити основні дефініції, на які зорієнтовано програми STEM-освіти в процесі навчання фізики в технічних ЗВО [29]:

*STEM-освіта* – це система послідовних курсів фізики та технічних дисциплін, програм навчання, яка вимагає формування компетентності, що ґрунтується на новітніх і технічно складніших знаннях та навичках з математики, фізики, технологій, інженерії, готує студентів до успішного працевлаштування [29].

*STEM-грамотністю* вважаємо міждисциплінарну галузь освіти, яка інтегрує науку, технології, інженерію та математику (див. п. 1.3). Така грамотність спонукає студентів перейти від вивчення дискретних фрагментів явища до механічних процесів, до наукової картини світу загалом [29].

*STEM-лабораторії* – структури, що виготовляють сучасне обладнання та розробляють інноваційні програми, більш доступні для суб'єктів навчання, зацікавлених у дослідницькій діяльності [29].

*STEM-спеціальності* – сучасні спеціальності, до яких належать ІТ-спеціалісти, програмісти, інженери, спеціалісти високотехнологічних виробництв, спеціалісти біо- та нанотехнологій [29].

*STEM-центр* – це проектна лабораторія, у якій студенти та учні можуть виконувати дослідження з використанням сучасного (зокрема й цифрового) обладнання [29].

*Інжиніринг* (англ. *engineering*, нім. *Engineering*) – синонім до терміна *інженерія*, який відрізняється етимологічно від англ. *engineering*: набір прийомів та методів, які компанія, підприємство, фірма використовують для проектування своєї діяльності [29].

*Інновація* – 1) нововведення в галузі техніки, технології, організації праці або управління, засноване на використанні досягнень науки й передового досвіду; кінцевий результат *інноваційної діяльності*; 2) об'єкти впровадження чи процес, що сприяє виникненню чогось нового – *новації* [29].

*Креативна індустрія* (англ. *Creative industries*) – сукупність поглядів, ідей, тенденцій і напрямів сучасного розвитку економіки, що характеризується органічним поєднанням та використанням знань, інформації та творчості (креативності) [29].

*Мехатроніка* (рос. *мехатроника*, англ. *mechatronics*, нім. *mechatronik*) – галузь науки і техніки, заснована на синергетичному об'єднанні вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними й комп'ютерними компонентами, що забезпечують проектування й виробництво якісно нових модулів, систем і машин з інтелектуальним управлінням їхніми функціональними рухами [29].

*Нанотехнології* або *наномолекулярні технології*, – у широкому значенні називають міждисциплінарну галузь фундаментальної й прикладної науки, у якій вивчаються закономірності фізичних і хімічних систем протяжністю порядку декількох нанометрів або часток нанометра [29].

*Наукова грамотність* – здатність використовувати наукові знання з фізики, хімії, біологічних наук, наук про Землю (космічні науки) та процеси, щоб зрозуміти світ природи і брати участь у прийнятті рішень, які впливають



на нього в трьох основних галузях – наука в житті і здоров’ї, наука про Землю та довкілля, наука про технології [29].

*Освітня роботехніка* – міжпредметний напрям навчання учнів та студентів, інтеграція знань з фізики, технології, математики, кібернетики, мехатроніки й ІКТ, який дозволяє залучити до процесу інноваційної, наукового-технічної творчості суб’єктів різного віку [29].

*Проектна діяльність* – один з найперспективніших складників освітнього процесу, який створює умови творчого саморозвитку та самореалізації учнів і студентів, формує всі важливі життєві компетенції: полікультурні, мовленнєві, інформаційні, політичні, соціальні [29].

*Рейнжиніринг* (англ. *engineering*, лат. *ingenium* – винахідливість, вигадка) – це важливий напрям інноваційної діяльності, який передбачає радикальне перепроектування бізнес-процесів підприємств та організацій з упровадженням науково-практичного підходу групою однодумців для підвищення рівня конкурентоспроможності, а саме, одержання істотних ефектів у зниженні вартості, підвищення якості та зростання обсягів продажів продукції і послуг [29].

*Технологічна компетентність* – складник соціально-професійної компетентності, що дозволяє швидко та ефективно розв’язувати професійні проблеми й завдання з використанням різноманітних технологій [29].

*ТРВЗ* – теорія розв’язування дослідницьких (винахідницьких) завдань [29].

*Фасилітація* (англ. *facilitate* – допомогти, полегшувати, сприяти) – це організація в групі процесу колективного розв’язання проблем, відповідно керує цим процесом фасилітатор (ведучий, голова) [29].

*Фандрайзинг* – це система різноманітних форм і методів збирання коштів для реалізації соціально значущих для суспільства проектів, яка передбачає залучення не тільки коштів, але й інших потенційних ресурсів – інтелектуальних, наукових, креативних джерел – для розв’язання соціальних проблем [29].

Уважаємо за доцільне доповнити перелік розглянутих вище понять STEM-освіти для подальшого їх використання в навчанні фізики студентів технічних спеціальностей, оскільки вони віддзеркалюють актуальність освітнього процесу з фізики в технічних ЗВО. До запропонованого переліку належать такі поняття:

*Інтеграція* – (від лат. *integrum* – ціле, лат. *integratio* – відновлення). Новий тлумачний словник української мови визначає цей термін як об'єднання чого-небудь в єдине ціле [120].

У філософському енциклопедичному словнику інтеграцію витлумачено як певну рису процесу розвитку, пов'язаного з об'єднанням у єдине ціле різнорідних частин елементів [177, с. 625], тому інтеграцію можна розглядати як зв'язок між різними етапами або ступенями розвитку, сутність якого полягає в збереженні тих чи тих елементів цілого чи окремих його рис у процесі переходу від одного етапу до іншого; як зв'язок між явищами під час розвитку природи, суспільства та пізнання, коли нове змінює старе, зберігаючи деякі його елементи.

*Міждисциплінарність* – це науково-педагогічна новація, яка виробляє здатність побачити, розпізнати, сприйняти те, що є недоступним в межах окремо взятої науки (дисципліни) з її специфічним, вузькозорієнтованим об'єктом, предметом і методами дослідження [115].

*Наукова діяльність* – інтелектуальна творча діяльність, спрямована на одержання нових знань та пошук шляхів їх застосування, основними видами якої є фундаментальні та прикладні наукові дослідження [53].

*Інноваційна діяльність* охоплює всі наукові, технологічні, організаційні, фінансові та комерційні дії, які забезпечують реалізацію інновацій і можуть зумовлювати випуск на ринок нових конкурентоспроможних товарів та послуг для отримання комерційного й соціального ефекту [54].

*Інноваційна культура* – складник інноваційного потенціалу, що характеризує рівень освітньої, загальнокультурної й соціально-психологічної

підготовки студента та суспільства загалом до сприйняття й творчого впровадження в життя ідеї розвитку економіки країни на інноваційних засадах [54].

*Інноваційна програма* – комплекс взаємопов'язаних завдань, заходів та проєктів (інноваційних та інвестиційних), узгоджених у термінах виконання, складі виконавців, ресурсному забезпеченні, переліку очікуваних результатів та джерелах фінансування, виконання яких забезпечує ефективне створення, поширення, комерціалізацію інновацій [54].

*Інноваційний проєкт* – комплекс організаційно-правових, управлінських, аналітичних, фінансових та інженерно-технічних заходів, які реалізують суб'єкти інноваційної діяльності для створення, поширення, комерціалізації інновацій. Їх оформлено як планово-розрахункові документи, потрібні й достатні для обґрунтування, організації та управління реалізацією проєкту [54; 56].

*Експеримент* (англ. *experiment*) – сукупність дослідів, об'єднаних однією системою їх постановки, взаємозв'язком результатів і способом їх обробки. У результаті експерименту отримують сукупність результатів, які допускають їхню сумісну обробку й зіставлення.

*Дослід* – відтворення якого-небудь явища або спостереження за новим явищем у певних умовах для вивчення, дослідження.

*Грант* – грошові або інші засоби, що передають громадяни та юридичні особи (зокрема й іноземці), а також міжнародні організації для проведення конкретних наукових досліджень, розроблення законопроєктів, підготовки кадрів та інших цілей на умовах, передбачених грантодавцем.

*Синергія* (від грец. *Συ너지α* – (грец. *σύν*) разом; (грец. *ἔργον*) той, що діє, дія) – це сумарний ефект, який полягає в тому, що під час взаємодії двох або більше факторів їхня дія суттєво переважає ефект кожного окремого компонента у вигляді простої їхньої суми [152]. Синергія створює всі умови формування нададитивного ефекту.

*Нададитивний ефект* – важливий показник ефективності високорозвинутого колективу. Здатність колективу як цілого досягати набагато більших здобутків у роботі, ніж така сама за чисельністю спільнота людей, які працюють незалежно один від одного й не об'єднуються системою визначених відносин [115].

*Тріалог* – навчальна діяльність за участю трьох її суб'єктів: учнів, студентів, викладачів, що є інноваційною ознакою особистісно зорієнтованої технології навчання, специфічною для ЗВО. Його реалізують за будь-якої форми навчальної діяльності студентів (лекцій, практичних, лабораторних занять) [71].

Запропоновані поняття STEM-освіти є доцільними та значущими для подальшого розвитку сучасної освіти, зокрема фізичної, оскільки вони допомагатимуть викладачам ЗВО орієнтуватися в провідних напрямках роботи STEM-освіти з урахуванням основних тенденцій розвитку сучасної освіти й студентам засвоювати новий матеріал на вищому рівні, використовуючи сучасні STEM-технології навчання.

Нині в освітньому процесі прискорено розвиваються міждисциплінарні зв'язки, які слід розглядати на прикладі поєднання фізики з предметами професійного спрямування, що вивчають студенти упродовж всього навчального курсу в технічних ЗВО (див п. 1.3).

Отже, STEM-освіта, основні її елементи (наука, технології, інженерія та математика) розвивають у суб'єктів навчання критичне мислення, сприяють виробленню навичок командної роботи, підвищують якість розуміння студентами дисциплін, зорієнтованих на природничі та технічні науки з упровадженням STEM-технологій. Основною метою STEM-освіти є підготовка студентів до ефективних змін у засвоєнні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, спрямованих на розв'язання нових завдань та проблем (зокрема й завдяки формуванню критичного мислення, самовдосконаленню, розвитку креативності) і вироблення STEM-грамотності.

Упровадження STEM-освіти має бути глибинним і розв'язувати низку проблем підготовки студентів з технічного напрямку навчання, які усвідомлюють свою відповідальність у здобутті професії, що на цей час пов'язано з інноваційними технологіями та ґрунтовною фундаментальною підготовкою.

## **2.2. Особливості організації освіти на основі STEM-технологій у технічних закладах вищої освіти**

Відомий англійський науковець Ч. Дарвін уважав, що «виживає не найсильніший і не найрозумніший, а той, хто найшвидше відгукується на зміни, які відбуваються» [1, с. 5] В історії виникнення STEM-освіти дослідники заслужено віддають першість США [199; 203; 218; 222; 241]. За їхнім прикладом такий метод навчання поширився на Європу та Україну, проте, не знижуючи ролі розвитку вказаного напрямку О. Єкименкова та О. Трифонова дослідили наукову й педагогічну діяльність І. Тамма, лауреата Нобелівської премії, уродженця із Єлисаветграда (нині м. Кропивницький), у підготовці наукових кадрів-дослідників з теоретичної фізики. Вони встановили факт, що у 20-і рр. ХХ ст. у Європейському природознавчому товаристві наука набула рівня ідеального інтернаціонального суспільства. Європейська атмосфера Кембриджу, Лейдена, Гетенбергу, Ростока, Берліну, Парижу, Відня наблизилася до рівня Римської, де панувала доброзичливість й великодушність, а науковці мали надзвичайно щедру душу.

Значна частина вітчизняних учених мала змогу одержати відрядження на стажування за зразком петрівських часів ХVІІ ст. З-поміж цих науковців був також І. Тамм, який після стажування повернувся на Батьківщину й запровадив таку атмосферу в колективі теоретичного відділу Фізичного інституту Академії наук нашої держави. Зокрема він створив осередок особливого ґатунку кадрів для теоретичної фізики та теорії атомного ядра. Члени цього колективу вільно володіли англійською, німецькою чи іншою мовою; мали європейський рівень знань з математики й теоретичної фізики.

У науково-дослідницьких лабораторіях стрімко зріс рівень розвитку інженерії, найбільш цінними стали технології наукових досліджень та виробництва. Тоді такий підхід не називали STEM-освітою, як нині. У 30-х рр. тамнівський підхід запроваджено в Українському фізико-технічному інституті (м. Харків), на кафедрі теоретичної фізики Київського, Дніпропетровського, Одеського університетів, у Київському рентгенівському (нині Національний інститут раку), Дніпропетровському гірничому інститутах, в інших науково-дослідних інститутах та лабораторіях.

Зарубіжні й вітчизняні дослідження засвідчують важливість використання нових та відродження забутих методів, прийомів, засобів і STEM-технологій навчання, дозволяють розв'язати низку методичних завдань; застосування й упровадження в освітній процес з фізики цікавих і важливих наукових досягнень, а також посилення тих аспектів, які стимулюють та активізують самостійну пізнавально-пошукову діяльність кожного студента під час вивчення фізики в технічному ЗВО.

Вибір доцільних технологій навчання, а саме STEM-технологій, залежить від фахової реалізації та ефективності дидактичного процесу в навчанні фізики. Технологічний підхід передбачає деяку технологічність форм і методів навчання фізики з позиції її структури, а також конструювання і практичне застосування цих елементів на заняттях з фізики на основі STEM-технологій. Проектування освітнього процесу на основі STEM-технологій формулює завдання, які важливо розглядати в процесі навчання природничо-наукових дисциплін, зокрема фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.

Поняття «технологія» походить від грецьких слів «*techne*» – мистецтво, майстерність, уміння, і «*logos*» – учення, наука [36].

У 60-х рр. минулого століття поняття «педагогічна технологія» розглядали в педагогіці СРСР. У розвиток цієї дефініції зробили значний внесок такі вчені: С. Архангельський [4], Ю. Бабанський [11], В. Беспалько [14], В. Боголюбов [19], А. Вербицький [25], Л. Виготський [28],

В. Давидов [42], І. Лернер [97], В. Ляудіс [104], В. Монахов [113], А. Савельєв [144], Н. Селезньова [121], Н. Тализіна [170] та ін.

Словник української мови в 11 томах [159] тлумачить поняття «технологія» як сукупність знань, відомостей про послідовність окремих виробничих операцій у процесі виробництва чого-небудь [159].

*Педагогічна технологія* є предметом вивчення багатьох наукових напрямів у сучасній педагогіці, залежно від яких її розглядають, як:

1) складник педагогічної майстерності, що є науково-обґрунтованим професійним вибором операційного впливу педагога на студента внаслідок взаємодії її зі світом для формування гуманного ставлення до світу та гармонійного поєднання свободи особистісного виявлення й соціокультурної норми (Н. Щуркова [198]);

2) реалізацію на практиці проєкту педагогічної системи (В. Беспалько [14]);

3) комплекс психолого-педагогічних умов, які визначатимуть доцільний вибір і компонування форм, методів, способів, прийомів та виховних засобів (використання схем, рисунків, діаграм тощо) (Б. Лихачов [101]);

4) ефективну форму сучасної освіти, для впровадження якої потрібно враховувати процес навчання та засвоєння знань на основі використання людських і технічних ресурсів, що взаємодіють між собою з упровадженням інноваційних технологій навчання (В. Симоненко [151]);

5) удосконалення впорядкованої сукупності дій, операцій, процедур, які забезпечують досягнення передбачуваного результату в умовах розвитку освітнього процесу (В. Сластьонін [156]);

6) модель спільної педагогічної діяльності з проєктування, організації та проведення освітнього процесу із забезпеченням належних умов для студента та викладача ЗВО (В. Монахов [113]).

У дослідженнях С. Сисоєвої [153] поняття «педагогічної технології» визначено як створену відповідно до потреб студента теоретично

обґрунтовану освітню систему, у якій розглянуто особистість, професійний розвиток та саморозвиток студента, ураховано професіоналізм педагога, що забезпечує ефективну реалізацію визначеної освітньої мети та відтворення освітнього процесу на рівні, який відповідає педагогічній майстерності викладача.

Основними ознаками педагогічної технології є процеси програмування, проєктування, конструювання, прогнозування, моделювання, спрямовані на впорядкування педагогічного середовища.

Учений Б. Лихачов розглядає «педагогічну технологію» як характеристику технологічного процесу, зорієнтовану на конкретний педагогічний результат, визначену систему технологічних одиниць.

Технологічним процесом в освіті є навчання, тому розглянемо поняття «технології навчання» [101]. На думку С. Вітвицької [30], кожна педагогічна технологія має основні методологічні вимоги та критерії технологічності, які віддзеркалено в складниках STEM-освіти, що важливо враховувати в процесі навчання фізики. Вияв критеріїв технологічності забезпечують:

- концептуальність, що розкриває основи STEM-концепції та розглядає психологічне, дидактичне, соціальне й педагогічне обґрунтування освітніх цілей навчання фізики;

- системність у навчанні фізики (наявність усіх ознак системи, що ґрунтується на STEM-технологіях);

- взаємозв'язок усіх елементів системи (наприклад, фізики та професійно зорієнтованих дисциплін: авіоніки, радіоелектроніки, електротехніки, принципів польоту тощо) з урахуванням їхнього логічного та цілісного поєднання;

- керованість, що характеризує проєктування процесу навчання з фізики та виховання; урахування діагностики кожного етапу освітнього процесу, а також варіювання методів та засобів STEM-навчання, що дає змогу корегувати знання й уміння студентів;



- відновлення, тобто можливість застосування в схожих умовах того чи того явища іншими студентами під час засвоєння фізики в технічних ЗВО;
- єдність змістової та процесуальної частин, їх взаємодоповненість та взаємозумовленість у навчанні фізики;
- результативність, що віддзеркалює найкращі зусилля для отримання високих показників запланованого результату для певного стандарту навчання.

Основне призначення «освітніх технологій» полягає в прогнозуванні розвитку освітніх систем, їх проектування, планування та визначення факторів, які відповідають освітнім цілям.

Науковці Ю. Сурмін та Н. Туленков [167] кваліфікують «освітні технології» як складні та відкриті системи деяких прийомів і методик, що концептуально об'єднані пріоритетними цілями, а також пов'язані між собою змістом, завданнями, методами та формами організації освітнього процесу. Такі технології є різновидом соціальних.

STEM-технології є компонентом освітніх технологій, що характеризують загальну стратегію розвитку освіти та освітнього середовища. Ми поділяємо думку Т. Туркот [174] щодо структурного відношення блок-операції STEM-технологій, що є невіддільною частиною освітніх технологій навчання, а саме:

- 1) здобуття професійних знань з природничо-наукових дисциплін, зокрема фізики, залежать від особистих та суспільних потреб і маркетингу з урахуванням STEM-освіти;
- 2) діагностування студентів і виховання в процесі навчання фізики на основі STEM-технологій;
- 3) формування освітніх цілей і завдань у навчанні фізики на основі STEM-технологій;
- 4) з'ясування змісту і методів освітнього процесу з фізики;
- 5) перевірка результатів та його ефективності в процесі навчання фізики в контексті STEM-освіти;

б) корекція й упровадження освітніх STEM-технологій у педагогічну практику навчання технічних ЗВО.

Освітні технології вказують на відбиток стратегії освіти, а педагогічні технології є підґрунтям для її розвитку.

The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) трактує поняття «технологія навчання» як комплексне створення, застосування та визначення процесу навчання, що керується засвоєнням знань, зорієнтованих на людські та технічні ресурси. Це поняття є системним методом, завданням якого є оптимізація освіти.

За визначенням В. Серікова, «технологія навчання» віддзеркалює законопрвідну педагогічну діяльність дидактичного процесу, що характеризується більш високим ступенем ефективності, надійності та гарантованості результату пов'язано з традиційними способами навчання [150].

За твердженням В. Сластьоніна [156], дефініцію «технологія навчання» слід розглядати як педагогічну діяльність, яка реалізує науково обґрунтований проект дидактичного процесу та має вищий ступінь ефективності, надійності й гарантованості результатів, ніж традиційні методики навчання.

Ми розглянули поняття «навчальної технології» (або дидактичної технології), що розкриває напрями засвоєння відповідного навчального матеріалу в межах навчальної дисципліни, теми, проблеми. Вона потребує визначення цілей навчання, доцільного структурування навчального змісту, а також оптимальних форм і методів навчання.

Традиційна класно-урочна система навчання задовольняла суспільні потреби впродовж понад трьохсот років, однак кінець XX–початок XXI ст. демонструє революційні соціальні, економічні, інформаційні зміни, які вимагають суттєвих перетворень в освітньому середовищі, що зумовило розвиток нових напрямів навчання, зокрема STEM-освіти. Особливими ознаками цього періоду є:

– однією з пріоритет галузей суспільства є освіта, що сприяє формуванню майбутнього інтелектуального потенціалу країни з упровадженням інноваційної діяльності та технологій, наприклад STEM-освіти;

– підвищення рівня освіти можна забезпечити завдяки оновленню та розвитку всіх галузей суспільного життя, що активізує проблему переходу населення до вищої технічної освіти;

– швидкий розвиток сучасних ІТ-технологій, зростання обсягів інформації потребує доцільної модернізації змісту, форм, методів і засобів навчання, які властиві STEM-освіті. Ефективність застосування сучасних STEM-технологій у вивченні природничо-математичних дисциплін стимулюватиме та зацікавлюватиме студентів до активізації пізнавально-пошукової діяльності у вивченні професійно зорієнтованих дисциплін.

Основою традиційного навчання було запам'ятовування та відтворення інформації, а в умовах розвитку STEM-освіти потрібно розвивати творче й критичне мислення студента. Формування комунікативних умінь та практичної підготовки студента до активної життєдіяльності сприяє розвитку затребуваного фахівця технічного профілю з урахуванням STEM-концепції.

Поєднання традиційних та інноваційних технологій навчання є суттєвим виявом доцільного впровадження інновацій в освітній процес, зокрема засвоєння знань з фізики в технічних ЗВО, тому постає нагальна потреба в упровадженні STEM-технологій в освітній процес з фізики, що характеризується своєю інноваційністю та вдосконаленням методики навчання фізики.

Поняття інновацій та інноваційної діяльності, які ми розглянули в п. 2.1, є невіддільними складниками впровадження STEM-освіти в навчання природничо-наукових дисциплін, зокрема й фізики.

Аналіз наукових праць [5; 6; 33; 34; 35; 57; 64; 72; 75; 76; 77; 78; 79; 80] з проблеми розвитку STEM-освіти дозволив установити такі *особливості*

навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін з урахуванням сучасних тенденцій розвитку освіти, що представлено в таблиці 2.3.

У контексті зазначеного формується також методика навчання технічних дисциплін в умовах STEM-освіти. Її зорієнтовано на сучасний стан, розвиток техніки й суспільства з урахуванням останніх досягнень психолого-педагогічних наук; на підвищення активності студентів у засвоєнні нової наукової інформації та спрямованість освітнього процесу на майбутню професійну діяльність.

Таблиця 2.3

**Особливості навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі STEM-технологій у технічних ЗВО**

№ з/п	<i>Особливості навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі STEM-технологій</i>
1	2
1.	Опора на особистісно орієнтоване навчання та широке впровадження інтегрованих навчальних дисциплін з використанням технологій STEM-освіти в технічних ЗВО. Цей напрям передбачає посилення самостійної пізнавально-пошукової діяльності студентів і створення умов в освітньо-науковому STEM-середовищі для саморозвитку й самореалізації кожного студента.
2.	Співвідношення й поєднання гуманітарного та природничо-наукового складників ЗВО, їхніх теоретичних і практичних компонентів, що відповідно стосується навчання фізики.
3.	Упровадження цифрових технологій навчання підносить на новий вищий рівень фізичну освіту, оскільки використання ІКТ, 3-D-моделювання, роботехнічних комплектів, ігрових технологій допомагає студентам краще засвоювати знання з фізики.
4.	Різний зміст навчального матеріалу з фізики за обсягом і складністю його представлення з урахуванням інтеграційного підходу має привернути увагу вчених-методистів і фахівців педагогічної науки до того, що знання з фізики потрібні всім студентам технічних ЗВО з огляду на концепцію розвитку STEM-освіти та популяризацію технічного й інженерного складників незалежно від того, за яким профілем і за якою програмою здійснювалося навчання фізики. Водночас, підтверджуючи неприпустимість надмірного ускладнення й переобтяження навчального матеріалу його теоретичним змістом і математичними викладками, не можемо аналогічно відкидати всі можливі приклади експериментального вивчення такого змісту, оскільки саме самостійна пізнавально-пошукова та дослідницька діяльність студента є в основу активного пізнання, яке реалізує їхнє бажання пізнавати середовище та свої можливості в технічній галузі навчання.
5.	Упровадження державних стандартів вищої освіти, і зокрема стандартів фізичної освіти, має остаточно сформулювати вимоги до рівня фізичної освіти випускника технічного ЗВО в контексті STEM-освіти. Цей рівень розглядається як обов'язковий, мінімально можливий і такий, що передбачає

1	2
	самостійну роботу студента як обов'язкову діяльність в освітньому процесі з фізики.
6.	<p>Урахування результатів психолого-педагогічних досліджень на аналізі змісту фізичного експерименту в розвитку STEM-освіти в технічних ЗВО передбачає такі особливості:</p> <p>перша з них – це проникнення в сутність досліджуваних об'єктів (фізичних явищ, структурних форм матерії, вивчення основних фундаментальних понять тощо), яка потребує від студентів абстрагування, побудови ідеальних моделей, переходу від одного виду абстракції до іншого і т.д. та відповідно сприяє розвитку в студентів фізичного наукового мислення;</p> <p>друга – психологічна особливість процесу навчання фізики – полягає в тому, що під час навчання потрібно використовувати моделі й різні знакові зображення формули, а також доцільно зважати на те, щоб студенти вміло переходили від знакових зображень до реальних об'єктів та в зворотному напрямі – від сприйняття реальних об'єктів до побудови ідеальних моделей і їх знакового зображення;</p> <p>третьою особливістю процесу навчання фізики з використанням STEM-технологій є висока емоційність, зумовлена використанням показу дослідів з фізики в натурному експерименті, організацію спостережень студентів, самостійного виконання практичних робіт.</p>

Визначення поняття технологій як системи засобів, форм і способів організації освітньої взаємодії, що забезпечують ефективне управління й реалізацію освітнього процесу на основі комплексу цілей і по-особливому сконструйованих інформаційних моделей освоюваної реальності – вмісту освіти [8; 16; 72] та освіти як цілеспрямованої пізнавальної діяльності суб'єктів отримання знань, умінь і навичок чи їх вдосконалення [50; 51; 60; 62] дозволило класифікувати STEM-технології навчання (рис 2.2).



Рис. 2.2. Класифікація STEM-технологій навчання фізики

Основними вимогами методики навчання фізики в технічних ЗВО з урахуванням STEM-технологій [8; 33; 35; 78; 79; 80; 81; 88; 89; 90] є такі:

– не усувати можливість використання STEM-засобів навчання й навчального обладнання з фізики та інших дисциплін, виправданих перевірених освітньою практикою;

– створення нових STEM-засобів навчання для доповнення наявних і надання змоги розширити їхні функції відповідно до нової парадигми освіти, у якій студент є активним суб'єктом усвідомленої навчальної діяльності, що значною мірою визначає кінцевий результат освітнього процесу;

– передбачення на різних етапах формування фізичних знань зростання рівня самостійної пізнавально-пошукової діяльності студентів, для забезпечення можна застосовувати створювані комплекти STEM-обладнання, де всі складники узгоджено між собою, упорядковано згідно з ергономічними вимогами, зорієнтовано на отримання найкращих результатів і досягнень відповідного рівня освіти, усвідомленість ролі в ньому особистості людини;

– можливість формувати в студентів уміння користуватися сучасними засобами цифрового обладнання, ІКТ і комп'ютерною технікою, орієнтувати їх на подальше використання інформаційних засобів в освітній діяльності й у в майбутній професійній галузі STEM-освіти;

– розроблення засобів навчання багатофункційного призначення спрямованих на реалізацію внутрішньопредметних і міжпредметних зв'язків та інтеграцію змісту дисциплін природничо-наукового циклу в контексті розвитку STEM-освіти;

– створення освітньо-наукового STEM-середовища ефективного для діяльності викладача й роботи студента в процесі навчання з відповідним методичним забезпеченням;

– засоби навчання в умовах STEM-освіти мають слугувати активізації самостійної пізнавальної діяльності студентів і постійно розвивати самостійність суб'єктів навчання в освітньому процесі, стимулювати активну діяльність кожного студента з урахуванням його особистих рис, підвищувати інтерес до навчання і його мотивацію;

– урахування особливостей організації самостійної роботи та специфіки виконання фізичних досліджень; спрямованість комплектів STEM-обладнання на самостійну роботу студентів, на вироблення потреби у формуванні вмінь налагоджувати дослідні установки, передбачати очікуваний результат, самостійно експериментувати, виконувати різні вимірювання й розрахунки, оцінювати явища різної природи, а також узагальнювати одержані результати;

– навчальний експеримент, який у поєднанні із STEM-засобами експериментування важливо зорієнтувати на модернізовану технологічну базу, узгодити із сучасними педагогічними, санітарними та ергономічними вимогами. При цьому враховувати, що такі вимоги не є незмінними, вони вдосконалюються і як окрема галузь перебувають у постійному розвитку.

Аналіз передового вітчизняного та світового досвіду засвідчує, що вдосконалення методики навчання дисциплін технічних ЗВО відповідно до зазначених вимог сприяє розв'язанню сучасних завдань STEM-освіти, поліпшує якість виконання основних демонстраційних навчальних експериментів, активізує та розширює самостійну навчальну діяльність студентів, сприяє підвищенню престижності освіти в технічних ЗВО.

### **2.3. Формування моделі освітньо-наукового STEM-середовища професійно зорієнтованого навчання в технічних закладах вищої освіти**

Становлення особистості й фахівця в освітньому процесі вищої технічної освіти вимагає забезпечення таких умов: мотиваційних, стимулювальних, освітніх та інших [5; 9; 31; 58; 69; 72]. Окрім того, передбачено цілісний розвиток майбутнього фахівця: гуманіста, демократа, гуманітарія, що відбувається в середовищі ЗВО. Таким середовищем є система, яка складається з об'єктивних факторів, зовнішніх умов, соціальних, наукових впливів й умов формування особистості в просторово-предметному довіллі. У такому середовищі кожен суб'єкт навчання має знайти своє місце.

Аналіз психолого-педагогічної, історичної, філософської літератури [2; 10; 13; 14; 20; 22; 28; 32; 36; 42], педагогічної практики засвідчить зростання наукового інтересу до проблеми із створення умов успішного навчання та сприятливого мікроклімату. На нашу думку, феномен освітнього процесу полягає в організації комфортного середовища у ЗВО.

Окрім цього, сучасна наука, трансформацію якої в освіту представлено навчальними дисциплінами, функціонує також у певному просторі ЗВО і має свої особливості:

– основним інструментарієм є спостереження та наукові факти, які у постіндустріальному суспільстві є інструментами здобуття нових знань;

– сучасна наука в пізнанні Всесвіту широко використовує методи математичного, комп'ютерного, теоретичного, уявного моделювання, які методи ґрунтуються на віддзеркаленні тих чи тих аспектів досліджуваного об'єкта в ідеальній формі; модельність є інтегральною якістю, оскільки жоден виокремлений метод (емпіричний або теоретичний) не дає цілісного уявлення про об'єкт;

– пізнання об'єкта чи окремих його частин передбачає створення моделі об'єкта (чи його частини) й урахування практичного складника, який називають технологією діяльності, та педагогічного супроводу реалізації технологій у конкретних методиках освітньої діяльності.

У соціально-педагогічному словнику [154] подано такі значення поняття модель:

1) уявний чи умовний образ, аналог кількості об'єкта, процесу чи явища, що відтворює у символічній формі основні типові риси [154, с. 143];

2) формалізована теорія, на основі якої може бути зроблений ряд припущень [154, с. 143];

3) символічне зображення структури, типу поведінки й зразків взаємодії у соціальних процесах [154, с. 143];

4) стандарт для виміру відхилень у реальних процесах від передбачуваних [154, с. 143].



Історично життєздатними виявилися такі моделі освіти [36]:

*Модель освіти як державно-відомчої організації.* З огляду на це державна влада розглядає систему освіти як самостійний напрям у низці інших галузей. З позиції STEM-освіти ця модель віддзеркалює схема «державна влада – освіта – бізнес», які доповнюють одна одну та охоплюють основні тенденції сучасного розвитку суспільства.

*Модель розвивальної освіти,* запропонована В. Давидовим та В. Фляковим, визначає організацію освіти як особливий чинник інфраструктури, що розкриває діяльність освітніх систем різного рангу, типу та рівня. Ця структура забезпечує потреби населення різних прошарків та ефективно розв'язує освітні завдання, а також розширює освітні послуги на основі концепції STEM-освіти.

*Традиційна модель освіти,* розроблена Ж. Мажо, Л. Кро, Ж. Капель, Д. Равичем та Ч. Фіном, характеризує розвиток академічної освіти, яка передає молодому поколінню корисні та сучасні елементи культури. Зміст цих елементів розкрито в похідних поняттях STEM-освіти: A – art (мистецтво); R – reading (читання), religion (релігія); W – writing (письмо), (див. п.2.1).

*Раціоналістичну модель освіти* побудували П. Блум [204], Р. Ганьє, Б. Скінер [245]. Така модель забезпечує засвоєння знань, умінь і навичок, а також практичне залучення молодого покоління до сучасного суспільства в умовах STEM-освіти для засвоєння сучасних цифрових та STEM-технологій. У цій моделі розглядають лише ті культурні цінності, що дають змогу студенту пристосовуватися до наявних суспільних структур, властивих сучасним запитам суспільства.

*Феноменологічна модель освіти,* окреслена А. Комбсом, А. Маслоу, К. Роджерсом [140], вивчає індивідуально-психологічні особливості студентів, їхні інтереси та потреби, які потрібно розвивати для вироблення навичок роботи в команді, розкриття креативності, творчості суб'єктів

навчання, мотивації до вивчення технічних дисциплін в умовах розвитку STEM-освіти.

*Неінституційну модель освіти*, представлено в Л. Бернара, Ж. Гудледа, П. Гудмана, І. Ілліча, Ф. Клейна. Її зорієнтовано на організацію освіти в технічних ЗВО та закладах загальної середньої освіти й упроваджено на заняттях, що проводились на відкритому просторі з використанням інтернету та дистанційним навчанням [30; 124].

Як зазначено вище, досягнення педагогічних цілей можливе лише в умовах функціонування відповідного середовища. Дефініція «середовище» різноманітна у своєму тлумаченні. Зокрема учений В. Радул пропонує розглядати поняття «середовище» як сукупність явищ, процесів та умов, що впливають на досліджуваний об'єкт [154, с. 231].

Академічний тлумачний словник української мови [159] пояснює, що середовище – це 1) речовина, тіла, що заповнюють який-небудь простір і мають певні властивості; 2) сфера; 3) сукупність природних умов, у яких проходить життєдіяльність якого-небудь організму; 4) соціально-побутові умови, у яких проходить життя людини; довкілля; 5) сукупність людей, зв'язаних спільністю життєвих умов, занять, інтересів [159].

У філософському словнику [178] середовище представлено як фізичне, моральне, інтелектуальне й соціальне оточення, у якому ми живемо.

Енциклопедичний словник [45] поняття «середовище» трактує як оточення людини, громадські, матеріальні та духовні умови її життя і діяльності. Середовище в широкому сенсі (макросередовище) охоплює економіку, громадські інститути, громадську свідомість та культуру. Соціальним середовищем у вузькому сенсі (мікросередовищем) є безпосереднє оточення людини – сім'я, трудова, навчальна та інші групи [45].

За словами Д. Костюкевича, визначає освітнє середовище як організоване, складники якого сприяють досягненню цілей освітнього процесу [69].

Відомий педагог і письменник Я. Корчак [70, с. 195–232] кваліфікував такі основні види освітнього середовища:

1) догматичне освітнє середовище спричиняє розвиток пасивності й залежності студента від репродуктивного рівня розумової діяльності на заняттях (наприклад, фізики);

2) кар'єрне освітнє середовище сприяє розвитку активності й залежності студента від суб'єктивного та об'єктивного впливу на мотивацію вивчення навчального предмету;

3) безтурботне освітнє середовище забезпечує вільний розвиток і спричиняє пасивну життєву позицію студента стосовно дійсності;

4) творче освітнє середовище сприяє вільному мотивованому розвитку активного студента з оволодіння предметною компетентністю [70, с. 195–232].

За освітніми рівнями середовища поділяються на такі:

– освітні середовища четвертого рівня – управлінська система (заклад освіти), яка реалізує завдання освітньої доктрини;

– середовища третього рівня – сукупність педагогічних середовищ закладів освіти;

– навчальні середовища другого рівня – педагогічні середовища, що визначають певну тактику реалізації завдань освіти;

– середовище першого рівня утворене в процесі спілкування в системах «учень–підручник», «учень–учень», «учень–учитель», «учень–засоби навчання» тощо.

У процесі створення якісного сучасного освітнього середовища з фізики виникає низка неоднозначностей, усуненню яких можуть сприяти цілеспрямовані дослідження в цьому напрямі. Зокрема дослідники А. Гуржій, Ю. Жук, В. Волинський [40], зазначають, що для підвищення ефективності процесу формування освітнього середовища важливим є виконання таких вимог, які ми враховуємо під час створення освітнього STEM-середовища:

– покращення матеріально-технічної бази технічних ЗВО;

- розроблення організаційно-педагогічних передумов ефективного використання засобів навчання, зокрема сучасних ІКТ та цифрового обладнання;

- розроблення методик ефективного використання засобів STEM-освіти;

- створення надійної системи доставки засобів STEM-освіти та потрібного обладнання в процесі навчання фізики;

- створення інформаційного банку даних розроблення та впровадження STEM-засобів, технологій у навчанні природничо-наукових дисциплін у технічних ЗВО;

- фінансування програми для розроблення сучасних STEM-засобів.

З огляду на це окреслено конкретні педагогічні цілі формування освітнього середовища, а саме освітньо-наукового STEM-середовища, у процесі навчання фізики. На наш погляд, вдалий варіант запропонували дослідники А. Кух, О. Кух [93]:

- 1) розвиток творчого потенціалу учнів і студентів; вироблення здібностей до комунікативних дій; формування вмінь експериментально-дослідницької діяльності, що є невіддільною частиною розвитку STEM-освіти;

- 2) інтенсифікація освітнього процесу, підвищення його ефективності і якості в навчанні природничо-наукових дисциплін;

- 3) реалізація соціального замовлення, зумовленого інформацією сучасного суспільства, тобто підготовка фахівців [81] у цій предметній галузі та підготовка користувачів засобами нових ІКТ, зокрема в галузі STEM-освіти.

Ми поділяємо думку В. Демкова та В. Заболотного, що створення освітнього середовища у ЗВО є важливим фактором становлення майбутнього фахівця з технічного напрямку [44, с. 301]. У дослідженні В. Заболотного освітнім середовищем ЗВО є сукупність матеріальних

факторів, освітнього процесу й людських стосунків, які встановлюють студенти в процесі взаємодії [44, с. 301].

Формування освітньо-наукового STEM-середовища зумовлено тим, що таке середовище є особливим засобом вироблення виконавських, пошукових та творчих здібностей студентів, а також інструментом розв'язання управлінських функцій щодо досягнення цілей фізичної освіти.

На думку В. Бикова [17], структура навчального середовища (НС) визначає його внутрішню організацію, взаємозв'язок і взаємозалежність між елементами. Структура НС трактується з позиції функцій складників його систем та місця технології навчання.

Науковець В. Вовкотруб [146] розглядає НС як кабінет чи лабораторію в контексті системи з «експериментальною установкою» (демонстраційна, лабораторна) і експериментатором (учитель, учень або викладач, студент) для підвищення її ефективності, що є однією з цілей ергономіки фізичного експерименту.

У дослідженні В. Лапінського [96, с. 26–32] сформульовано один з основних напрямів розв'язання проблеми підвищення якості освіти – розвиток матеріальних і нематеріальних складників систем навчання, уведення до їхнього складу високотехнологічних засобів діяльності й досягнення нового, більш високого рівня освітнього процесу. Він розглянув та ввів поняття комп'ютерно зорієнтованого НС.

За твердженням В. Лапінського й В. Мадзігона [95; 96], реалізація НС практично неможлива без сукупності матеріальних об'єктів, потрібних для діяльності учасників освітнього процесу, при цьому деякі з них набувають ознак засобів навчання і виховання.

Наукова розвідка Ю. Жука [48] засвідчує, що НС об'єднує матеріальний та інформаційний складники, які мають безпосередній вплив на організацію діяльності суб'єктів навчання й забезпечують можливість отримання результатів за конкретними, заздалегідь сформульованими завданнями.

НС людини, або відкрите НС, розглядають В. Кремень та В. Биков як частину глобального освітнього простору, що без самої людини, суттєвий навколишній освітній простір конкретної особи, елементи і зв'язки якого існують природно або створені штучно й безпосередньо або опосередковано впливають на освітній процес, а їхні властивості свідомо й підсвідомо людина використовує впродовж життя для забезпечення формального, неформального та інформального навчання [72, с. 7]. Види НС наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

**Види навчального середовища за В. Кременем та В. Биковим**

№ з/п	Назва	Характеристика
1	2	3
1.	Ефективне НС	НС, у якому створено найбільш сприятливі для його користувачів потрібні й достатні умови для реалізації навчально-пізнавальної діяльності, творчого розвитку особистості [75, с. 8].
2.	Педагогічно виважене НС	Ефективне НС, ресурси на створення й підтримку якого в актуальному стані є мінімальними, тобто сукупність ресурсів, що потрібних для створення й забезпечення подальшої придатності використання та розвитку НС (психолого-педагогічних, матеріально-технічних, інформаційних), є обмеженням будови педагогічно виваженого НС [75, с. 8].
3.	Закрите комп'ютерно зорієнтоване НС	ІКТ-навчальне середовище педагогічних систем, у якому окремі дидактичні функції передбачають педагогічно доцільне використання комп'ютерних і комп'ютерно зорієнтованих засобів навчання, електронних освітніх ресурсів, а також засобів і сервісів локальних інформаційно-комунікаційних мереж (ІКМ) навчального закладу [17, с. 10].
4.	Відкрите комп'ютерно зорієнтоване НС	ІКТ-навчальне середовище педагогічних систем, у якому окремі дидактичні функції передбачають педагогічно доцільне використання комп'ютерних і комп'ютерно зорієнтованих засобів навчання й електронних освітніх ресурсів, що входять до складу ІКТ-системи освітнього закладу, а також засобів, ресурсів і сервісів відкритих ІКМ (Інтернет) [17, с. 10].
5.	Відкрите комп'ютерно інтегроване НС	ІКТ-навчальне середовище педагогічних систем, у якому більшість дидактичних функцій, а також деякі принципово важливі функції управління освітнім процесом передбачають педагогічно доцільне координоване та інтегроване використання комп'ютерних і комп'ютерно зорієнтованих засобів навчання, що входять до складу ІКТ-системи освітнього закладу, а також засобів, ресурсів і сервісів відкритих ІКМ (Інтернет) [17, с. 10].

1	2	3
6.	Персоніфіковане комп'ютерно інтегроване НС	Відкрите комп'ютерно інтегроване НС педагогічних систем, яке забезпечує налаштування ІКТ-інфраструктури (зокрема й віртуальної) на індивідуальні інформаційно-комунікаційні, інформаційно-ресурсні та операційно-процесуальні потреби учасників освітнього процесу [17, с. 10].

У своїх дослідженнях М. Садовий і В. Слюсаренко визначають «експериментальне НС» як НС, у якому всі складники слід розглядати не статично, а динамічно – у розвитку, взаємодії, інтеграції. Це експериментальне середовище містить логічно організований фізичний експеримент [161, с. 57].

Науковець С. Литвинова зазначає, що хмаро зорієнтоване НС є «штучно побудованою системою, що за допомогою хмарних сервісів забезпечує навчальну мобільність, групову співпрацю педагогів та студентів для ефективного, безпечного досягнення дидактичних цілей» [100, с. 12].

Ресурсно зорієнтоване НС у навчанні фізики як субстанцію, що забезпечує комунікацію із зовнішніми та внутрішніми ресурсами особистості в умовах організації освітнього процесу, розглядали М. Садовий та Л. Суховірська [168, с. 6].

Як зазначили О. Трифонова та М. Хомутенко [183], поняття хмаро зорієнтованого НС з фізики потрібно розглядати як відкрите НС, яке за допомогою хмарних сервісів забезпечує навчальну мобільність, зручність та впорядкованість, самостійну та кооперативну роботу студентів, спрямоване на навчально-експериментальну діяльність для ефективного досягнення дидактичних цілей [183, с. 81].

Організація навчальної діяльності та матеріально-технічне забезпечення освітньо-наукового STEM-середовища передбачає виконання завдань, зокрема формування експериментальних умінь і навичок, сформульованих у навчальній програмі з фізики, що відповідно забезпечується наявністю якісного й сучасного навчального STEM-обладнання з фізики.

Методи, засоби, прийоми навчання формують освітньо-наукове STEM-середовище й суттєво впливають на діяльність студентів та організацію навчальної діяльності, мають специфічні функції, що визначено зокрема рівнем досягнень у галузі педагогіки, психології та методів навчання.

Вивчення особливостей сучасної науки і її ролі у формуванні освітнього середовища (див. п. 1.1, п. 1.2), дозволяє стверджувати про взаємодоповнення методів навчання, що залежать від дидактичних можливостей засобів навчання.

Як засвідчує досвід та провідні дослідження, використання засобів STEM-технологій в освітньому процесі створює нові можливості для подальшого вдосконалення методики навчання фізики в технічному ЗВО [8; 9; 17; 31; 41; 48; 64; 75; 78; 80; 88; 90].

Подальший розвиток системи STEM-освіти в Україні значною мірою залежить від якості НС [17; 161; 168; 183], зокрема формулювання концепції впровадження STEM-технологій в освітній процес і напрямів наукових досліджень забезпечуватиме розроблення, виготовлення та впровадження засобів навчання нового покоління. Установлення раціональних, педагогічно-обґрунтованих меж застосування цих засобів на всіх етапах подання сприяє формуванню в студентів знань, умінь і навичок під час вивчення фізики та професійно зорієнтованих дисциплін з урахуванням концепції STEM-освіти.

Важливим є пошук і обґрунтування нових методів навчальної діяльності студентів з використанням засобів нового покоління; визначення на базі комп'ютерної техніки та нових ІКТ STEM-компетентностей. Особливо цінним є розроблення методичного забезпечення використання STEM-засобів навчання нового покоління в навчальній діяльності [89; 90; 176].

Узагальнення наведених досліджень [17; 48; 71; 95; 96; 146; 161] дозволяє дійти висновку, що вчені не виокремлюють такого поняття, як освітньо-наукове STEM-середовище, яке доцільно використовувати на цьому



етапі становлення сучасної освіти, тому розроблено структуру такого STEM-середовища (рис.2.3).

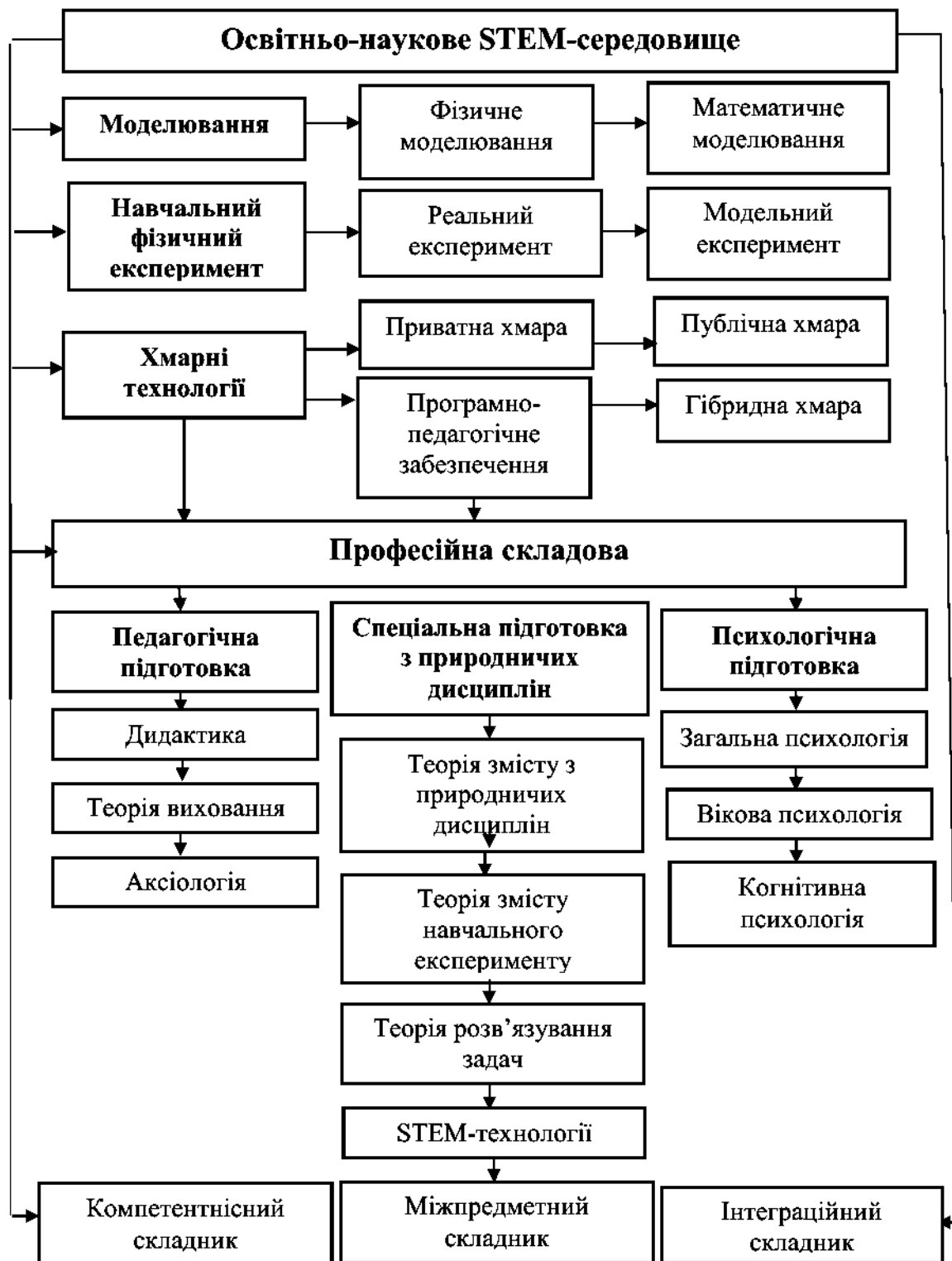


Рис. 2.3. Модель освітньо-наукового STEM-середовища

На нашу думку, освітньо-наукове STEM-середовище містить сім складників: моделювання, навчальний фізичний експеримент, хмарні

технології, професійний, компетентнісний, міжпредметний та інтеграційний складники.

Як засвідчено вище, моделювання в освітньо-науковому STEM-середовищі виступає методом наукового пізнання, розглядає будову й вивчення моделей реальних предметів і явищ з фізики та ефективним засобом її вивчення.

У *математичному моделюванні* модель та оригінал мають різну фізичну природу, однак явища чи процеси, які відбуваються в моделі й в оригіналі, описують однаковими математичними рівняннями. При цьому кожній фізичній величині оригіналу відповідає певна фізична величина моделі.

*Навчальний експеримент* є важливою компонентою освітньо-наукового STEM-середовища, що розвиває практичні навички суб'єктів навчання.

*Реальний експеримент* дозволяє спостерігати результати, що задаються початковими умовами, однак він не завжди дає змогу отримати всі дані того досліджуваного процесу.

В умовах упровадження сучасних STEM-технологій та ІКТ в освітній процес важливого значення набуває модельний експеримент.

*Модельний експеримент* використовують, коли реальний експеримент складно або неможливо поставити. У цьому разі доцільним є моделювання.

Поєднання модельного комп'ютерного та реального експериментів дозволяє продемонструвати досліджувані природні та технічні явища тим самим створити потрібну експериментальну базу для їх засвоєння, проілюструвати встановлені в науці закони і закономірності в доступному для студентів вигляді, зробити їхній зміст зрозумілим, підвищити наочність у навчанні явищ та процесів, що забезпечить комплексне формування освітньо-наукового STEM-середовища.

*Хмарні технології* (рис. 2.3) освітньо-наукового STEM-середовища ми розглядаємо як моделі, що дозволяють швидкий пошук, оброблення, оперативне використання й зберігання інформації, забезпечують швидкий

доступ через мережу. Під поняттям «хмара» ми розуміємо джерело інформації, сервер, мережу, де зберігаються дані та програми, що з'єднують користувача через Інтернет з будь-якою точкою доступу.

*Приватна хмара* (private cloud) – інфраструктура, призначена для використання однією організацією, що об'єднує кілька споживачів (наприклад, підрозділи однієї організації), доступна також для клієнтів і підрядників цієї організації [184].

*Публічна хмара* (public cloud) – інфраструктура, призначена для вільного використання широкою публікою [184].

*Гібридна хмара* (hybrid cloud) – це комбінація з двох або більше різних хмарних інфраструктур (приватних, публічних або суспільних), що залишаються унікальними об'єктами, проте пов'язані між собою стандартизованими або приватними технологіями передачі даних і додатків [184].

*Професійна підготовка* кваліфікованого фахівця є невіддільним складником освітньо-наукового STEM-середовища в навчанні, оскільки для студента, що здобуває освіту, потрібно отримати кінцевий результат, а саме:

- уміти нестандартно й ефективно розв'язувати наукові, виробничі, соціальні та інші проблеми з урахуванням базових теоретичних знань та сформованих під час навчання практичних навичок особистісної дослідницької діяльності, зокрема в навчанні фізики;

- відчувати потребу в постійному, систематичному поповненні та оновленні набутих знань, зокрема з фізики, не припиняти процес самовдосконалення, самоосвіти й самонавчання;

- переосмислювати й застосовувати в практичній діяльності потрібну інформацію з різноманітних джерел.

*Компетентнісним складником* освітньо-наукового STEM-середовища є суспільно визнаний комплекс компетенцій, завдяки яким студент здатний здійснювати складні поліпредметні види діяльності.

*Інтеграційний складник* розглядається в процесі вивчення студентами окремих тем, розділів, природничо-наукових дисциплін, зокрема фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, що віддзеркалюють науковий, інженерний та математичний складники STEM-освіти.

Складники освітньо-наукового STEM-середовища є взаємозалежними, системно об'єднаними та детермінованими загальними цілями освітнього процесу. Зміна якостей цих складників зумовлює зміну якості освітнього середовища.

Запропонована нами модель освітньо-наукового STEM-середовища, (рис. 2.3) охоплює психолого-педагогічні чинники її використання в освітньому процесі, а саме:

1) мотивація цілеспрямованості навчання, наприклад, фізики за умови повноцінного формування в студента мети експерименту, стимулювання пізнавальної активності, спрямованої на досягнення поставленої мети;

2) мотивація студентів до виконання реального експерименту на основі STEM-технологій, що підвищує їхній інтерес до навчання та розвитку пізнавально-пошукової діяльності;

3) відповідність дидактичним принципам наочності щодо способів та форм експериментального подання навчального матеріалу на заняттях з фізики чи інших дисциплін на основі STEM-технологій;

4) індивідуалізація процесу навчання під час виконання різних видів експерименту на основі технологій STEM-освіти, що ґрунтується на міждисциплінарному, інтеграційному, компетентісному, системному та професійно зорієнтованому підходах;

5) забезпечення відкритості в підборі STEM-засобів для проведення експерименту;

6) забезпечення постійного зворотного зв'язку між студентами, що запобігає допущенню помилок у процесі виконання робіт практикуму з використанням STEM-технологій;

7) формування нових STEM-компетентностей, що передбачає використання засобів навчання, спрямованих на розвиток логічного мислення;

8) формування методики гнучкого навчання, що сприяє організації самостійного прийняття студентами окремих рішень в частині організаційних моментів виконання дослідів;

9) надання вчасної допомоги студентам під час планування та виконання системи експериментів з вивченням цілісних природних систем.

Аналіз виокремлених факторів дав змогу зробити висновок, що застосування методів інтегрованого навчання та відповідних комп'ютерно зорієнтованих засобів навчання сприяє формуванню в студентів надпредметних компетенцій: уміння користуватися ІКТ, вводити дані в комп'ютер, розпізнавати повідомлення, що генеруються комп'ютеризованими системами, спілкуватися із членами команди, формулювати й доводити до відома товаришів судження. Вони є важливими складниками загальної культури студента відповідно до вимог цифрового суспільства та формування відповідних компетентностей.

У Законі «Про освіту» компетентність кваліфіковано як «динамічну комбінацію знань, умінь, навичок, способів мислення, поглядів, цінностей, інших особистих якостей, що визначає здатність особи успішно соціалізуватися, проводити професійну або подальшу навчальну діяльність» [52].

Згідно із законом України «Про вищу освіту» [55] вища освіта є сукупністю систематизованих знань, умінь і практичних навичок, способів мислення, професійних, світоглядних і громадянських якостей, морально-етичних цінностей, інших *компетентностей*, здобутих у ЗВО. Цим же законом визначено поняття «*кваліфікації*» фахівця та «*компетентності*» випускника ЗВО, що є важливими для запровадження технологій STEM-освіти. *Кваліфікацією* є офіційний результат оцінювання й визнання, який здобуто, коли уповноважена установа визначила, що особа досягла

*компетентностей* (результатів навчання) відповідно до стандартів вищої освіти, що засвідчує відповідний документ про вищу освіту [55].

*Компетентність* охоплює динамічну комбінацію знань, умінь і практичних навичок, способів мислення, професійних, світоглядних і громадянських якостей, морально-етичних цінностей, що визначає здатність особи успішно реалізувати професійну та подальшу навчальну діяльність і є результатом навчання на певному рівні вищої освіти [55].

Згідно із постановою Кабінету Міністрів України від 23.11.2011 № 1341, «Національна рамка кваліфікацій» віддзеркалює системний і структурований за компетентностями опис кваліфікаційних рівнів. Цей документ призначено для використання органами виконавчої влади, установами та організаціями, що реалізують державну політику в галузі освіти, зайнятості та соціально-трудових відносин, навчальними закладами, роботодавцями, іншими юридичними й фізичними особами для розроблення, ідентифікації, співвіднесення, визнання, планування й розвитку кваліфікацій [118]. Затверджено десять кваліфікаційних рівнів за чотирма показниками: знання, уміння, комунікація, автономність і відповідальність.

Понятійний апарат «Національної рамки кваліфікацій» є вагомим чинником для впровадження елементів STEM-освіти в освітній процес з фізики в технічних ЗВО. Цей документ визначає [118] *інтегральну компетентність* як узагальнений опис кваліфікаційного рівня, який виражає основні компетентнісні характеристики рівня щодо навчання або професійної діяльності [118].

У межах концепції «Освіта впродовж життя» (Life Long Learning), яку проголошено в Лісабонській концепції, пріоритетним є покращення педагогічної освіти та якості викладання, потреба у формуванні професійної компетентності педагогів. У цьому контексті чільне місце посідає іншомовна компетентність, яка є «інтегративним явищем, що охоплює цілу низку спеціальних здібностей, знань, умінь, навичок, стратегій і тактик мовної

поведінки, установок для успішного здійснення мовленнєвої діяльності в конкретних умовах спілкування» [110, с. 203].

Дослідження категорії «професійна компетентність», дозволило Б. Гершунському, виявити її зв'язок з професійною освітою, досвідом та індивідуальними здібностями фахівця, його мотивованими прагненнями до самоосвіти й самовдосконалення, творчого й відповідального ставлення до справи [32]. Автор звертає увагу на функціональну грамотність, завдяки якій можлива професійна діяльність та всі її компоненти, які потрібно розглядати не в предметному змісті фахової підготовки, а з-поміж якостей особистості студента: відповідальність, допитливість, творчість, наполегливість, прагнення до здобуття знань, естетичне сприйняття дійсності, висока моральна культура [32].

Розгляд процесу підготовки фахівця високої кваліфікації з позиції формування компетентності дозволив П. Атаманчуку, визначати компетенцію як потенціальну міру інтелектуальних, духовно-культурних, світоглядних і креативних можливостей індивіда; компетентність – виявлення цих можливостей через дію: розв'язання проблеми (задачі, креативна діяльність, створення проекту, захист позиції тощо); та потреби мати чітке уявлення про міру прогнозованості цієї якості (компетентності). Рівень компетентності фахівця вчений трактує як ступінь досягнення мети, стимул діяльності, критерій оцінки, ціннісні здобутки особистості; характеризує контрольно-стимулювальний компонент процесу навчання, що реалізується на етапах об'єктивізації контролю та проектування наступної діяльності [7, с. 13].

Однією з передумов забезпечення компетентності (поінформованості, обізнаності, авторитетності) є формування в майбутнього фахівця навичок і вмінь самостійної роботи, розвиток креативного мислення, системний підхід до постановки й виконання завдань фахової діяльності, вибір провідного виду діяльності, розвиток творчої уяви, виховання ініціативи, уміння приймати рішення тощо [109].

Компетентнісний підхід у ЗВО розглядали у своїх працях В. Болотов [21], Е. Іванова [62], І. Зимня [61], А. Орлов [67], О. Смірнова [162], В. Рубцов [143], А. Хуторський [186], В. Шадріков [190; 191] та ін.

Багато науковців, з-поміж яких В. Байденко [12; 121], Н. Бібик [15], Є. Зеєр [59], І. Зимня [61], А. Маркова [108], О. Овчарук [65], А. Хуторський [186], досліджували компетентнісний підхід підготовці майбутніх фахівців у ЗВО.

Обґрунтування теоретичних аспектів професійної математичної підготовки віддзеркалено в працях Г. Бевза [13], М. Бурди [23], П. Єрднієва [47], Ю. Колягіна та Г. Луканкіна [66], М. Метельського [111], З. Слєпкань [157], І. Тесленко [172], М. Шкіля [196], Н. Шунди [197].

Зміни в сучасній освіті, обговорені в Міністерстві освіти і науки України в межах круглого столу [117], які представлено в п. 2.1 цієї праці, засвідчують, що значення реформи освіти із STEM-напрямку можна пояснювати різними важливими факторами, до яких належать: глобальні економічні проблеми; зміна потреб у робочій силі, що вимагає комплексних знань, умінь і навичок, які відповідають вимогам XXI ст.; попит на STEM-грамотність, потрібну для розв'язання глобальних технологічних проблем [24; 37]. Ці ідеї впливають також на реформування фізичної освіти у ЗВО [189].

У проєкті Концепції STEM-освіти в Україні STEM-компетентності розглянуто як «динамічну систему знань і вмінь, навичок і способу мислення, цінностей і особистісних якостей, які визначають здатність до інноваційної діяльності: готовність до розв'язання комплексних задач, критичне мислення, креативність, організаційні здібності, уміння працювати в команді, емоційний інтелект, оцінювання й прийняття рішень, здатність до ефективної взаємодії, уміння домовлятися, когнітивна гнучкість» [129].

Одним з пріоритетних понять STEM-освіти є математика, тому доцільно розглянути математичну компетентність, яка є ключовою в базових компетентностях в галузях науки й техніки.



У Європейській довідковій системі подано таке визначення: «Математична компетентність – це здатність застосовувати додавання, віднімання, множення, ділення та пропорції в усних і письмових обчисленнях у повсякденних ситуаціях...

Математична компетентність охоплює – різною мірою – здатність та бажання використовувати математичні способи мислення (логічне й просторове) та викладу (формули, моделі, конструкції, графіки, діаграми)» [137].

На нашу думку, дефініцію пов'язано з предметною компетентністю, що характеризує специфічні здатності, властиві конкретним діям у предметній галузі на основі вузькоспеціалізованих знань, предметних умінь, навичок та способів мислення.

Математичну компетентність І. Зіненко розглядає як якість особистості, що поєднує математичну грамотність та досвід самостійної математичної діяльності [60].

Дослідник Г. Селевко називає математичну компетентність «ключовою суперкомпетентністю» і пропонує її розглядати як «уміння працювати з числом, числовою інформацією – володіння математичними вміннями» [149].

На наш погляд, такий висновок є суперечливим відносно сутнісної властивості ключової компетентності, що належить до метапредметного змісту. Початковий курс математики має особливе наповнення порівнянно з іншими предметами.

Зазначимо, що в навчанні фізики на основі основних компонентів STEM-освіти (науки, технології, інженерії та математики) студенти формують елементи ключових компетентностей: критичне мислення, уміння складати алгоритм виконання дій, розподіляти час, використовувати висловлювання з уживанням термінології, пов'язаної з наукою, технологією, інженерією та математикою, застосовувати сучасні ІКТ навчання для виконання творчих завдань, працювати в команді.

У дослідженнях А. Тихоненко математична компетентність є ключовою, хоча проблему розглянуто на прикладах виключно предметного змісту [173].

Вітчизняні науковці розглядають математичну компетентність у системі функціональних компетентностей та передбачають компоненти інтелектуального розвитку, використання логіки, математичних знань, здібностей, системного мислення та вміння розв'язувати складні задачі, формування навичок моделювання [137]. Таке подання математичної компетентності визначає її як ключову, оскільки функціональність полягає в готовності студента застосовувати здобуті знання, уміння, навички для розв'язування широкого діапазону професійних задач у різноманітних галузях діяльності [137].

Учений С. Раков називає математичну компетентність «умінням бачити та застосовувати математику в реальному житті, розуміти зміст і метод математичного моделювання, умінням будувати математичну модель, досліджувати її методами математики, інтерпретувати отримані результати, оцінювати похибку обчислень» [137, с. 15].

За твердженням Л. Кудрявцева [73], математична компетентність – це інтегративна особистісна якість, заснована на сукупності фундаментальних математичних знань, практичних умінь і навичок, що засвідчують готовність і здатність студента здійснювати математичну діяльність [73].

PISA розглядає дефініцію «математична компетентність» як поєднання математичних знань, умінь, досвіду та здібностей студента, які забезпечують успішне розв'язання різноманітних проблем, що потребують застосування математики. Унаслідок цього слід мати на увазі математичне мислення, математичну аргументацію, постановку та розв'язання математичної проблеми, математичне моделювання, що зумовлює використання різних ІКТ, математичного апарату та комунікативного вміння [137].

З огляду на сказане можна стверджувати, що математична компетентність це:

– інтегративна властивість студента, що забезпечує готовність самостійно й відповідально застосовувати математичний інструментарій адекватно задачам професійної діяльності (Я. Стельмах [164]);

– якість студента, що поєднує математичну грамотність і досвід самостійної математичної діяльності (І. Зіненко [60]);

– володіння математичними вміннями (Г. Селевко [149]);

– інтегративна особистісна якість, заснована на сукупності фундаментальних математичних знань, практичних умінь і навичок (Л. Кудрявцев [73]).

У дослідженні Л. Романишиної виокремлено такі етапи формування професійних компетенцій: «1) мотиваційний – формування у студентів бажання працювати над вивченням матеріалу; 2) усвідомлення – визначення схеми орієнтованих дій; 3) тренувальний – виконання тренувальних вправ із поступовим ускладненням; 4) репетиторний – студент обговорює та пояснює власні думки й дії; 5) контролю дій – визначається рівень сформованості компетенцій» [141, с. 76–77].

Зміст дефініції «математична компетентність» неможливий без визначення компонентного складу цієї категорії. Зокрема Л. Низамієва [119] розглядає такі компоненти професійної математичної компетентності в навчанні фахівців економічного профілю: мотиваційно-ціннісний, що об'єднує мотиви значущості здобуття математичних знань; когнітивний, що містить засвоєння математичного апарату та потрібні якості мислення; конативний – навички цілепокладання та вміння саморегуляції діяльності [119].

У науковій розвідці С. Скворцової окреслено такі компоненти математичної компетентності:

1) професійно-діяльнісний, у якому передбачено предметну компетентність – систему інтегрованих економіко-математичних знань та готовність до їх застосування в професійній діяльності; спроможність розв'язувати професійні задачі засобами математики; інформаційну

компетентність – пошук економіко-математичної інформації, здатність систематизувати й узагальнювати;

2) комунікативний компонент визначає комунікативну компетентність – спеціальну економіко-математичну термінологію; уміння користуватися вербальними та невербальними засобами передачі математичної інформації;

3) особистісний компонент розглядає рефлексивну компетентність – прагнення до досконалості професійної діяльності засобами математики; творчу компетентність – уміння використовувати інноваційні математичні методи в професійній діяльності [155].

На думку І. Зіненко, структурними компонентами математичної компетентності є мотиваційно-ціннісний, когнітивний, операційно-технологічний та рефлексивний [60].

Синтез різних формулювань науковців сутності поняття «математична компетентність фахівця» як психолого-педагогічної категорії дозволив сформулювати дефініцію поняття математична компетентність інженера як інтегрованої якості особистості, що віддзеркалює рівень основних математичних методів, потрібних для аналізу й моделювання процесів і явищ, пошуків оптимальних рішень для підвищення ефективності виробництва й вибору найкращих способів реалізації цих рішень, опрацювання й аналізу результатів експериментів.

З огляду на сучасні тенденції розвитку вищої освіти В. Заболотний та В. Демкова [51], розглядають експериментальну компетентність, яка формується в студентів технічних спеціальностей. На їхню думку «майбутній фахівець технічного профілю компетентно реалізуватиме експериментальну діяльність тільки тоді, якщо він уміє грамотно спланувати свою діяльність, знає правила підготовки потрібного обладнання, здатний провести системні спостереження явищ, уміє комплексно вимірювати потрібні величини, знає, як сучасними методами опрацювати та інтерпретувати результати експерименту» [51, с. 51].

Зважаючи на зазначене вище і дотримуючись критеріїв оцінювання навчальних досягнень студентів з фізики технічних спеціальностей, В. Шарко виокремлює предметні компетентності [192]:

1) теоретичну (знання фізичних понять, фізичних величин, фізичних законів, принципів, постулатів, явищ, процесів);

2) експериментальну (складати план практичних дій для виконання експерименту, користуватися вимірювальними приладами, обладнанням, опрацьовувати результати дослідження, робити висновки щодо здобутих результатів);

3) задачну (знання про правила округлення значень фізичних величин; знання про те, що таке фізична задача та види фізичних задач; знання про способи розв'язування фізичних задач; знання про правила оформлення скороченого запису умови задачі та ін.);

4) дослідницьку (встановлення зв'язків між явищами навколишнього світу на основі знання законів фізики).

Аналіз наведених поглядів на поняття «математична компетентність» дозволяє дійти висновку, що сформульована узагальнена дефініція математичної компетентності визначає її як одну із сутнісних характеристик студента, яка виявляється в професійній діяльності, як здатність самостійно, вільно володіти математичним інструментарієм, здатність до моделювання технологічного процесу, уміння знаходити нестандартні рішення в нових ситуаціях, уміння спрогнозувати й оцінити характер і хід змін у галузі, у якій працює фахівець. Розв'язання поставлених у дослідженні завдань вимагає вивчення компонентів «математичної компетентності». Вивчення особливостей формування математичної компетентності засвідчує, що цей процес проходить у декілька етапів, кожен з яких характеризується зростанням рівня узагальненості знань, умінь, їх продуктивності та творчості.

Аналіз зарубіжних та вітчизняних вимог, наведених в п. 2.1, до розвитку STEM-освіти доводить, що з-поміж загальних компетентностей студентів у процесі навчання фізики актуалізуються STEM-компетентності:

– *використання елементів інженерії* – уміти використовувати знання практичного застосування елементів з технічних наук і технологій (принципів, методів, обладнання для проектування різних моделей);

– *володіння ІТ-технологіями (Information Technology) та електронікою*, що полягає в умінні розбиратися в мікросхемах, платах, процесорах, а також застосовувати електронне та комп'ютерне обладнання (обов'язкові навички програмування) під час навчання фізики для подальшого розвитку студента в контексті STEM-технологій;

– *володіння іноземними мовами (англійською)*, що передбачає вміння застосовувати основний понятійний апарат, лексику базових та професійно зорієнтованих дисциплін з урахуванням інтеграційного, міждисциплінарного, компетентісного, системного та професійно зорієнтованого підходів;

– *знання математики* визначають уміння застосовувати математичний апарат (арифметики, алгебри, геометрії, числення, статистики) у навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі впровадження STEM-технологій.

В умовах нового соціально-гуманістичного упорядкування кінця ХХ–початку ХХІ ст. ми дійшли висновку, що STEM-компетентності є пріоритетним складником формування професійної компетентності фахівця, засобом реалізації технічної та інженерної освіти. Знання фізики, математики, інженерних дисциплін дозволяє студентам гідно представляти STEM-проекти на світовій арені, виборювати гранти, отримувати фінансування своїх ідей, брати участь у міжнародних проєктах, у яких залучено декілька країн, спілкуватися з однолітками, науковцями з усього світу через освітні платформи, а також отримувати знання й бути поінформованим з першоджерел та інноваційних STEM-центрів.

Отже, у процесі аналізу психолого-педагогічної, методичної та спеціальної літератури [14; 17; 30; 34; 44; 69; 72] ми окреслили поняття середовища, освітнього середовища, навчального середовища та виокремили освітньо-наукове STEM-середовище, визначили їх місце, основні елементи й

структуру, установили основні психолого-педагогічні чинники освітньо-наукового STEM-середовища для підвищення якості формування STEM-компетентностей студентів з урахуванням сучасних тенденцій розвитку фізичної освіти.

У нашому дослідженні модель освітньо-наукового STEM-середовища є як чинником формування компетентного фахівця технічного ЗВО, що володіє відповідними STEM-компетентностями. У цьому середовищі *STEM-компетентність* вважаємо інтегративною характеристикою особистості, що віддзеркалює готовність студента мобілізувати здобуті знання, уміння й навички із складників STEM-освіти (науки, технології, інженерії, математики) для ефективного розв'язання завдань, які виникають в процесі освітньої діяльності.

Поняття моделі освітньо-наукового STEM-середовища є порівняно новим для методики навчання фізики та створює умови для розвитку нового напрямку дослідження в педагогіці.

#### **2.4. Реалізація законів інноваційних процесів в організації навчання з фізики в технічних закладах вищої освіти засобами STEM-технологій**

Аналіз сучасних тенденцій розвитку інновацій засвідчує [33; 76; 127; 129; 142; 188; 189] специфічність розгляду напрямку STEM-освіти, який зорієнтовано на дослідження технологічних та педагогічних процесів у системі освіти загалом та фізичної освіти зокрема.

STEM-інновація в методиці навчання фізики передбачає модифікацію цілей, змісту, форм і методів навчання та виховання студентів через реалізацію двох проблем: вивчення, узагальнення та поширення передового педагогічного досвіду; упровадження в освітній процес досягнень психолого-педагогічної науки.

Згідно із законами інноваційних процесів [58; 134; 194] (див. п. 1.1 та п. 1.2) змінюється організація спільної діяльності студентів:

1. Закон необоротної дестабілізації педагогічного середовища зумовлює необоротні унесені інновацією зміни в НС, яке існує, унаслідок чого виникає нове середовище на базі нових та асимільованих старих елементів.

2. Закон обов'язкової реалізації інноваційного процесу достатньою мірою обґрунтували А. Макаренко [107], В. Сухомлинський [169], С. Шацький [193] та ін. Цей закон є результатом розвитку методики навчання фізики завдяки впровадженню в освітній процес технічних ЗВО засад STEM-технологій.

3. Закон стереотипізації педагогічних інновацій полягає в тому, що будь-яка інновація з часом перетворюється на традиційну форму, набуваючи статусу стереотипної [46].

Закони інноваційних процесів зумовлюють також певні етапи функціонування відповідного рівня розвитку методики навчання фізики, який залежить від ступеня розробленості та впровадження нових засобів навчання фізики.

Виокремлення методів навчання за зовнішніми виявами їхніх форм, тобто за джерелами інформації, яку мають засвоювати студенти, залишається найбільш прийнятним і зрозумілим.

Будь-яке навчання ґрунтується на здобутті інформації, тому традиційно методи навчання поділяють на три групи: словесні, наочні, практичні (А. Алексюк [2], Ю. Бабанський [11], В. Онищук [123]).

Професор А. Алексюк [2] зазначає, що слід виокремлювати такі методи навчання: 1) словесно-слухова форма навчання; 2) різні форми застосування наочності; 3) практичні роботи студентів; 4) вияви педагогічної майстерності; 5) керівництво пізнавальною діяльністю студентів і контроль та оцінювання їхньої навчальної праці.

Основою визначення методів навчання Е. Галант, С. Петровський вважають джерела передачі й особливості сприйняття інформації: словесні, наочні та практичні.



У процесі розгляду визначених трьох груп методів І. Лернер та М. Скаткін виокремили компоненти їхньої пізнавальної діяльності: 1) пояснювально-ілюстративний, 2) репродуктивний, 3) проблемний виклад, 4) частково-пошуковий, 5) дослідницький [98; 99].

Бінарної системи методів навчання дотримуються А. Алексюк [2], Н. Верзилін [27], Н. Мочалова [114], Б. Райков [136].

Класичні групи методів скорегував М. Махмутов [109] класифікував їх так: 1) інформаційно-повідомлювальний; 2) пояснювальний; 3) інструктивно-практичний; 4) пояснювально-спонукальний методи. Також він виокремив методи учіння: 1) виконавський; 2) репродуктивний; 3) продуктивно-практичний; 4) частково-пошуковий; 5) пошуковий методи навчання.

На думку А. Кузьмінського, найбільш прийнятною і зрозумілою є традиційна класифікація методів навчання, яка, з одного боку, ґрунтується на зовнішніх і внутрішніх чинниках процесу пізнання об'єктивної реальності, а з іншого – має в основі логічно вмотивовані підходи: за джерелами отримання знань, особливостями логіко-мисленнєвої діяльності, рівнем розумової активності [92].

Ми вважаємо найбільш вдалою класифікацію методів навчання за дидактичною метою (М. Данилова, Б. Єсіпова [43]).

У працях Ю. Бабанського [11] методи навчання об'єднано в три групи за такими критеріями:

1) організація та реалізація навчально-пізнавальної діяльності (наприклад, пояснення, інструктаж, розповідь, бесіда, робота з підручником, ілюстрування, самостійне спостереження, вправи, лабораторні, практичні й дослідні роботи);

2) стимулювання й мотивація навчально-пізнавальної діяльності (навчальна дискусія, пізнавальні ігри, створення ситуації інтересу й новизни під час викладання, опора на життєвий досвід студента, стимулювання обов'язку й відповідальності в навчанні);

3) контроль і самоконтроль навчально-пізнавальної діяльності (усний, письмовий, тестовий, графічний, програмований, самоконтроль і самооцінка в навчанні) [20].

Розглянута класифікація Ю. Бабанського засвідчує, що ці методи є недосконалими, оскільки на практиці методи навчання застосовують не ізольовано, а у взаємозв'язку з іншими методами і прийомами.

На підставі означених законів інновації в межах груп класичних методів навчання (наочні, практичні, словесні) М. Фіцула розглядає поняття «методу навчання» як спосіб упорядкованої, взаємопов'язаної діяльності викладачів та суб'єктів навчання, спрямованої на розв'язання поставленої мети в процесі навчання [179].

Поняття «методи навчання» (гр. *methodos* – шлях пізнання, спосіб знаходження істини) В. Гладуш та Г. Лисенко [36] визначають як впорядковані способи взаємопов'язаної, цілеспрямованої діяльності педагога й студентів, спрямованої на ефективне розв'язання навчально-виховних завдань.

До провідних методів досліджень технологічних процесів під час вивчення фізики на основі STEM-технологій належать:

1) скрайбінг – метод навчання, яким студенти в процесі візуалізації переходять від опису складних образів до простих унаслідок вивчення інформації. Види скрайбінгу наведено на рис. 2.4;

2) коучинг – метод навчання, який сприяє професійному розвитку студентів на основі когнітивної психології та реалізації особистісного й творчого потенціалу суб'єктів навчання для одержання максимально можливого ефективного результату;

3) гейміфікацію – метод навчання, за який передбачає використання ігор для залучення користувачів до розв'язання поставлених завдань;

4) майндмеппінг (ментальні карти) – метод навчання, що сприяє організації процесу творчого мислення суб'єктів навчання з використанням схем, карт, діаграм тощо.

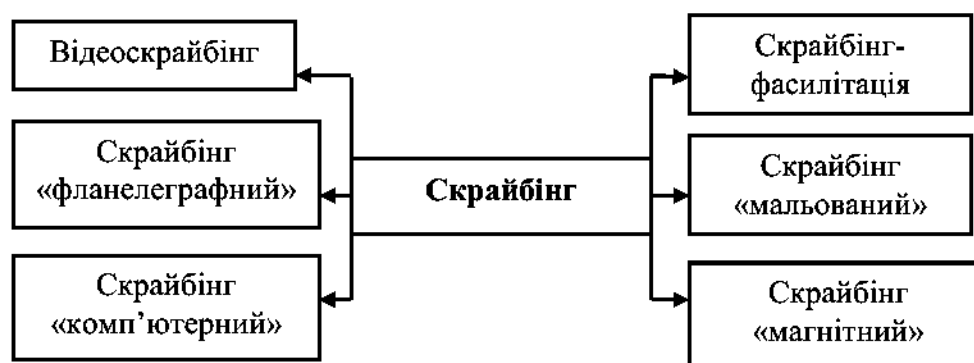


Рис. 2.4. Види скрайбінгу

5) скетчноутінг – метод навчання, що допомагає студентам швидко та коротко фіксувати почуті ідеї, а потім їх презентувати.

Прийоми та засоби навчальної діяльності в технічних ЗВО дозволяють реалізувати ці методи.

*Прийоми навчання* – це своєрідний складник методу, конкретні дії педагога й студентів, спрямовані на реалізацію вимог тих чи тих методів [36]; *прийоми навчання* – окремі операції, розумові чи практичні дії викладача або студентів, які розвивають чи доповнюють спосіб засвоєння матеріалу, що виражає цей метод [154, с. 193].

Прийоми навчання розкривають роботу викладача та студентів, індивідуалізують їхню діяльність. Під час нашого дослідження ми виокремили прийоми STEM-освіти, які доцільно використовувати в освітньому процесі технічних ЗВО. Їх застосування сприятиме:

- формуванню критичного мислення (асоціація, мозковий штурм, кластер, проблемні запитання тощо);
- розвитку конструкторської діяльності (розв’язування експериментально-дослідних та конструкторських задач, використання 3D-моделей для збору приладів, установок тощо);
- формуванню креативності в суб’єктів навчання (розв’язання творчих задач, постановка проблемного експерименту);
- залученню студентів до проектної діяльності (використання міжпредметних зв’язків, створення ситуацій, наближених до практики).

*Засоби навчання* – це різноманітне навчальне обладнання для організації пізнавальної діяльності (книги, письмове приладдя, лабораторне обладнання, технічні засоби та інше) [8; 36]. Засоби навчання є одним з компонентів методики навчання фізики.

У науковій літературі трапляється низка термінів, які віддзеркалюють зміст аналогічний до поняття «засіб навчання». Його сутність можна розкрити, спираючись на дослідження В. Бикова [17], С. Величка [26], Б. Гершунського [32], А. Гуржія [39] та Ю. Жука [39], В. Волинського [40].

В «Енциклопедії освіти» Ю. Жук називає засобами навчання будь-які засоби, прилади, обладнання та устаткування, що застосовуються для передавання інформації в процесі навчання.

З-поміж засобів навчання виокремлюють технічні засоби навчання (ТЗН), які поділяють (С. Смирнов [162]) на технічні засоби подання повідомлення (слухові – аудіозасоби, зорові – візуальні засоби, аудіовізуальні – зорослухові засоби), технічні засоби здійснення контролю, технічні засоби керування навчанням. Сучасні комп'ютерні аудиторії, наявність інтерактивної (сенсорної) дошки, мультимедійного проектора й відповідних ППЗ дозволяє повністю виконувати функції традиційних ТЗН. Вони дають змогу відтворювати статичні й динамічні візуальні матеріали, поєднувати водночас впливи на студентів різними формами представлення повідомлень.

До засобів навчання нового покоління належать електронні засоби навчального призначення, які зберігають повідомлення на цифрових або аналогових носіях даних і відтворюють елементи інформації на електронному обладнанні.

Електронні засоби навчального призначення поділяють на електронні засоби загальнодидактичної (ППЗ, бібліотека електронних наочностей, електронні задачники, мультимедійні курси, програмно-методичні комплекси, навчальне програмне забезпечення для викладання й вивчення предметів, дистанційні курси, інтегровані електронні комплекси, електронні

навчальні посібники) та практичної (віртуальні фізичні, хімічні, біологічні лабораторії) спрямованості.

Засоби навчання є компонентом освітнього середовища. Наразі відсутня єдина позиція щодо тлумачення терміна (НС, інформаційно-навчальне середовище освітнього закладу, інформаційно-освітнє середовище тощо). Зміст його звужують і розширюють залежно від контексту вживання. Тож обмежимося розумінням терміна «НС» за тлумаченням Ю. Жука. У дефініції цього науковця НС – це фізичний простір, у якому відбувається навчальний процес [48; 49].

Учені І. Василяшко [24], Н. Гончарова [34; 35], О. Патрикеева [126; 127; 128], співробітники відділу «STEM-освіти» ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти», увели поняття «засоби STEM-навчання». Це сукупність обладнання, ідей, явищ і способів дій, які забезпечують удосконалення методики навчання фізики завдяки реалізації дослідно-експериментальної, конструкторської, винахідницької діяльності в освітньому процесі [57].

STEM-засоби навчання досить різноманітні, їхній склад залежить від рівня розвитку науки, техніки та інформаційних технологій [57] (таблиця 2.5). Одним із засобів STEM-освіти є цифрові лабораторії, що дозволяють отримати уявлення про суміжні освітні галузі, а також про розвиток науково-дослідної діяльності технічних ЗВО. Цифрова лабораторія допомагає отримати інформацію про такі напрями, як інформаційні технології, сучасне обладнання дослідної лабораторії, математичні функції та графіки, статистику, методику проведення досліджень [102; 103].

Найбільш поширеними цифровими лабораторіями є такі:

*Pasco* – американська компанія, що спеціалізується на виготовленні датчиків, цифрових лабораторій та програмного забезпечення для проведення експериментів з біології, фізики, хімії, екології [207].

Ця компанія розробила модулі для впровадження STEM-технологій в освітній процес закладів освіти, а саме:

1. *STEM Module: Air Bag* – спрямовує студентів до інженерного процесу для завершення виготовлення повітряної подушки [207].

Таблиця 2.5

<b>Види STEM-засобів навчання</b>		
<b>Навчальний комп'ютерний комплекс</b>		
1	2	3
Персональний комп'ютер учителя або ноутбук з програмним забезпеченням (операційна система, пакет програмних засобів офісного призначення, електронні підручники).	Wi-fi роутер.	Персональний комп'ютер студента з програмним забезпеченням (операційна система, пакет програмних засобів офісного призначення, електронні підручники).
<b>Цифровий вимірювальний комп'ютерний комплекс</b>		
Методичне забезпечення.	Аналогово-цифровий перетворювач (датчики: тиску, освітленості, вологості, ультрафіолетового випромінювання, температури навколишнього середовища, частоти серцевих скорочень (зовнішній)), програмне забезпечення, набір кабелів для підключення блоку та датчиків.	Датчики: напруги ( $\pm 25$ V), струму ( $\pm 2.5$ A), температури (термопара) (0 до 1,200 °C), магнітного поля, руху (відстані), сили, інтелектуальний датчик-шків, рівня звукового тиску, прискорення, pH, провідності, вуглекислого газу, кисню, дихання, ЕКГ, артеріального тиску, поверхневої температури. Набір для демонстрації «Механіка» (динамічна система). Комплект кабелів.
<b>Комплекти для виконання лабораторних робіт</b>		
<b>Механіка</b>	<b>Термодинаміка. Електромагнетизм</b>	<b>Хвилі, оптика, квантова фізика</b>
Atwood's Machine; Projectile Motion; Newton's Laws; Hooke's Law and Spring Potential; Centripetal Force on a Pendulum; Centripetal Force; Sliding Friction; Impulse; Conservation of Momentum; Ballistic Pendulum; Conservation of Energy II; Work-Energy Theorem; Rotational.	Specific Heat; Electrical Equivalent of Heat; Frictional Energy Transfer; Ideal Gas Law; Cavity Radiation; Blackbody Radiation; Heat Engine Cycles; Ratio of Specific Heat; Electrostatic Charge; Coulomb's Law; Capacitance; Resistivity; Ohm's Law; RC Circuit; LRC Circuit; Kirchhoff's Rules; Earth's Magnetic Field;	Vibrating Strings; Polarization; Brewster's Angle; Interference and Diffraction of Light; Light Intensity vs Distance; Atomic Spectra; Photoelectric Effect.

1	2	3
Inertia; Conservation of Angular Momentum	Magnetic Fields of Coils; Faraday's Law of Induction.	
<b>Комплекти для моделювання</b>		
Physical Pendulum; Universal Gravitation Constant; Bridge Vibrations; Variable-g Pendulum; Large Amplitude Pendulum; Torsional Pendulum; Driven Damped Harmonic Oscillations; Chaos Experiment.	Comprehensive 850 Waves, Optics and Thermodynamics Bundle	Comprehensive 850 Electromagnetism Bundle
Comprehensive 850 Mechanics Bundle	Comprehensive 850 Waves, Optics and Thermodynamics Bundle	Comprehensive 850 Electromagnetism Bundle
Structures System	Essential Physics Modules	

Студенти, вивчаючи цей модуль, розглядають поняття тиску, об'єму та швидкість реакції. Після виконання конструктивних завдань конструкції подушки безпеки та встановлення датчика тиску вони визначають стехіометричне співвідношення речовин-реагентів для отримання правильної кількості тиску, щоб роздувати повітряну подушку в найкоротший термін.

2. *STEM Module: Biosphere.* У цьому модулі студенти створюють моделі екосистеми, яка складається з фізичних та біологічних компонентів їх вибору [207] (рис. 2.5).

3. *STEM Module: з допомогою Egg Drop* студенти мають змогу виконати технічний проект, що полягає в розробленні та побудові пристрою, який захищає сире яйце від розтріскування, коли воно падає з висоти 6 метрів [232].

4. *STEM Module: Collisions* – дозволяє студентам спроектувати модельний автомобільний бампер, який поглинає найбільшу силу під час удару, при цьому зберігаючи найменший слід (рис. 2.5) [233].

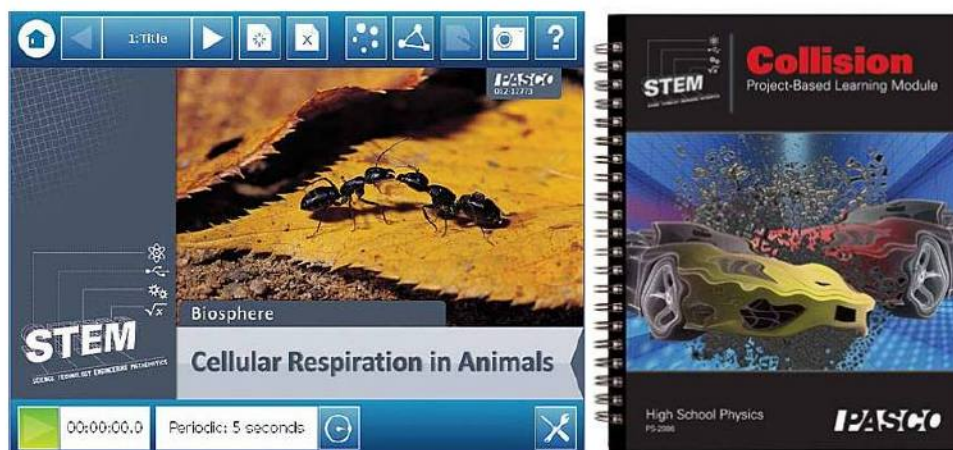


Рис. 2.5. Модулі цифрової STEM-лабораторії [207]

Актуальним та цікавим модулем цифрової лабораторії Pasco є «*STEM Essential Фізика*» [215]. Він складається з таких частин: 1) будівництво моста; 2) рух і робототехніка; 3) коливання, хвилі і звук; 4) світло, колір і оптика.

*Einstein*<sup>TM</sup> [212] (виробник – Ізраїльська компанія Фур'є) – бездротова лабораторія, яка дозволяє здійснювати експерименти з природничих наук (біології, хімії, фізики). Чотири напрями розвитку інноваційної освіти: компактні портативні пристрої для реєстрації даних, програмне забезпечення для аналізу даних, понад 60 датчиків та педагогічні навчальні матеріали.

«*PHYWE*» [217] містить обладнання для навчання STEM: сучасні комплекти з фізики, технологій, інженерії та математики в категоріях «Механіка та статика», «3D принтери», «Будівництво та виробничі процеси», «Робототехніка», «Енергія», «Програмування та математика».

Важливим у наукових пропозиціях PHYWE є набори TESS для експериментів, які легко об'єднуються з цифровими сенсорами Cobra SMARTsense, а саме:

1. Комплект «*Mechanics 2.0*» (рис. 2.6) [229] уводить в основи механіки та будівельної техніки. Цей набір ідеально підходить для майбутніх інженерів-механіків, техніків та інженерів, також містить 30 різних моделей, що відповідають основним питанням механіки й конструкторської інженерії. Експерименти, які можна виконувати з цим набором, демонструють механічну й конструкторську інженерію та вплив сил на тіла та об'єкти. Цей комплект полегшує вступ до викладання STEM для викладача та ґрунтується



на міждисциплінарному підході [229, [http://yakistosviti.com.ua/userfiles/websten-school-2019/19 liutogo/vasilashko/Dodatok\\_3\\_zbirnik\\_2018\\_red.pdf](http://yakistosviti.com.ua/userfiles/websten-school-2019/19%20liutogo/vasilashko/Dodatok_3_zbirnik_2018_red.pdf), с. 40–43].

2. Комплект «3D принтери». Наприклад, *Snapmaker 3-in-1* (рис. 2.7), здійснює 3D-друк, має лазер та фрезерний верстат, який використовують для оброблення різних матеріалів, з-поміж яких дерево та акрил, а також має модуль лазерного гравіювання.



Рис. 2.6. Комплект «Mechanics 2.0» [229]



Рис. 2.7. Комплект «3D принтери» [210]

3. Комплект «*STEM Engineering, fischertechnik*» (рис. 2.8) – орієнтований на вивчення фізики, електроніки, енергії та електроенергії відповідно до стандартів освіти International Society for Technology in Education (ISTE) та International Technology and Engineering Educators Assosiation (ITEEA), а також дозволяє студентам вивчити й зрозуміти важливі аспекти науки, технології та інженерії. Основні теми, які пропонують для засвоєння з використанням цього комплекту: робототехніка, кібернетика, мехатроніка, автоматизація, механічні системи, системи управління та сенсорні системи, двигуни. Набір складається з 890 деталей, розділених на 2 сортувальних ящики, та інструкцій з монтажу для 22 моделей

[[http://yakistosviti.com.ua/userfiles/web-sten-school-2019/19-liutogo/vasilashko/Dodatok\\_3\\_zbirnik\\_2018\\_red.pdf](http://yakistosviti.com.ua/userfiles/web-sten-school-2019/19-liutogo/vasilashko/Dodatok_3_zbirnik_2018_red.pdf), с. 40–43].



Рис. 2.8. Комплект «STEM Engineering, fischertechnik» [229]



Рис. 2.9. Комплект «TI-Innovator Hub» [237]

4. Комплект «Робототехніка». TI-Innovator Hub (рис. 2.9) транслює команди з графічних калькуляторів студентів ТІ для керування роботом Rover. Його також можна використовувати окремо від Rover, щоб допомогати студентам розробляти основні навички кодування та дизайну, а також будувати STEM та інженерні проєкти. Містить TI LaunchPad Board [237].

Переваги цього комплекту: кодування мовою програмування Basic, додаткові набори, доступні для більшої функціональності вводу/виводу та вивчення принципів електронної техніки.

5. Комплект *TESS Advanced Applied Sciences Basic Set* – дозволяє виконати 17 експериментів з таких тем: конверсія енергії (5 експериментів); тепла та сонячна енергія (7 експериментів); навколишнє тепло (5 експериментів).

6. Комплект «*STEM-Set electricty, electronics, energy, power*». STEM-Set зосереджено на електроніці, енергії та електроенергії відповідно до стандартів ISTE та ITEEA. У набір подано такі теми: розкриття поняття енергії, системи перетворення енергії, перетворення та зберігання енергетичних механізмів, людина і машина, вступ до датчиків робототехніки, системи цифрового зв'язку та програмування.

7. Комплект «*DOBOT Robotic arm (3D print, gripping, writing, suction)*» [211] – багатофункціональний робочий стіл, на якому розташовано руку робота. Інстальована різними кінцевими інструментами, рука робота може реалізувати такі функції промислового типу, як 3D-друк, лазерне гравіювання, написання й малювання. Комплект підтримує вторинні розробки на 13 розширюваних інтерфейсах і більше 20 мовах програмування, що стимулює творчість студентів до інженерного та технічного навчання.

Першорядне завдання STEM-засобів навчання полягає в забезпеченні навчальної мети із залученням та активізацією різноманітних пізнавальних можливостей студента [57]. Ці засоби виконують такі функції:

- посередництво між студентом, природою та виробництвом, коли їх безпосереднє вивчення неможливе чи викликає труднощі (моделі, схеми, колекції);
- формування в студентів умінь та навичок роботи з основними елементами STEM-освіти;
- поглиблення відомостей, які дає викладач (наочний матеріал, таблиці);
- STEM-засоби є безпосередніми об'єктами вивчення та дослідження, наприклад, хімічних речовин, фізичних явищ тощо;
- символічні засоби (графіки, діаграми та ін.).

На підставі узагальнення характеристик наведених навчальних комплектів у урахуванням технологій STEM-освіти визначено *основні особливості* їх використання:

1) застосування технічних засобів навчання (ТЗН) у поєднанні з комп'ютерними технологіями дає змогу виконувати навчально-методичну роботу зі студентами більш насичено, творчо та інтенсивно внаслідок вивчення елементів STEM-освіти (науки, інженерії, технології та математики) та є важливим напрямом підвищення ефективності пізнавально-пошукового процесу з фізики;

2) підвищення інтенсифікації освітньої діяльності забезпечують два основні напрями: подальше якісне вдосконалення методик викладання природничо-математичних дисциплін у ЗВО; стимулювання навчальної діяльності студентів до вивчення технічних та інженерних дисциплін, уведення елементів наукового дослідництва, посилення самостійної творчої роботи з фізики на основі STEM-технологій;

3) швидкому підвищенню ефективності методів навчання сприяє широке застосування STEM-технологій на етапі самостійної підготовки студентів на лекціях, практичних та лабораторних заняттях;

4) на різних етапах формування фізичних знань у технічних ЗВО передбачено зростання рівня самостійної пізнавально-пошукової діяльності студентів, для забезпечення якої можна використати створені комплекти STEM-обладнання, де всі елементи і складники узгоджені між собою, відповідають ергономічним вимогам, дозволяють отримати найкращі результати і досягти відповідного рівня фізичної освіти, усвідомленості ролі особистості в ньому;

5) зорієнтованість на розроблення STEM-засобів навчання фізики багатофункціонального призначення, яке спрямовано на реалізацію внутрішньо-предметних і міжпредметних зв'язків та інтеграцію змісту дисциплін природничо-математичного циклу;

6) передбачення можливості формування в студентів умінь користуватися сучасними STEM-засобами та ІКТ під час навчання фізики з орієнтуванням на подальше використання інформаційних засобів у навчальній діяльності й у майбутній професійній галузі;

7) використання в навчальному експерименті електричних вимірювань неелектричних фізичних величин на основі STEM-технологій;

8) постійне запровадження в освітній процес з фізики STEM-комплектів та саморобного обладнання для розвитку системи фізичного експерименту.

Аналіз наукової літератури та науково-методичних публікацій [31; 39; 40] дозволяє дійти висновку, що використання навчального експерименту та STEM-обладнання з фізики є доцільним, якщо вони відповідають основним вимогам педагогічної ергономіки (дидактичним, методичним, технічним, економічним, психофізіологічним та естетичним).

Специфічними дидактичними вимогами вважаємо такі: 1) адаптація до індивідуальних можливостей студента; 2) інтерактивність навчання; 3) реалізація можливостей візуалізації навчальної інформації з використанням комп'ютерних технологій; 4) розвиток інтелектуального потенціалу студента; 5) системність і структурно-функціональна зв'язаність представлення навчального матеріалу; 6) забезпечення повноти та неперервності дидактичного циклу навчання.

З дидактичними вимогами пов'язані методичні – сукупність методів, прийомів, засобів навчання, які разом із своєрідністю й особливостями конкретного навчального предмета віддзеркалюють специфіку відповідної науки, особливості методів дослідження її закономірностей, можливостей реалізації сучасних методів оброблення інформації.

Засоби навчання мають відповідати таким *методичним* вимогам:

1) взаємодія і взаємозв'язок понятійних, образних і дієвих компонентів мислення з використанням STEM-технологій у процесі навчання фізики;

2) надання змоги студентові виконувати різні за складністю тренувальні контролювальні завдання;

3) віддзеркалення системи термінів дисциплін природничо-математичного напрямку в ієрархічній структурі високого порядку з огляду на STEM-освіту.

*Технічні вимоги* до навчального фізичного обладнання та засобів наочності передбачають постійну готовність засобів експериментування, наочності та навчального обладнання до використання в освітньому процесі; зручність збереження й транспортування в кабінеті фізики; безпечність у роботі; зручність використання під час різних освітніх заходів та організаційних форм навчання; забезпечення ефективності в освітньому процесі [31].

*Естетичні вимоги* полягають у тому, що навчальне обладнання, прилади та STEM-засоби наочності повинні мати привабливий вигляд; урахувати вибір матеріалу, з якого їх виготовляють; гармонійно поєднувати об'єкт пізнання та засіб його унаочнення (схеми, моделі, прилади, установки) [31].

*Економічні вимоги* передбачають конкретне визначення переліку навчального STEM-обладнання (комплектів) та засобів наочності; універсальність особливо під час їх використання в освітньому процесі; визначення термінів гарантійного експлуатування та високий коефіцієнт використання [31].

*Ергономічні вимоги:* вибір робочої зони викладача, розміри, колір, розташування елементів установки; оптимальний об'єм нової інформації; простота збирання й налагодження установки, вимірювання складниками; читабельність установки; створення ефектів, комфорту; дотримання правил безпеки й норм охорони праці [31].

Зазначені вимоги сприятимуть подальшому впровадженню STEM-освіти на сучасному етапі розвитку фізичної освіти, які потребують розв'язання низки проблем. Їх можна класифікувати за такими напрямками:

- 1) застосування 3D-принтерів як засобу навчання фізики;
- 2) використання електроніки у фізичному обладнанні;
- 3) конструювання нових приладів й установок;
- 4) введення елементів робототехніки в освітній процес технічних ЗВО;
- 5) використання цифрового обладнання.



Розглянемо приклади реалізації складників STEM-освіти в навчанні фізики в технічних ЗВО.

*Приклад 1.* Розкрити суть системи первинної інформації, яку використовують для вимірювання різних сигналів та параметрів, що характеризують політ і стан повітряного корабля (спостерігаються науковий, інженерний, технічний та математичний складники STEM-освіти). Ці системи спеціалізуються на вимірюванні сигналів певної фізичної величини.

Розглянемо сигнал, який впливає на відповідні датчики повітряного корабля. Датчики перетворюють електричний сигнал на цифровий. Виміряне значення фізичної величини передається цифровим словом до модулів авіоніки (*інженерний складник*).

Для вияву основних елементів STEM-освіти потрібно розглянути систему первинної інформації, до якої належать: система повітряних сигналів, інерціальні системи відліку, прилади вимірювання параметрів магнітного поля землі, датчики перетворення інформації.

Проаналізуємо співвідношення фізики та STEM-дисциплін у процесі вивчення системи повітряних сигналів, засвоєння яких передбачено в професійно зорієнтованих дисциплінах.

Для цього студентам рекомендуємо розповісти про систему повітряних сигналів, яка оцінює параметри польоту повітряного корабля завдяки вимірюванню параметрів навколишнього середовища – повітря.

Основними параметрами навколишнього середовища (повітря) є: статичний та динамічний тиск; швидкість зміни тиску; температура навколишнього середовища; напрям руху повітря. Ці фізичні дефініції вивчають студенти перших курсів напрямів підготовки «Аварійне обслуговування та безпека на авіаційному транспорті», «Обслуговування повітряного руху», «Організаційне забезпечення та управління авіаційним транспортом» у технічних ЗВО.

На підставі вимірянних значень студенти оцінюють такі основні параметри: абсолютну висоту польоту; приладову швидкість; вертикальну

швидкість; число Маха; температуру повітря; істинну швидкість; кути атаки та ковзання (*розглядається науковий складник STEM-освіти*).

Одним з важливих параметрів навколишнього середовища є тиск повітря зовні повітряного корабля. Розрізняють динамічний, статичний та повний тиск повітря. Ці поняття розглядаємо на заняттях з фізики та вказуємо на їхній взаємозв'язок з темами та розділами професійно зорієнтованих дисциплін.

*Динамічний тиск* – це тиск, зумовлений рухом літака в повітрі. Використовують для вимірювання швидкості руху повітряного корабля за приладом.

*Статичний тиск* – тиск повітря навколо літака на певній висоті. Використовують для вимірювання абсолютної висоти та швидкості польоту.

Повний тиск складається із статичного та динамічного тиску. Вимірювання параметрів тиску є досить важливими, оскільки на їхній основі обчислюють висоту польоту та швидкість літака (рис. 2.10).

Відповідно до цього використовують спеціальну систему отворів на корпусі повітряного корабля для забору повітря та групу датчиків, які з'єднано між собою системою повітропроводів (*розглядаються технології STEM-освіти*).

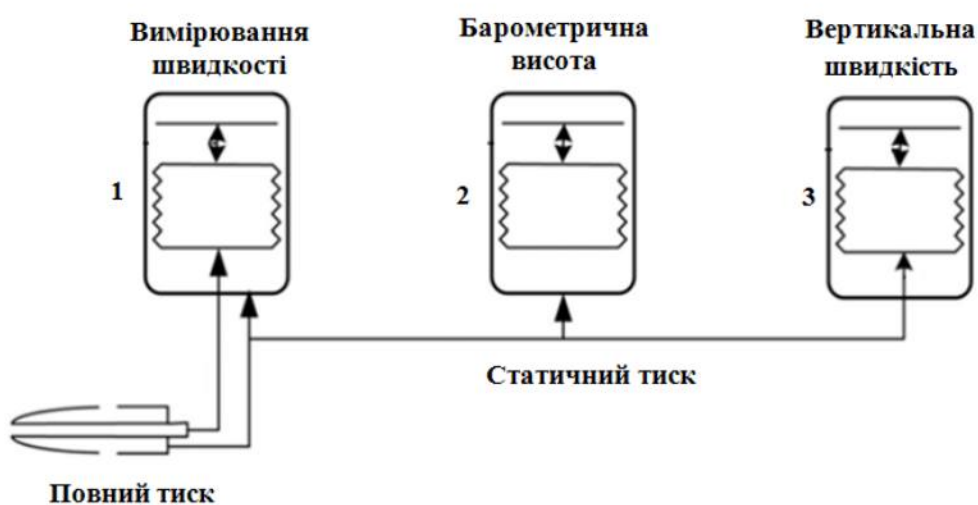


Рис. 2.10. Використання тиску для вимірювання параметрів польоту:

1 – деформація, пропорційна різниці повного та статичного тисків;



2 – деформація, пропорційна статичному тиску; 3 – деформація, пропорційна різниці теперішнього та минулого тисків [181]

Повний тиск створюється трубками Піто (рис. 2.11.), розміщеними назовні повітряного корабля та винесеними від корпусу на певну відстань для зменшення впливу аеродинамічних похибок на вимірювання навігаційних параметрів, пов'язаних з тиском повітря. Приймачі повітря дуже чутливі до наявності льоду, тому в їхній конструкції передбачено нагрівальний елемент.

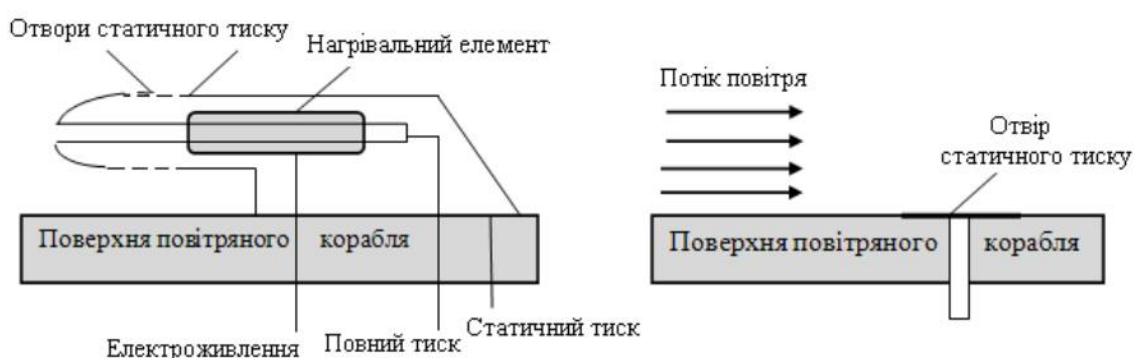


Рис. 2.11. Приймачі повітря [181]

Для побудови датчиків вимірювання тиску газів використовують різні методи: манометричний, п'єзоелектричний, п'єзорезистивний, тензометричний, ємнісний, індуктивний, резонансний, іонізаційний.

Одним з перевірених методів для вимірювання тиску є манометричний, що ґрунтується на вимірюванні зміни розміру анероїдної коробки, пропорційної до зміни тиску. Такий принцип побудови властивий більшості механічних барометричних висотомірів, які виконують функцію резервних приладів. Вимірювальному обладнанню такого класу властиві суттєві похибки вимірювання висоти, що становлять від  $\pm 3$  до  $\pm 1\%$  вимірюваного значення. Під час вивчення зі студентами будови та принципу дії анероїдної коробки виокремлюємо інженерний і технічний складник STEM-освіти.

У процесі вивчення студентами поняття тиску, його різновидів, а також практичного використання для вимірювання параметрів польоту повітряного корабля ми розглянули міждисциплінарні зв'язки таких STEM-дисциплін:

фізики (розгляд теми «Модель ідеального газу»); авіаційної метрології (вивчення теми «Атмосфера та її будова», у якій розглядають поняття атмосферного тиску, методи та одиниці вимірювання. Зміна тиску з висотою. Барометричні формули. Баричний ступінь. Зображення поля тиску на рівні моря та на висотах. Інформація про атмосферний тиск, що використовується під час метеорологічного забезпечення польотів); вищої математики (вивчення поняття похідної, інтегралу, диференціалу функції).

Вивчення сучасних приладів та методів вимірювання різних видів тиску на повітряних кораблях знайомлять студентів технічних спеціальностей із сучасними приладами, їхніми технічними характеристиками, що розкриває сутність засвоєння технічного та інженерного складників STEM-освіти.

*Приклад 2. Визначення абсолютної висоти польоту.* Барометричний висотомір вимірює абсолютну та відносну висоту польоту на основі інформації про статичний тиск повітря.

Принцип його дії ґрунтується на функціональній залежності тиску повітря від висоти («барометричній залежності») [181]:

$$p(h) = p_0 e^{-g_0 h \frac{\rho_0}{p_0}}, \quad (2.1)$$

де  $p(h)$  – це тиск повітря на висоті  $h$  над рівнем моря;  $g_0$  – середнє значення гравітаційного прискорення;  $p_0$  і  $\rho_0$  – тиск повітря і його густина на рівні моря.

Від’ємний знак в експоненті засвідчує той факт, що атмосферний тиск зі збільшенням висоти зменшується внаслідок зменшення висоти стовпа повітря. Висоту польоту можна визначити за формулами:

$$h = \frac{T_0}{\tau_a} \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_0} \right) \right]^{\frac{\tau_a R_{i\ddot{o}}}{g_0}} \quad \text{для } h \leq 11000 \text{ м}, \quad (2.2)$$

$$h = h_{11} + \frac{R_{i\ddot{o}} T_{11}}{g_0} \ln \frac{p_{11}}{p} \quad \text{для } 11000 \text{ м} \leq h \leq 20000 \text{ м}, \quad (2.3)$$

де  $T_0 = 288,15 \text{ K}$ ;  $\tau_a = 0,0065 \text{ K/м}$  – температурний градієнт висоти, що враховує середню зміну температури з підняттям на висоту до 11000 м за стандартною атмосферою;  $p_0 = 101300 \text{ Па}$  – тиск повітря на рівні моря;  $R_{\text{мол}} = 287,05287 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  – питома газова стала для повітря;  $g_0$  – середнє значення гравітаційного прискорення;  $p_{11} = 22632 \text{ Па}$  – тиск на висоті;  $h_{11} = 11000 \text{ м}$  – висота;  $T_{11} = 216,65 \text{ К}$  – температура на висоті.

У процесі вивчення поняття абсолютної висоти залучають низку основних дисциплін STEM-освіти: фізику (висота, тиск, густина); повітряну навігацію (системи відліку висот. Безпечна висота польоту. Похибки барометричних висотомірів. Розрахунок безпечної висоти під час польоту по маршруту. Порядок розрахунку тиску Q-code Field Elevation за відомим Q-code Nautical Height); авіаційну метеорологію (атмосферний тиск, методи та одиниці вимірювання. Зміна тиску з висотою. Барометричні формули. Баричний ступінь. Зображення поля тиску на рівні моря та на висотах. Інформація про атмосферний тиск, що використовується для метеорологічного забезпечення польотів); теоретичну механіку (сили, моменти сил відносно осі та точки); вищу математику (диференціал функції, інтеграл, властивості інтегралу, визначений інтеграл).

*Приклад 3 Методи визначення швидкості тіла.* Для пілотування літака важливими є індикаторна та істинна повітряна швидкості.

Для введення понять індикаторної та істинної швидкості студентам спершу пропонують опрацювати поняття швидкості в курсі фізики з теми «Кінематика класичної частинки», яку засвоюють у технічних ЗВО. Після введення понять студенти розглядають різновиди швидкостей з професійно зорієнтованих дисциплін, а саме:

1) *індикаторну або приладову швидкість* – це швидкість руху повітряного корабля відносно повітряного потоку біля поверхні Землі за динамічного тиску, як і на висоті польоту;

2) *істинну повітряну швидкість* – це швидкість руху повітряного корабля відносно повітряного потоку.

Засвоєння теоретичного складника фізики та професійно зорієнтованих дисциплін дозволяє студентам опанувати *науковий складник STEM-освіти*.

Прилад, що вимірює індикаторну швидкість, використовують як пілотажний індикатор (*виявляється технічний та інженерний складники STEM-освіти*). Принцип його дії ґрунтується на вимірюванні динамічного тиску зустрічного потоку повітря манометричним пристроєм, деформація якого передається спеціальним чином на стрілку. Індикаторну швидкість визначають залежністю, що не враховує стискання повітря (для швидкостей менших за 400 км/год):

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p g}{\gamma}}, \quad (2.4)$$

де  $\Delta p$  – динамічний тиск;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\gamma$  – щільність повітря.

Зазначимо, що індикаторна швидкість залежить від густини повітря, яка змінюється зі зміною висоти. Зазвичай такі прилади градууються на значення  $\gamma$  ( $\gamma = 1,225 \text{ кг/м}^3$ ), тому показники приладу відповідають істинній повітряній швидкості під час польоту біля поверхні землі.

Звертаємо увагу студентів на вивчення поняття підйімальної сили у фізиці та в аеродинаміці польоту. Величина підйімальної сили горизонтальних поверхонь повітряного корабля безпосередньо залежить від індикаторної швидкості:

$$Y = c_y S \frac{\gamma V^2}{2g}, \quad (2.5)$$

де  $c_y$  – коефіцієнт підйімальної сили;  $S$  – площа несучих поверхонь.

Акцентуємо увагу студентів на тому, що значення індикаторної швидкості є важливим для підтримання потрібних аеронавігаційних характеристик польоту.

Істинну повітряну швидкість визначаємо аналогічно на підставі вимірювання динамічного тиску повітря. Окрім того, вимірюємо та враховуємо значення статичного тиску.

Вимірювання істинної повітряної швидкості ґрунтується на функціональній залежності динамічного та статичного тиску повітря від швидкості:

$$V = \sqrt{\frac{2ka^2}{(k-1)} \left[ \left( \frac{\Delta p}{p} + 1 \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}, \quad (2.6)$$

де  $k$  – коефіцієнт адіабатичного стискання повітря;  $\gamma$  – густина повітря;  $a$  – швидкість звуку;  $\Delta p$  – динамічний тиск;  $p$  – статичний тиск.

Науковий складник STEM-освіти виявляємо в процесі вивчення основних понять фізики (швидкість; види швидкостей: миттєва, середня; тиск; сила, ізопроцеси в газах); аеродинаміки (істинна швидкість, індикаторна швидкість, підймальна сила, динамічний тиск); повітряного судна (швидкісна система координат, повна аеродинамічна сила та її проєкції швидкісних систем координат; залежність коефіцієнтів аеродинамічних сил від кута атаки; основна аеродинамічна характеристика крила).

Технічний та інженерний STEM-складники спостерігаються в процесі вивчення студентами приладових індикаторів визначення швидкостей та їхньої будови.

Розрахунок студентами вищезазначених швидкостей демонструє математичний складник STEM-освіти.

*Приклад 4. Визначення числа Маха.* Число Маха вивчають у фізиці під час розгляду теми «Механіка рідин та газів». Студенти розглядають це число в курсі фізики, що дає перші основи для вивчення динамічних характеристик, важливих для пілотування повітряного корабля:

$$M = \frac{V}{a} = \sqrt{\frac{2k}{(k-1)\gamma} \left[ \left( \frac{\Delta p}{p} + 1 \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}. \quad (2.7)$$

На швидкостях, більших за швидкість звуку, частина енергії швидкісного напору повітря витрачається на утворення ударних хвиль, тоді швидкість визначають за іншою формулою:

$$V = \frac{M}{\sqrt{1 + \xi \frac{M^2}{5}}} \sqrt{kgRT_T}, \quad (2.8)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт загальмованого повітря;  $T_T$  – абсолютна температура загальмованого повітря.

Отже, для безпечного пілотування важливими є мінімальна швидкість звалювання літака; швидкість повороту; максимальна швидкість випуску закрилків; максимальна швидкість польоту; максимально допустиме значення числа Маха.

Науковий складник STEM-освіти виявляється в процесі вивчення основних понять фізики (швидкість; звук; хвилі; турбулентний та ламінарний плин; сили, що діють у рідинах та газах); авіаційної метеорології (небезпечні для польотів явища навколишнього середовища; турбулентність атмосфери, причини виникнення та чинники впливу на її інтенсивність); професійної англійської мови (вплив небезпечних метеорологічних явищ).

Технічний та інженерний STEM-складники спостерігаються в процесі вивчення будови та основних характеристик повітряного корабля.

Для розрахунку числа Маха та зазначених швидкостей важливо вивчити математичний складник STEM-освіти (поняття вектора та дії над векторами; скалярний, векторний та мішаний добуток векторів; поняття похідної, правила диференціювання; похідна складеної функції; інтеграл).

*Приклад 5. Визначення температури повітря.* Поняття температури, абсолютної температури, одиниць вимірювання в системі СІ студенти вивчають у розділі «Молекулярної фізики та термодинаміки».

*Технічний складник STEM.* У професійно зорієнтованих дисциплінах студенти розглядають вимірювання температури повітря навколо літака з

використанням спеціального датчика – металевої трубки, винесеної від корпусу повітряного корабля.

Цей датчик захоплює частину повітряного потоку й спрямовує його на чутливий до зміни температури елемент. Для запобігання похибкам, спричиненим обледенінням корпусу повітряного корабля, у будові датчика передбачено систему підігріву корпусу.

*Інженерний складник STEM* розглядаємо зі студентами під час вивчення повітряних сигналів на обчислювальний блок. На його вхід подаються сигнали від датчиків повного й статичного тиску, температури та кута атаки. Датчики тиску розміщено всередині корпусу літака, а тиск підведено спеціальною системою повітроводів до резервних приладів вимірювання висотно-швидкісних параметрів (рис. 2.12).

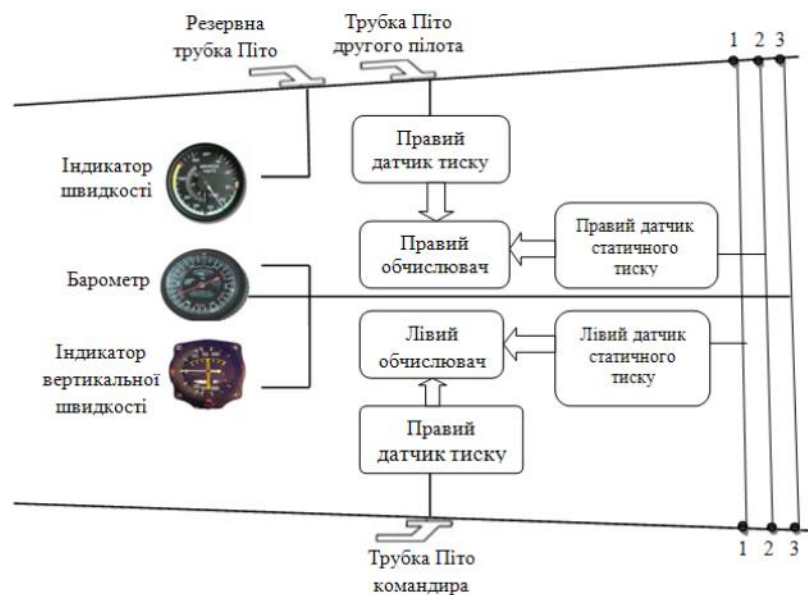


Рис. 2.12. Схема повітряних сигналів: 1 – приймач статичного тиску командира; 2 – приймач статичного тиску; 3 – резервний приймач статичного тиску [181]

Обчислювальний блок виконує розрахунки висотно-швидкісних параметрів з урахуванням усіх можливих похибок, оцінює максимально допустимі значення цих параметрів і видає сигналізацію про наближення наявних значень до максимально допустимих (*віддзеркалено математичний та інженерний складники STEM-освіти*). Одним із цифрових каналів

інформаційного обміну обчислювач подає ці параметри в систему електронної індикації для представлення даних пілотам, а також в інші системи повітряного корабля.

*Приклад 6. Вивчення похибок (спостерігається математичний складник STEM-освіти).* Для вивчення будови баромерта, приладу індикаторної швидкості, приладу індикатора вертикальної швидкості, приймачів тиску потрібно розрахувати інструментальні, аеродинамічні та методичні похибки.

*Інструментальні похибки* виникають через недосконалість виготовлення механізму вимірювального приладу, зношеність окремих вузлів та зміну пружних властивостей чутливого елемента. Ці похибки ми визначаємо разом зі студентами в лабораторних умовах.

За результатами лабораторної перевірки складаємо таблиці, у яких вказуємо значення інструментальних похибок. Зазначаємо, що важливим складником інструментальних похибок є залежність вимірювального механізму від стану навколишнього середовища, зокрема температури.

Наводимо приклад студентам, що пружність анероїдної коробки залежить від її температури. Вплив температури навколишнього середовища враховується температурними інструментальними похибками.

*Аеродинамічні похибки* спричиняють неточне вимірювання атмосферного тиску на висоті польоту через викривлення повітряного потоку в місці його приймання, особливо в польоті на великих швидкостях.

*Методичні похибки* виникають унаслідок розбіжностей фактичного стану атмосфери з даними, закладеними в основу розрахунку шкали приладу.

*Приклад 7. Вимірювання параметрів магнітного поля Землі.*

Прилади вимірювання параметрів магнітного поля застосовують для орієнтування та визначення напрямку руху (*представлено технічний складник STEM-освіти*).

Студенти технічних спеціальностей вивчають принципи їх дії, що ґрунтуються на використанні магнітного поля Землі. Основними поняттями,



які потрібні студентам для оволодіння цим матеріалом, є магнітне поле, напруженості магнітного поля, геомагнітне поле, північний та південний магнітний полюси та інші, пропоновані для вивчення в процесі засвоєння курсу фізики, де спостерігається *науковий складник STEM-освіти*.

Після розгляду основних фізичних понять магнітного поля доцільно обговорити призначення компасів, які вимірюють курс літального апарату.

Під час установлення міжпредметних зв'язків між фізикою та професійно зорієнтованими дисциплінами зазначаємо, що розрізняють істинний, магнітний та компасний курси.

*Істинним курсом* називають кут, відрахований від географічного меридіана.

*Магнітним курсом* називають кут, відрахований від магнітного меридіана. Під час вимірювання курсу компасом, наприклад, магнітним, показники відрізняють від істинного та магнітного курсів через дію похибки, властивої приладу, тому його називають *компасним курсом*.

Принцип дії магнітного компаса ґрунтується на властивості магнітної стрілки, установленної в напрямі магнітних силових ліній поля Землі.

Звертаємо увагу студентів на застосування індукційного методу, що дозволяє вимірювати магнітний курс повітряного корабля. За цим методом напруженість магнітного поля Землі діє на електромагнітне поле, що створюється в системі електричних котушок. Унаслідок цього змінюються параметри індуктивності, які фіксує спеціальне обладнання. Вони набувають значень, пропорційних магнітному курсу (*виявляється науковий складник STEM-освіти*).

*Технічний складник STEM-освіти*. На сучасному етапі розвитку освіти та технічної галузі використовують значну кількість датчиків, що вимірюють усі складники вектора напруженості магнітного поля і мають досить малі розміри. Наприклад, це датчики Rockwell Collins та Honeywell, що дозволяють вимірювати всі компоненти вектора напруженості магнітного поля.

*Інженерний складник STEM-освіти.* Датчик HMR2300 побудовано за магніторезистивним методом вимірювання складників магнітного поля [181; 182], в основу якого покладено властивість зміни напрямку намагнічування у внутрішній структурі сплаву NiFe під дією магнітного поля. Унаслідок цього залежно від кута  $\alpha$  між напрямом струму та вектором намагніченості змінюється опір  $R$  сплаву NiFe:

$$R = R_0 + \Delta R \cos(2\alpha). \quad (2.9)$$

Зміна опору фіксує мостова схема з'єднання резисторів.

Мостову схему з'єднання резисторів студенти вивчають під час виконання роботи фізичного практикуму «Вимірювання омичних опорів за допомогою мосту постійного струму» [176].

Для визначення напрямку дії силових ліній магнітного поля можна застосовувати датчики, що ґрунтуються на ефекті Хола [220].

Вивчення студентами датчиків магнітного поля разом з гіроскопічними приладами утворюють курсовертикаль (Magnetic Heading Reference System – MHRS або Attitude Heading Reference System – AHRS).

AHRS – це система, що видає користувачеві величини кутів між географічною системою координат та зв'язаною з літаком системою координат. Датчики магнітного поля вказують магнітний курс повітряного корабля, а група з трьох гіроскопічних датчиків, розміщених на відповідних осях координат, – кутові координати повітряного корабля. Зазвичай такі системи укомплектовують також датчиками прискорень. Основна функція AHRS – забезпечення вимірювання кутів курсу, крену і тангажа повітряного корабля для віддзеркалення їх на дисплеях Electronic flight instrument system, використання в системі контролю польотом, Flight Management System та інших системах повітряного корабля (*представлено інженерний та технічний складники STEM-освіти*). Основними виробниками AHRS є Rockwell Collins (AHS 1000, AHS 3000) [243] та Honeywell.

Зауважимо, що магнітний курс літака можна обчислити певними математичними перетвореннями, на основі відомих кутів відхилення від

географічної системи координат (*застосовується математичний апарат STEM-освіти*). Відповідно до цього деякі АНRS надають точне значення магнітного курсу літака, проте у своїй будові не містять магнітометрів (Rockwell Collins: AHS 4000 та Honeywell: AH-2100).

Наприклад, AH-2100 вимірює кутові координати з точністю  $0,15^\circ$ , курс – з точністю  $1^\circ$ , а відхилення курсу становить лише  $0,1^\circ$  за одну годину.

У процесі вивчення поняття абсолютної висоти залучають низку основних дисциплін STEM-освіти: фізику (основні поняття тем магнітне поле, електромагнітна індукція); основи електротехніки (електромагнітні явища і їх використання; індукційна і електромеханічна дія магнітного поля; електромагнітні прилади); авіоніку (курсіві прилади та системи; магнітні компаси); вищу математику (диференціал функції; інтеграл; скалярний, векторний та мішаний добуток векторів); охорону праці (іонізуюче випромінювання; електромагнітні поля та випромінювання радіочастотного діапазону).

*Приклад 8.* Компоненти STEM-освіти розглядають під час вивчення датчиків перетворення інформації, важливих для використання на борту літака.

На борту повітряного корабля використовують значну кількість датчиків, що вимірюють параметри загальнолітакових систем: паливної, гідравлічної, електроживлення тощо. Датчики перетворюють дію різних фізичних величин на пропорційні зміни електричного сигналу або видають уже виміряне значення цифровою формою різним системам літака.

*Розглянемо науковий складник STEM-освіти, що віддзеркалюється у вивченні основних фізичних понять, які забезпечують роботу датчиків повітряного корабля. Пропонуємо класифікацію датчиків:*

1) за параметром вимірюваного зовнішнього середовища розмежовують датчики тиску, сили, положення (за координатою або кутом), переміщення (за координатою або кутом), швидкості (лінійної або кутової),

прискорення (лінійного або кутового), вібрації, близькості, температури, газового складу середовища, обертів, деформації, вологості та інше;

2) за фізичним принципом дії датчика вирізняють такі: ємнісні, п'єзоелектричні, диференційно-трансформаторні, термопарні, тензорезистивні, потенціометричні, струмовихрові, термісторні, на ефекті Хола, п'єзорезистивні, оптоволоконні, магніторезистивні, на поверхових акустичних хвилях, індукційні тощо.

Після аналізу різновидів датчиків, пропонуємо студентам визначити, фізичні явища, поняття чи закони, які є основою роботи цих пристроїв.

*Технічний STEM-складник.* Після проведеного опитування розглядаємо приклад обладнання Very high frequency Omnidirectional Range beacon (VOR), що визначає азимут літака відносно точки розташування цього радіомаяка.

Радіомаяки VOR працюють в діапазоні частот 108–117,975 МГц. У цьому діапазоні виокремлено 200 каналів (через 50 кГц), 160 з яких відведено VOR, а 40 каналів у діапазоні частот 108–112 МГц (з непарними десятими частками мегагерца) – курсовим радіомаякам посадкової системи Instrument Landing System (ILS).

*Інженерний STEM-складник.* За антенною системою пропонуємо розглянути діаграми спрямованості радіомаяка: спрямовану й неспрямовану. Через неспрямовану антену випромінюється опорний сигнал, модульований частотою 30 Гц [183]. Спрямована діаграма обертається з частотою 30 обертів за секунду (рис. 2.13).

Повітряний корабель приймає сигнали, причому сигнал від спрямованої антени виявляється амплітудно-модульованим (максимум сигналу – у разі спрямування антени на літак). Фаза опорного сигналу поєднується з фазою обвідного амплітудно-модульованого сигналу, коли азимут дорівнює нулю. Це дозволяє виміряти поточний азимут. Дальність дії радіомаяка залежно від потужності випромінювання становить 50–370 км.

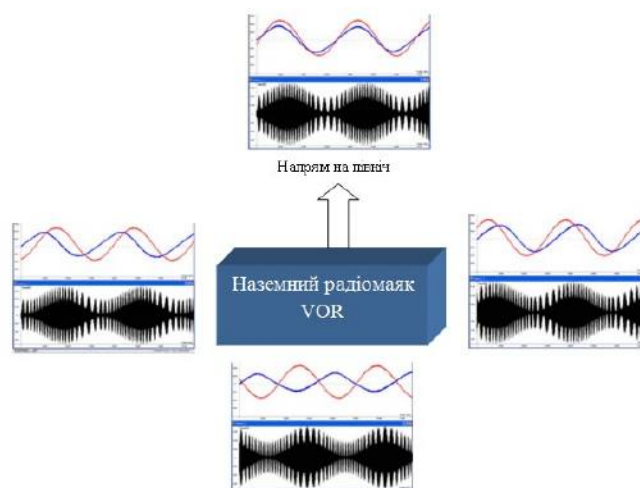


Рис. 2.13. Принцип дії обладнання VOR

Для впізнання радіомаяків VOR випромінюваний сигнал модулюється кодом Морзе або мовним позивним (*використовується інженерний складник та математичний апарат STEM-освіти*). Позивні транслює приймач VOR в обладнання внутрішнього зв'язку, і пілот може контролювати їх через прослуховування.

Приймач VOR приймає також сигнали маркерних радіомаяків. Маркерні радіомаяки випромінюють сигнал на частоті 75 МГц кодом Морзе. Випромінювання сигналу спрямовано вгору так, що його приймає повітряний корабель тільки в момент прольоту над маяком. Сигнали модулюють низькочастотні коливання 400, 1300 або 4000 Гц відповідно біля ближнього, середнього та віддаленого радіомаяків.

У процесі вивчення датчиків перетворення інформації ми розглянули міжпредметні зв'язки таких STEM-дисциплін: фізики (поняття сили, швидкості, переміщення, вібрації, частоти, деформації, вологості); теоретичної механіки (поняття кінематики точки); повітряних перевезень (перевищення злітної та безпечної швидкості, недостатня швидкість набору висоти); повітряної навігації (швидкість польоту повітряного судна); вищої математики (скалярний, векторний та мішаний добуток векторів, границя послідовності та границя функції, поняття похідної, інтеграл, похідна

складеної функції); основ електротехніки (електровимірювальні прилади й методи вимірювань, електростатистичні прилади).

*Приклад 9.* Доцільно розглянути елементи STEM-освіти в процесі використання доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу.

*Науковий складник STEM-освіти.* Ефект Доплера студентами вивчають під час засвоєння фізики в технічних ЗВО. Пропонуємо розглянути прикладні аспекти фізики, а саме використання ефекту Доплера в технічній галузі.

Розглянемо доплерівський вимірювач швидкості та кута зносу, що вимірює параметри вектора швидкості літального апарату: шляхову швидкість, тобто швидкість відносно земної поверхні, та кут зносу – кут між напрямом поздовжньої вісі повітряного корабля та дійсним напрямом руху.

Звертаємо увагу студентів на виокремлені наукові STEM-елементи, а саме: вивчення фізичних понять (швидкості, частоти, випромінювання); обладнання та технічні засоби для обслуговування повітряного руху (метод безперервного випромінювання з використанням ефекту Доплера, принципи та види радіолокації); вищу математику (функції кількох змінних, область її визначення; частинні похідні функції кількох змінних, диференціальні рівняння).

У процесі вивчення будови та принципу дії доплерівського вимірювача швидкості та кута зносу розглядаємо *технічний та інженерний складники STEM-освіти*. У цьому приладі застосовано похиле опромінення земної поверхні; він визначає параметри вектора швидкості за спектром частот сигналу, відбитого землею. Внаслідок ефекту Доплера виникає зсув частот між випромінюваним та відбитим сигналом. Для підвищення точності доплерівський вимірювач швидкості та кута зносу випромінює не один, а три або чотири промені в різних напрямках.

*Математичний STEM-складник* спостерігається в розрахунку похибок вимірювання, що не повинні перевищувати 0,5 % за швидкістю та  $0,2^\circ$  за кутом зносу. Частота випромінюваних сигналів становить  $13325 \pm 75$  МГц. До складу системи входять антена, приймач та обчислювач, що вимірює зсув

частот та обчислює за ним шляхову швидкість і кут зносу. Global Navigation Satellite System дозволяє виміряти шляхову швидкість, тому доплерівський випромінювач швидкості та кута зносу не застосовують в обладнанні авіоніки сучасного повітряного корабля.

Отже, успішне впровадження сучасних STEM-засобів в освітній процес під час навчання фізики невіддільно пов'язано з його технічним, психолого-педагогічним і методичним забезпеченням, а також з вимогами до технології виконання навчальних експериментів та до пропонованого для навчальних цілей обладнання. Окрім того, потрібно враховувати ті засоби навчання і те навчальне обладнання, які сприяють виконанню фізичних дослідів, а також важливо мати на увазі методичне забезпечення для відтворення навчальних експериментів щоб розв'язувати різні дидактичні завдання у навчанні фізики в контексті розвитку STEM-освіти.

### **Висновки до другого розділу**

*Доведено*, що STEM-освіта є інновацією, яка поєднує природничо-математичний складник освіти, який ґрунтується на принципах фундаментальності та наукоємності, поєднує технологічні, організаційні, матеріально-технічні ресурси та людський капітал. *Зроблено* висновок, що розвиток STEM-освіти в поєднанні з ІКТ докорінно змінює бізнес-процеси, державне управління, впливає на реформування менеджменту і сприяє зростанню економічного, соціального та управлінського рівня якості суспільства, а відповідно й освіти. З урахуванням STEM *уточнено* зміст поняття наукова грамотність, що є здатністю застосовувати наукові знання для розв'язання прикладних задач, здатністю до технологічного дизайну, сприйняття наукових знань та теорій в особистій перспективі та з позиції їхнього соціальної значущості.

*Окреслено* поняття STEM-компетентності, яке полягає в умінні поставити проблему; сформулювати дослідницьке завдання й визначити шляхи його розв'язання; застосовувати знання в різних ситуаціях, розуміти

можливість інших позицій щодо розв'язання проблем; оригінально розв'язати проблему; застосовувати навички мислення високого рівня. *Виокремлено* умови ефективності для впровадження STEM-освіти в практику освітньої діяльності технічних ЗВО.

*Визначено* науково-дослідницьку парадигму освітнього процесу І. Тамма – лауреата Нобелівської премії з підготовки висококваліфікованих кадрів для дослідження новітніх проблем теоретичної фізики та фізики високих енергій, яка об'єднує всі складники STEM-освіти та STEM-технологій. *Проаналізовано* та *визначено* особливості навчання професійно зорієнтованих дисциплін на основі STEM-технологій у технічних ЗВО, спрямованих на сучасний стан розвитку техніки й суспільства з урахуванням останніх досягнень психолого-педагогічної науки, що сприяє підвищенню активності студентів у засвоєнні нової наукової інформації та спрямованості навчального процесу на оволодіння майбутньою професійною діяльністю.

*Визначено* основні вимоги до методики навчання дисциплін у технічних ЗВО з урахуванням STEM-технологій навчання: зростання рівня самостійної пізнавально-пошукової діяльності студентів, для забезпечення якої можна застосувати створювані комплекти STEM-обладнання, у яких усі складники узгоджено між собою, упорядковано згідно з ергономічними вимогами, спрямовано на отримання найкращих результатів і досягнення відповідного рівня освіти, усвідомленість ролі в ньому особистості людини; розроблення засобів навчання багатофункціонального призначення для реалізації внутрішньопредметних і міжпредметних зв'язків та інтеграції змісту дисциплін природничо-наукового циклу в контексті розвитку STEM-освіти; створення освітньо-наукового STEM-середовища, яке є більш ефективним для діяльності викладача і роботи студента в процесі навчання з відповідним методичним забезпеченням; створення системи навчального експерименту, яку в поєднанні із STEM-засобами експериментування зорієнтовано на сучасну технологічну базу й узгоджено із сучасними педагогічними, санітарними та ергономічними вимогами.



*Створено* модель освітньо-наукового STEM-середовища, у якій поєднано сім складників: моделювання, навчальний фізичний експеримент, хмарні технології, професійний, компетентнісний, міжпредметний та інтеграційний складники, на основі якої сформовано методику навчання дисциплін у технічних ЗВО. *Проаналізовано* традиційні групи методів навчання й виокремлено їх специфіку в умовах STEM-освіти.

На основі аналізу традиційної системи фізичного експерименту та психолого-педагогічних досліджень *окреслено* його особливості в умовах розвитку STEM-освіти в технічних ЗВО; *розглянуто* поняття компетентності з урахуванням вимог нормативно-правової бази та наукових праць; *виокремлено* основні STEM-компетентності, що є пріоритетним складником формування професійної компетентності фахівця, засобом реалізації технічної та інженерної освіти.

Основні положення другого розділу дисертації викладено автором у публікаціях [74; 75; 76; 77; 78; 79; 80; 81; 82; 83–86; 87; 88; 89; 90; 132; 133; 176].

### **Список використаних джерел до другого розділу**

1. Агерн С. Співуча пташка: роман. пер. з англ. Н. Третьякової. Харків : Клуб Сімейного Дозвілля, 2017. 368 с.
2. Алексюк А. М. Педагогіка вищої школи. Курс лекцій: модульне навчання. Київ : Вища шк., 1997. 168 с.
3. Андрущенко В. Організоване суспільство: монографія. Київ : Інститут вищої освіти АПН України, 2006. 615 с.
4. Архангельский С. И. Лекции по научной организации учебного процесса в высшей школе. Москва : Высшая школа, 1976. 200 с.
5. Атаманчук П. С. Інноваційні технології управління навчанням фізики. Кам'янець-Подільський : К-ПДП, інформаційно-видавничий відділ, 1999. 174 с.
6. Атаманчук П. С., Панчук О. П. Дидактичні основи формування фізико-технологічних компетентностей учнів: монографія. Кам'янець-

Подільський : Кам'янець-Подільський нац. ун-т імені Івана Огієнка, 2011. 252 с.

7. Атаманчук П. С. Компетентнісний підхід у становленні майбутнього вчителя фізики. *Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини (Педагогічні науки)*. Умань, 2012. Ч. 4. С. 9–17.

8. Атаманчук П. С. Основні пріоритети та орієнтири якісного навчання фізики. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка*. 2012. Вип. 18. С. 5–8.

9. Атаманчук П., Атаманчук В. STEM-інтеграція як важлива інноватика сучасної освітньої парадигми. *STEM-освіта – проблеми та перспективи* : матеріали II Міжнар. науково-практичного семінару, 25–26 жовтня 2017 р., Кропивницький : КЛА НАУ, 2017. С. 9–10.

10. Аткинсон Р. Человеческая память в процессе обучения / под общ. ред. Ю. М. Забродина, Б. Ф. Ломова. Москва : Прогресс, 1980. 528 с.

11. Бабанский Ю. К. Оптимизация процесса обучения. (Общедидактический аспект). Москва : Педагогика, 1977. 256 с.

12. Байденко В. И. Компетентностный подход к проектированию государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (методологические и методические вопросы): метод. пособие. Москва : Исслед. центр проблем качества подготовки специалистов, 2005. 114 с.

13. Бевз В. Г. Історія математики у фаховій підготовці майбутніх учителів: монографія. Київ : НПУ імені М. П. Драгоманова, 2005. 360 с.

14. Беспалько В. П. Слагаемые педагогической технологии. Москва : Педагогика, 1989. 192 с.

15. Бібік Н. М., Ващенко Л. С., Локшина О. І., Овчарук О. В. та ін. Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи: Бібліотека з освітньої політики / Під заг. ред. О.В.Овчарук. Київ: К.І.С., 2004. 112 с.

16. Биков В. Ю. Системно-структурні засади забезпечення якості професійної освіти. *Управління якістю професійної освіти : зб. наук. праць*. Донецьк : ДПО ІПП АПН України, 2001. С. 269–270.
17. Биков В. Ю. Навчальне середовище сучасних педагогічних систем. *Професійна освіта : педагогіка і психологія*. Ченстохова, 2004. Вид. IV. С. 59–79.
18. Биков В. Ю. Технології хмарних обчислень, ІКТ-аутсорсінг та нові функції ІКТ-підрозділів навчальних закладів і наукових установ. *Інформаційні технології в освіті*. 2011. № 10. С. 8–23.
19. Боголюбов В. И. Педагогическая технология : эволюция понятия. *Советская педагогика*. 1991. № 9. С. 123–128.
20. Богоявленский Д. Н., Менчинская Н. А. Психология усвоения знаний в школе. Москва : АПН РСФСР, 1959. 347 с.
21. Болотов В. А., Сериков В. В. Компетентностная модель: от идеи к образовательной программе. *Педагогика*. 2003. № 10. С. 8–14.
22. Брунер Дж. Исследование развития познавательной деятельности / Дж. Брунер ; под ред. Дж. Брунера, Р. Олвера, П. Гринфилда; [пер. с англ.] Москва : Педагогика, 1971. 391 с.
23. Бурда М. Гуманістична орієнтація змісту підручників з математики. Підготовка майбутнього вчителя природничих дисциплін в умовах моделювання освітнього середовища: Збірник укладено за матер. міжнародної науково-практичної конференції. Полтава : АСМІ, 2004. С. 55–58.
24. Василяшко І., Білик Т. Упровадження STEM-навчання – відповідь на виклик часу. *Управління освітою*. Київ, 2017. № 2 (386). С. 28–31.
25. Вербицкий А. А. Теория и технологии контекстного образования: учебное пособие. Москва : МПГУ, 2017. 268 с.
26. Величко С. П., Соменко Д. В. Використання комп'ютерно-орієнтованих засобів навчання у процесі розв'язування навчальних задач з фізики графічним методом. *Збірник наукових праці Кам'янець-Подільського*

національного університету імені Івана Огієнка: Серія педагогічна. Кам'янець-Подільський, 2012. С. 8–10.

27. Верзилин Н. М., Корсунская В. М. Общая методика преподавания биологии. Москва : Просвещение. 1976. 383 с.

28. Выготский Л. С. Психология искусства / под ред. М. Г. Ярошевского. Москва : Педагогика, 1987. 344 с.

29. Відділ STEM-освіти ДНУ Інституту модернізації змісти освіти [Електронний ресурс]. URL: <https://imzo.gov.ua/pro-imzo/struktura/viddil-stem-osviti/>. (дата звернення: 11.03.2017).

30. Вітвицька С. С. Основи педагогіки вищої школи: підр. за модульно-рейтинговою системою навчання для студентів магістратури. Київ : Центр навч. л-ри, 2006. 384 с.

31. Вовкотруб В. П. Ергономіка навчального експерименту. Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2005. 308 с.

32. Гершунский Б. С. Философия образования. Москва : Московский психолого-социальный институт Флинта, 1998. 432 с.

33. Гончарова Н. О., Патрикеева О. О. Впровадження STEM-освіти в навчальних закладах (за результатами опитування науково-педагогічних працівників ОІППО). *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2016. Вип. 8. С. 215–223.

34. Гончарова Н. О. Використання ігрових технологій в STEM-освіті. *Проблеми освіти*. Київ, 2016. С. 160–164.

35. Гончарова Н. Понятійно-категоріальний апарат з проблеми дослідження аспектів STEM-освіти. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 10. С. 104–114.

36. Гладуш В. А., Лисенко Г. І. Педагогіка вищої школи: теорія, практика, історія. навч. посіб. Дніпропетровськ : Акцент ПП, 2014. 416 с.

37. Глосарій термінів, що визначають сутність поняття STEM-освіта [Електронний ресурс]. URL: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/glosariy/> (дата звернення: 09.07.2017).

38. Губанова М. И., Лебедева Е. П. Функциональная грамотность младших школьников: проблемы и перспективы формирования. *Начальная школа плюс до и после: ежемес. науч.-метод. и психол.-пед. журн.* 2009. № 12. С. 65–68.

39. Гуржій А. М., Жук Ю. О. Засоби навчання і парадигма освіти. *Нові технологій навчання*: [наук.-метод. зб.] Київ, 1997. Вип. 19. С. 30–34.

40. Гуржій А. М., Жук Ю. О., Волинський В. П. Засоби навчання: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів та слухачів системи підвищення кваліфікації. Київ : ІЗМН, 1997. 208 с.

41. Гуржій А. М., Жук О. Ю. Концептуальні проблеми створення навчального середовища на базі кабінету фізики середньої школи. *Стандарти фізичної освіти в Україні: технологічні аспекти управління навчально-пізнавальною діяльністю*: [наук.-метод. зб.]. Кам'янець-Подільський, 1997. С. 71.

42. Давыдов В. В. Проблемы развивающего обучения: Опыт теоретического и экспериментального психологического исследования. Москва : Педагогика, 1986. 240 с.

43. Данилов М. А., Есипов Б. П. Дидактика. Москва : Издательство Академии педагогических наук, 1957. 518 с.

44. Демкова В. О., Заболотний В. Ф. Освітнє середовище у підвищенні якості педагогічної підготовки майбутнього вчителя фізики і математики. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми* : зб. наук. праць. 2016. Вип. 44. С. 298–302. URL: <http://library.vspu.net/handle/123456789/1039?show=full>. (дата звернення 13.04.2017).

45. Енциклопедичний словник [Електронний ресурс]. URL: [http://www.dict.t-mm.ru/enc\\_sl/c/cre.html](http://www.dict.t-mm.ru/enc_sl/c/cre.html). (дата звернення: 19.11.2018).

46. Євтушевський В., Шаповалова Л. Становлення і розвиток інновацій у вищій школі. *Вища освіта України: Теоретичний та науково-методичний часопис*. 2006. № 2. С. 62–66.

47. Эрдниев П. М. Сравнение и обобщение при обучении математике. Москва : Просвещение, 1960. 124 с.

48. Жук Ю. О. Навчальне середовище предметів природничого циклу : проблеми системи аналізу. *Зб. наук. праць. Уманського ДПУ*; гол. ред. Г. Кузь. Київ, 2004. С. 88–94.

49. Жук Ю. О. Роль засобів навчання у формуванні навчального середовища. *Науково-методичний вісник «Нові технології навчання»*. Київ : ІЗМН, 1998. № 22. С. 106–112.

50. Заболотний В. Ф. Формування методичної компетентності учителя фізики засобами мультимедіа: автор. дис. ... д-ра. пед. наук : 13.00.02 / В. Ф. Заболотний; М-во освіти і науки України, Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. Київ, 2010. 39 с.

51. Заболотний В. Ф., Демкова В. О. Експериментальна компетентність як складова професійної підготовки студентів. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки*. 2015. Вип. 127. С. 49–52.

52. Закон України «Про освіту» [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2145-19> (дата звернення: 09.06.2018).

53. Закон України «Про наукову та науково-технічну діяльність» [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/848-19> (дата звернення: 09.06.2018).

54. Закон України «Про інноваційну діяльність» [Електронний ресурс]. URL: [zakon5.rada.show/40-15gov.ua/laws/](http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/40-15gov.ua/laws/) (дата звернення: 09.06.2018).

55. Закон України «Про Вищу освіту» [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1556-18> (дата звернення: 09.06.2018).

56. Закон України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=40-15> (дата звернення: 09.06.2018).

57. Засоби та обладнання STEM [Електронний ресурс]. URL: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/zasobi-ta-obladnannya-stem/> (дата звернення: 15.06.2017).

58. Золотарьова Г. М. Інноваційна педагогічна діяльність як рушійна сила розвитку науки та освіти України. *Наукові записки кафедри педагогіки Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*, 2010. Вип. 24. С. 79–85. [Електронний ресурс]. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzkr\\_2010\\_24\\_12..\\_79-85](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzkr_2010_24_12.._79-85) (дата звернення: 19.03.2018).

59. Зеер Э., Сыманюк Э. Компетентностный подход к модернизации профессионального образования. *Высшее образование в России*, 2005. № 4. С. 23–30.

60. Зіненко І. М. Визначення структури математичної компетентності учнів старшого шкільного віку. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2009. № 2. С. 165–174.

61. Зимняя И. А. Ключевые социальные компетенции – новая парадигма результата образования. *Высшее образование сегодня*, 2003. № 5. С. 34–42.

62. Иванова Е. О. Компетентностный подход в соотношении со знаниево-ориентированным и культурологическим [Электронный ресурс]. Эйдос : Интернет-журнал. 2007. URL: <http://www.eidos.ru> (дата обращения: 12.04.2016).

63. Кабанова-Меллер Е. Н. Учебная деятельность и развивающее обучение. Москва : Знание, 1981. 96 с.

64. Кальной С. Концептуальна модель організації корпоративної бази знань як засобу інформаційної підтримки STEM-освіти. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 10. С. 68–75.

65. Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи: Бібліотека з освітньої політики [під заг. ред. О. В. Овчарук]. Київ : К.І.С., 2004. 112 с.

66. Колягин Ю. М., Луканин Г. Л., Бурхиев Б. О подготовке современного учителя математики в педагогическом институте. *Роль и место задач в обучении математике*. Москва, 1980. Вып. 7. С. 92–97.

67. Компетентностный подход в высшем профессиональном образовании / под ред. А. А. Орлова, В. В. Грачева. Тула : Изд-во ТГПУ, 2012. 261 с.

68. Концепція про «STEM-центр» академії / укладач: О. С. Кузьменко. Кропивницький : КЛА НАУ, 2017. 10 с.

69. Костюкевич Д. Я., Кух А. М. Методичні засади організації освітнього середовища з фізики в загальноосвітніх навчальних закладах: монографія. Кам'янець-Подільський : ПП Буйницький О. А., 2006. 227 с.

70. Корчак Я. Правила жизни. *Педагогическое наследие*. Москва, 1988. С. 195–232.

71. Кремень В. Г. Педагогіка вищої школи: підруч. для студ. ВНЗ / В. П. Анрущенко [та ін.]; за ред. В. Г. Кременя [ та ін.]. Київ : Педагогічна думка, 2009. 256 с.

72. Кремень В. Г., Биков В. Ю. Інноваційні завдання сучасного етапу інформатизації освіти. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. зб. наук. пр. Київ-Вінниця : Планер, 2014. Вип. 37. С. 3–15. [Електронний ресурс]. URL: <http://vspu.edu.ua/science/art/a153.pdf> (дата звернення: 16.07.2017).

73. Кудрявцев Л. Д. Мысли о современной математике и методике ее преподавания. Москва : Физматлит, 2008. 434 с.

74. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Вивчення фундаментальних фізичних понять із використанням властивостей симетрії на основі фізичного та комп'ютерного моделювання в вищих навчальних закладах технічного профілю. *Scientific journal Innovation solutions in modern science*. № 5(5), Dubai, 2016. С. 62–73.

75. Кузьменко О. С. Фізичний експеримент як фактор розвитку STEM-освіти у вищих навчальних закладах технічного профілю. *Наукові записки*



*Малої академії наук України. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Київ, 2017. Вип. 10. С. 131–143.

76. Кузьменко О. С. Сутність та напрямки розвитку STEM-освіти. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти.* Кіровоград, 2016. Вип. 9. Ч. 3. С. 188–190.

77. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Трансляція як елемент симетрії у процесі навчання фізики в технічних вузах в умовах розвитку STEM-освіти. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти.* Кропивницький, 2016. Вип. 10. Ч. 2. С. 65–68.

78. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. STEM-освіта як основний орієнтир в оновленні інноваційних технологій у процесі навчання фізики у вищих навчальних закладах технічного профілю. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти.* Кропивницький, 2017. Вип. 11. Ч. 3. С. 73–76.

79. Кузьменко О. С. Інноваційні засоби та форми організації навчального процесу з фізики в умовах розвитку STEM-освіти в вищих технічних навчальних закладах. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти.* Кропивницький, 2017. Вип. 12. Ч. 2. С. 85–92.

80. Кузьменко О. С. Методичні особливості вивчення поняття симетрії у процесі вивчення загального курсу фізики в вищих навчальних закладах авіаційного профілю в умовах розвитку STEM-освіти. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна.* Кам'янець-Подільський, 2016. Вип. 22. С. 89–91.

81. Кузьменко О. С. Формування STEM-компетентностей студентів у процесі навчання фізики в вищих технічних навчальних закладах. *Збірник наукових праць. Кам'янець-Подільського університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна.* Кам'янець-Подільський, 2017. Вип. 23. С. 20–22.

82. Кузьменко О. С., Гончарова Н. О. Особливості змістовного наповнення навчального посібника з фізики для вищих технічних навчальних

закладів в контексті впровадження stem-освіти (інтегрований підхід). *Проблеми сучасного підручника: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 19. С. 151–158.

83. Кузьменко О. С. Концептуальні засади розвитку методики навчання фізики в умовах розвитку STEM-навчання у вищих навчальних закладах авіаційного профілю. *Наукові записки Малої академії наук України. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Київ, 2017. Вип. 9. С. 38–50.

84. Кузьменко О. С. STEM-моделювання фізичних явищ у процесі навчання студентів професійно-технічним дисциплінам в закладах вищої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Кропивницький, 2018. Вип. 168. С. 120–124.

85. Кузьменко О. С. Використання STEM-технологій у навчальному процесі з фізики в вищих навчальних закладах технічного профілю. *Науковий вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Кропивницький, 2017. Вип. 1. С. 331–335.

86. Кузьменко О. С. Використання поняття симетрії для формування наукового світогляду студентів у процесі навчання фізики в умовах розвитку STEM-освіти. *Науковий вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Кропивницький, 2017. Вип. 2. С. 173–179.

87. Кузьменко О. С., Садовий М. І., Вовкотруб В. П. Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням : навч. посіб. для студ. ВНЗ. Кіровоград : КЛА НАУ, 2015. 204 с.

88. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Особливості вивчення фізики у вищих навчальних закладах технічного профілю в умовах розвитку STEM-освіти. *Сучасні тенденції навчання природничо-математичних та технологічних дисциплін у загальноосвітній та вищій школі: матеріали III Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. 17–22 жовтня 2016 р.* Кропивницький (Кіровоград): РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2016. С. 51–52.

89. Кузьменко О. С., Ситник Ю. Б. Наукова та інженерна складова STEM-освіти у процесі вивчення дисциплін фізики та безпеки польотів з

поєднанням інтегрованого підходу. *STEM-освіта – проблеми та перспективи*, Кропивницький: матеріали II Міжнар. наук.-практ. семінару 25–26 жовтня 2017 р. Кропивницький, 2017: КЛА НАУ. С. 59–62.

90. Кузьменко О. С., Шульгін В. А. Використання поняття симетрії в розрахункових схемах і навантаженнях через трансдисциплінарний підхід в контексті розвитку STEM-освіти. *Актуальні аспекти розвитку STEM-освіти у навчанні природничо-наукових дисциплін*: матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф. 16–17 травня 2018 р. Кропивницький: Льотна академія НАУ, 2018. С. 86–89.

91. Кузьмина Н. В., Реан А. А. Профессионализм педагогической деятельности: методическое пособие. Санкт-Петербург : Рыбинск, 1993. 54 с.

92. Кузьмінський А. І. Педагогіка вищої школи: навч. посіб. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.info-library.com.ua/books-book-105.html> (дата звернення: 14.01.2016).

93. Кух А. М., Кух О. М. Сучасна дидактика і освітнє середовище. *Зб. наук. праць Кам'янець-Подільського державного університету: Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський державний університет, редакційно-видавничий відділ, 2003. Вип. 9. С. 106–108.

94. Лапінський В. В., Регейко І. Ю. Психолого-педагогічна і дидактична проблематика активного навчання у сучасному навчальному середовищі. *Вища освіта України*. Київ, 2012. № 3(46). Тематичний випуск: «Педагогіка вищої школи: методологія, теорія, технології». Т. 3. С. 595–605.

95. Лапінський В. В., Мадзігон В. М. Сучасне навчальне середовище і електронна педагогіка. *Комп'ютер у школі та сім'ї*. Київ, 2010. № 4. С. 3–5.

96. Лапінський В. В. Навчальне середовище нового покоління та його складові. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія № 2. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*. Київ, 2008. № 6(13). С. 26–32.

97. Лернер И. Я. Внимание технологии обучени. *Сов. педагогика*. № 3. 1990. С. 138–141.

98. Лернер И. Я. Дидактическая система методов обучения. Москва : Знание, 1976. 64 с.
99. Лернер И. Я., Скаткин М. Н. Методы обучения. Дидактика средней школы / под ред. М. А. Данилова, М. Н. Скаткина. Москва : Просвещение, 1975. С. 146–184.
100. Литвинова С., Корицька Г. [та ін.] Моделювання й інтеграція сервісів хмаро орієнтованого навчального середовища: [монографія] / за ред. С. Г. Литвинової. Київ : Компринт, 2015. 163 с.
101. Лихачев Б. Т. Педагогика. Курс лекций : учебное пособие для студентов педагогических учебных заведений и слушателей ИПК и ФПК. Москва : Прометей, Юрайт, 1998. 464 с.
102. Лозова О. В. STEM-центр – інноваційний підхід організації навчання. *STEM-освіта – проблеми та перспективи* : матеріали I Міжнар. наук.-практ. семінару 28–29 жовтня 2016 р. Кропивницький: КЛА НАУ, 2016. С. 67–70.
103. Лозова О., Горбенко С., Гончарова Н. Використання засобів STEM-навчання в умовах модернізації системи позашкільної освіти. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 10. С. 82–87.
104. Ляудис В. Я. Методика преподавания психологии : учебное пособие. 3-е изд., испр. и доп. Москва : Изд-во УРАО, 2000. 128 с.
105. Ляшенко О. І. Якість освіти як основа функціонування й розвитку сучасних систем освіти. *Педагогіка і психологія*. 2005. № 1(46). С. 5–12.
106. Ляшенко О. І. Взаємозв'язок теоретичного та емпіричного у навчанні фізики: дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04; 13.00.02 / О. І. Ляшенко. Київ, 1996. 442 с.
107. Макаренко А. С. Методика виховної роботи. Київ : Рад. школа, 1990. 366 с.
108. Маркова А. К. Психология профессионализма. Москва : Знание, 1996. 308 с.

109. Махмутов М. И. Современный урок. [2-е изд., испр., доп.]. Москва : Педагогика, 1985. 184 с.

110. Мельник Н. І. Іншомовна компетентність як пріоритетний напрям у змісті професійної підготовки педагогів у країнах Європи [Електронний ресурс]. Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. 05.11.2015, м. Київ. С. 201–207. URL:[http:// elibrary.kubg.ua/10960/1/N\\_Melnik\\_05\\_11\\_2015\\_konf\\_PI.pdf](http://elibrary.kubg.ua/10960/1/N_Melnik_05_11_2015_konf_PI.pdf). (дата звернення: 04.04.2016).

111. Метельский Н. В. Дидактика математики. Минск : Изд-во БГУ, 1982. 256 с.

112. Міждисциплінарний підхід як домінанта розвитку економічної науки та освітньої діяльності [Електронний ресурс]. *Социальная экономика*. 2014. № 1–2. С. 76–83. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/se\\_2014\\_1-2\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/se_2014_1-2_15) (дата звернення: 14.05.2016).

113. Монахов В. М. Технологические основы проектирования и конструирования учебного процесса: монография. Волгоград : Перемена, 1995. 152 с.

114. Мочалова Н. М. Методы проблемного обучения и границы их применения [текст]. Казань, 1979. 158 с.

115. Нададитивний ефект [Електронний ресурс]. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Нададитивний\\_ефект](https://uk.wikipedia.org/wiki/Нададитивний_ефект) (дата звернення: 07.05.2017).

116. Наказ МОН від 17.05.2017 № 708 «Про проведення дослідно-експериментальної роботи всеукраїнського рівня за темою: «Науково-методичні засади створення та функціонування Всеукраїнського науково-методичного віртуального STEM-центру (ВНМВ STEM-центр)» на 2017–2021 роки» [Електронний ресурс]. URL: <https://drive.google.com/file/d/0B3m2TqBM0APKaXJGVlk1bVZ2cFk/view> (дата звернення: 14.06.2017).

117. Наказ МОН України від 29.02.2016 № 188 «Про утворення робочої групи з питань впровадження STEM-освіти в Україні» [Електронний ресурс]

URL: <http://old.mon.gov.ua/ua/about-ministry/normative/5219-> (дата звернення: 27.09.2017).

118. Національна рамка кваліфікацій / Постанова Кабінету міністрів України від 23.11.2011 № 1341. *Освіта*. 2012. № 1-2 (5488-5489). С. 11–13.

119. Низамиева Л. Ю. Дифференцированная профессионально-ориентированная математическая подготовка специалистов экономического профиля с использованием мультимедийных технологий: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. пед. наук: 13.00.08 / Л. Ю. Низамиева; ГОУ ВПО «Казанский государственный технологический университет». Казань, 2010. 24 с.

120. Новий тлумачний словник української мови: [у 3 т.] Київ : Аконіт, 2006. Т.1. 793 с.

121. Образовательный стандарт высшей школы сегодня и завтра: монография / под общей ред. д-ра пед. наук В. И. Байденко и д-ра техн. наук Н. А. Селезневой. Москва : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2001. 208 с.

122. Овчарук О. Компетентності як ключ до оновлення змісту освіти. *Стратегія реформування освіти в Україні: рекомендації з освітньої політики*. Київ : К.І.С., 2003. С. 19.

123. Онищук В. А. Типы, структура и методика урока в школе. Киев : Рад. школа, 1976. 184 с.

124. Ортинський В. Л. Педагогіка вищої школи. [Електронний ресурс]. URL:[http://pidruchniki.ws/12281128/pedagogika/osvitniy\\_svitoviy\\_prostir](http://pidruchniki.ws/12281128/pedagogika/osvitniy_svitoviy_prostir) (дата звернення: 11.03.2017).

125. Основные результаты международного исследования образовательных достижений учащихся PISA-2006 / [Баранова В. Ю., Ковалева Г. С., Кошеленко Н. Г., Красновский Э. А. и др.]. Москва : Центр оценки качества образования ИСМО РАО, 2007. 99 с.

126. Патрикеєва О. О., Лозова О. В., Горбенко С. Л. Новітні підходи щодо впровадження STEM-освіти в навчальних закладах України. *Наукові*

записки Малої академії наук України: зб. наук. праць. Київ, 2016. Вип. 8. С. 260–267.

127. Патрикеева О. О., Гончарова Н. О. Зміст і завдання STEM-освіти. *STEM-освіта – проблеми та перспективи: матеріали I Міжнар. наук.-практ. семінару 28–29 жовтня 2016 р. Кропивницький: КЛА НАУ, 2016. С. 70–73.*

128. Патрикеева О. О., Черноморець В. В., Коваленко М. В. Навчальні програми – ефективний засіб формування STEM-грамотності. *Освіта. Технікуми, коледжі. № 2 (42). 2017. С. 32–34.*

129. Проєкт Концепції STEM-освіти в Україні [Електронний ресурс]. URL: [http://mk-kor.at.ua/STEM/STEM\\_2017.pdf](http://mk-kor.at.ua/STEM/STEM_2017.pdf). (дата звернення: 14.05.2018).

130. Педагогічний словник / за ред. М. Д. Ярмаченка. Київ : Педагогічна думка, 2001. 516 с.

131. Подопригора Н. В. Психолого-педагогічні аспекти впровадження нових технологій до навчального фізичного експерименту. *Зб. наук. пр. Кам'янець-Подільського держ. ун-ту. Кам'янець-Подільський, 2004. С. 155–158.*

132. Положення про «STEM-центр» академії / укладач: О. С. Кузьменко. Кропивницький : КЛА НАУ, 2017. 10 с.

133. Положення про науково-дослідну лабораторію «STEM-освіти та інноваційної освіти» академії / укладач: О. С. Кузьменко. Кропивницький : КЛА НАУ, 2017. 9 с.

134. Полонский В. М. Инновации в образовании (методологический анализ). *Инновации в образовании. 2007. № 2. С. 4–13.; 2007. № 3. С. 4–12.*

135. Промислова революція 4.0. На порозі нової епохи. [Електронний ресурс]. URL: <https://ua.korrespondent.net/business/web/3802445-promyslova-revoluitsiia-40-na-porozi-novoi-epokhy> (дата звернення: 19.03.2017).

136. Райков Б. Е. Общая методика естествознания. М.–Л. : Учпедгиз, 1947. 304 с.

137. Раков С. А. Математична освіта: компетентнісний підхід з використанням ІКТ: монографія. Харків : Факт, 2005. 360 с.

138. Робототехника [Электронный ресурс]. URL: <http://robotics.nis.edu.kz/?p=5922> (дата обращения: 12.03.2017).

139. Робоча навчальна програма курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників з використанням STEM-технологій у вивченні «Математики» / [Розробники: Г. В. Черноглазова, Н. О. Гончарова]. Кропивницький: КЛА НАУ, 2017. 9 с.

140. Роджерс К. Становление человека. Москва : Мысль, 1997. 209 с.

141. Романишина Л. М., Хмеляр І. М., Лукашук М. М. Формування ключових компетентностей майбутніх фахівців у процесі навчання в медичному коледжі. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Педагогіка*. 2011. № 2. С. 71–78.

142. Ростока М. Л. STEM-підхід у контексті формування інтелектуального потенціалу України. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 10. С. 60–67.

143. Рубцов В. В., Забродин Ю. М. Компетентностный подход как концептуальная основа связи профессионального образования и профессионального труда. *Вестник практической психологии образования*. 2012. № 3. С. 3.

144. Савельев А. Я. Педагогические технологии. *Высшее образование в России*. 2004. № 2. С. 53.

145. Савченко І. М. Реалізація ідей STEM-освіти Національним центром «Мала академія наук України». *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2015. Вип. 7. С. 148–158.

146. Садовий М. І., Вовкотруб В. П., Трифонова О. М. Вибрані питання загальної методики навчання фізики: навчальний посібник [для студ. ф.-м. фак. вищ. пед. навч. закл.]. Кіровоград, 2013. 252 с.

147. Садовий М. І., Трифонова О. М. Перспективи застосування ІКТ при навчанні фізики для підвищення якості освіти. *Вища освіта України*. Луцьк, 2013. № 2 (додаток 2). Тематичний випуск: «Науково-методичні засади управління якістю освіти у вищих навчальних закладах». С. 428–434.



148. Селевко Г. К. Энциклопедия образовательных технологий: в 2 т. Москва : НИИ школьных технологий, 2006. Т. 1. С. 21.
149. Селевко Г. К. Современные образовательные технологии: учеб. пособие. Москва : Нар. образование, 1998. 225 с.
150. Сериков В. В. Образование и личность. Теория и практика проектирования образовательных систем. Москва : Логос, 1999. 272 с.
151. Симоненко В. Д. Общая и профессиональная педагогика. Учебное пособие для студентов педагогических вузов. Москва : Вентана-Граф, 2006. 368 с.
152. Синергія [Електронний ресурс]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Синергія>. (дата звернення: 17.06.2017).
153. Сисоева С. О., Кристопчук Т. Є. Методологія науково-педагогічних досліджень : підручник. Рівне: Волинські обереги, 2013. 360 с.
154. Соціально-педагогічний словник / за ред. В. В. Радула. Київ : Ексоб, 2004. 304 с.
155. Скворцова С. О. Формування професійної компетентності в майбутнього вчителя математики [Електронний ресурс]. *Електронний журнал «Педагогічна наука: історія, теорія, практика, тенденції розвитку»*. 2010. Вип. № 4. URL: [http://www.intellect-invest.org.ua/ukr/pedagog\\_editions\\_e-%20magazine\\_pedagogical\\_science\\_vypuski\\_n4\\_2010\\_st\\_4/](http://www.intellect-invest.org.ua/ukr/pedagog_editions_e-%20magazine_pedagogical_science_vypuski_n4_2010_st_4/) (дата звернення: 03.09.2017).
156. Слостенин В. А., Исаев И. Ф., Шиянов Е. Н. Педагогика: учебное пособие для студ. высш. пед. учеб. завед. / под ред. В. А. Слостенина. Москва : Академия, 2002. 576 с.
157. Слепкань З. І. Наукові засади педагогічного процесу у вищій школі. Київ : НПУ імені М. Драгоманова, 2000. 210 с.
158. Слободяник О. В., Величко С. П. Особливості використання ІКТ у практичній діяльності вчителя. *Зб. наук. пр. Кам'янець-Подільського нац. ун-ту. Серія: педагогічна. Кам'янець-Подільський*, 2010. Вип. 16. С. 78–81.

159. Словник української мови в 11 томах [Електронний ресурс]. URL: <http://sum.in.ua/>. (дата звернення: 15.06.2018).

160. Слюсаренко В. В. Фізичний експеримент в навчально-виховному процесі. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Вип. 121. Ч. 1. Кіровоград, 2013. С. 122–126.

161. Слюсаренко В. В. Методика формування експериментальних компетентностей старшокласників з використанням вимірювального комплексу на уроках фізики: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / В. В. Слюсаренко; М-во освіти і науки України, КДПУ ім. В. Винниченка. Кіровоград, 2016. 272 с.

162. Смирнов С. Д. Педагогика и психология высшего образования. От деятельности к личности. Москва : Академия, 2003. 304 с.

163. Старша школа зарубіжжя: організація та зміст освіти / за ред. О. І. Локшиної. Київ : СПД Богданова А. М., 2006. С. 189.

164. Стельмах Я. Г. Формирование профессиональной математической компетентности студентов – будущих инженеров : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. пед. наук : 13.00.08 / Я. Г. Стельмах; ГОУ ВПО Самарский гос. тех. ун-т. Самара, 2011. 23 с.

165. Стрижак О. Є. Трансдисциплінарність навчально-інформаційного середовища. *Наукові записки Малої академії наук України : зб. наук. праць*. Київ, 2016. Вип. 8. С. 13–27.

166. Стрижак О., Сліпухіна І., Поліхун Н., Чернецький І. Ключові поняття STEM-освіти. *Наукові записки Малої академії наук України : зб. наук. праць*. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017. Вип. 10. С. 89–103.

167. Сурмин Ю. П., Туленков Н. В. Теория социальных технологий : учеб. пособие. Київ : МАУП, 2004. 608 с.

168. Суховірська Л. П. Ресурсний підхід до методики навчання фізики в загальноосвітніх навчальних закладах: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 /

Л. П. Суховірська; М-во освіти і науки України, ЦДПУ ім. В. Винниченка. Кропивницький, 2017. 382 с.

169. Сухомлинський В. О. Сто порад учителям. Київ : Рад. школа, 1988. 304 с.

170. Талызина Н. Ф. Технология обучения и ее место в педагогической теории. *Современная высшая школа*, 1977. № 1. С. 91–96.

171. Теоретические и методические основы изучения математики в начальной школе / А. В. Тихоненко [и др.]; под ред. А. В. Тихоненко. Ростов н/Д.: Феникс, 2008. 350 с.

172. Тесленко И. Ф. О структуре профессиональной деятельности учителя математики и повышении эффективности урока. *Математика в школе*. 1980. № 5. С. 11–17.

173. Тихоненко А. В. К вопросу о формировании ключевых математических компетенций младших школьников. *Начальная школа*. 2006. № 4. С. 78–84.

174. Туркот Т. І. Педагогіка вищої школи: навч. посіб. для студ. ВНЗ. Київ : Кондор, 2011. 628 с.

175. IV Фестиваль робототехники, программирования и инновационных технологий [Электронный ресурс]. URL: <http://www.roboland.kz/2-3-aprelya-2016-goda-sostoyalsya-mezhdunarodnyj-...> (дата обращения: 17.09.2017).

176. Физика. Пособие для выполнения лабораторных работ / А. Н. Бурмистров, В. Г. Борота, Ю. Г. Ковальов, **О. С. Кузьменко**, В. В. Фоменко: Составители: О. С. Кузьменко, В. В. Фоменко. 2-е изд., перераб. и доп. Кировоград : Изд-во КЛА НАУ, 2013. 172 с.

177. Философский энциклопедический словарь / Гл. редакция : Л. Ф. Ильчев, П. Н. Федосеев, С. М. Ковалев, В. Г. Панов. Москва : Советская энциклопедия, 1983. 840 с.

178. Філософський словник [Електронний ресурс]. URL: [http://gufo.me/content\\_fil/sreda-8064.html](http://gufo.me/content_fil/sreda-8064.html) (дата звернення: 13.09.2017).

179. Фіцула М. М. Педагогіка: навч. посіб. 2-ге вид., випр., доп. Київ : Академвидав, 2007. 560 с.
180. Харченко В. П., Лялько В. Г., Мелкумян В. Г. Основи практичної навігації: навч. посіб. Київ : НАУ, 2004. 256 с.
181. Харченко В. П., Мелкумян В. Г., Сушич О. П. Радіомаячні системи ближньої аеронавігації : навч. посіб. Київ : НАУ, 2011. 208 с.
182. Хен Д. Школа будущего: от принципов к планированию к созданию. *Информатика и образование*. 1996. №2. С. 97–120.
183. Хомутенко М. В. Методика навчання атомної і ядерної фізики старшокласників у хмаро орієнтованому навчальному середовищі: дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 / М. В. Хомутенко; М-во освіти і науки України, ІЦДПУ ім. В. Винниченка. Кропивницький, 2018. 397 с.
184. Хмарні технології. Переваги та недоліки. [Електронний ресурс]. URL: <https://valtek.com.ua/ua/system-integration/it-infrastructure/clouds/cloud-technologies> (дата звернення: 04.01.2019).
185. Хуторской А. В. Компетентностный подход в обучении [Научно-методическое пособие]. Москва : Эйдос; Издательство Института образования человека, 2013. 73 с.
186. Хуторской А. В. Ключевые компетенции: технология конструирования [Электронный ресурс]. *Народное образование*. 2003. № 5. URL: <http://khutorskoj.ru/books/bibliography.htm> (дата обращения: 04.03.2017).
187. Чернецький І. С. Використання інформаційних інструментів для структуризації та візуалізації наукових знань при проведенні попереднього дослідження. *Наукові записки Малої академії наук України : зб. наук. праць*. Київ, 2015. Вип. 7. С. 20–28.
188. Чернецький І. С. та інші. Застосування онтолого-керованого підходу в науковому аспекті STEAM-освіти. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2016. Вип. 8. С. 243–256.

189. Чернецький І., Поліхун Н., Сліпухіна І. Місце STEM-технології навчання в освітній парадигмі XXI століття. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 9. С. 50–62.

190. Шадриков В. Д. Новая модель специалиста: инновационная подготовка и компетентностный подход. *Высшее образование сегодня*, 2004. № 8. С. 26–31.

191. Шадриков В. Д. Личностные качества педагога как составляющие профессиональной компетентности. *Вест. Яросл. гос. ун-та им. П. Г. Демидова. Серия «Психология»*, 2006. № 1. С. 15–21.

192. Шарко В. Д. Методична підготовка вчителя фізики в умовах неперервної освіти: монографія. Херсон : ХДУ, 2006. 400 с.

193. Шацкий С. Т. Избранные педагогические сочинения в 2-х томах. Москва : Педагогика, 1980. Т. 2. 416 с.

194. Шилов К. В. Классификация инноваций. *Инновации в образовании*. 2007. № 3. С. 52–58.

195. Шишов С. Е., Кальней В. А. Школа: мониторинг качества образования. Москва : Педагогическое общество России, 2000. С. 17–18.

196. Шкіль М. І. Вимоги до підготовки вчителя математики. *Рад. школа*, 1984. № 12. С. 69–72.

197. Шунда Н. М. Формування знань про елементарні функції у професійній підготовці вчителя математики : автореф. дис. ... д-ра. пед. наук: 13.00.04; 13.00.02. Ін-т педагогіки і психології професійної освіти АПН України. Київ, 1996. 56 с.

198. Щуркова Н. Е. Педагогическая технология. Москва : Педагогическое общество России, 2002. 224 с.

199. Arbor Height Elementary to implement «eSTEM» curriculum in coming years [Electronic resource]. URL: <https://www.westsideSeattle.com/search/site/west%20Seattle%20herald%202013%2004%2030%20news%20arbor%20heights%20elementary%20implement%20estem%20curriculum/> (last access: 14.06.2017).

200. Anna Feldman «STEAM Rising : Why we need to put the arts into STEM education» [Electronic resource]. URL: <https://slate.com/technology/2015/06/steam-vs-stem-why-we-need-to-put-the-arts-into-stem-education.html> (last access: 11.06.2017)

201. «Annual Report – Lee Richardson Zoo» [Electronic resource]. URL: <http://leerichardsonzoo.org/AnnualReports/2007%20Zoo%20Annual%20Report.PDF/> (last access: 12.06.2017).

202. Anderson L. W., Krathwohl D. R. A Taxonomy of learning, teaching, and assessing. New York: Longman, 2001. 156 p.

203. Bybee R. W. The case for STEM education: Challenges and opportunities [Electronic resource]. Arlington, VA : *National Science Teachers Association Press*. 2013. URL: <http://static.nsta.org/files/PB337Xweb.pdf/> (last access: 12.07.2017).

204. Bloom B. S. Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals: Hand book I, cognitive domain. New York: Longman, 1994. 99 p.

205. Cedefop [Electronic resource]. URL: <http://www.cedefop.europa.eu/en/publications-and-resources/statistics-an.../> (last access: 13.07.2017).

206. Delivering STEM (science, technology, engineering and mathematics) skills for the economy [Electronic resource]. URL: <https://www.nao.org.uk/wp-content/uploads/2018/01/Delivering-STEM-Science-technology-engineering-and-mathematics-skills-for-the-economy.pdf/> (last access: 13.07.2018).

207. Delivering Digital Content, Modern Technologies, and Professional Development [Electronic resource]. URL: <https://www.pasco.com/about/stem/index.cfm/> (last access: 19.07.2018).

208. Development of STEM education in the world and in Kazakhstan [Electronic resource]. URL: <http://edu.gov.kz/ru/pavlodarcy-zanyali-2-mesto-na-mezhhdunarodnom-festiv.../> (last access: 14.05.2017).

209. Discover. Mathematics and science for life [Electronic resource]. URL: <http://www.mascil-project.eu/> (last access: 17.06.2017).

210. 3D printer snapmaker (3-in-1): 3D print, laser, CNC [Electronic resource]. URL: <https://www.phywe.com/en/3d-drucker-3-in-1-3d-druck-lasergravur-und-cnc-fraese-typ-snapmaker.html/> (last access: 18.06.2018).

211. DOBOT Robotic arm (3D print, gripping, writing, suction) [Electronic resource]. URL: <https://www.phywe.com/en/roboterarm-greifen-saugen-3d-druck-mit-wlan-und-joystick.html/> (last access: 14.06.2018).

212. Einstein™ [Electronic resource]. URL: <http://einsteinworld.com/home/> (last access: 19.06.2018).

213. Economic Modeling Specialists International [Electronic resource]. URL: <http://vitalsigns.changetheequation.org/state/united-states/demand#field.../> (last access: 25.08.2017).

214. Educational Robotics for STEM [Electronic resource]. URL: <http://er4stem.com/> (last access: 15.09.2017).

215. Essential Physics Modules [Electronic resource]. URL: <https://www.pasco.com/products/curriculum/essential-physics-modules/index.cfm/> (last access: 12.08.2017).

216. Federal Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education 5-Year Strategic Plan. May 2013 [Electronic resource]. URL: [https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/stem\\_stra.../](https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/stem_stra.../) (last access: 19.09.2016).

217. «PHYWE» [Electronic resource]. URL: <http://www.phywe-systeme.com/> (last access: 27.09.2017).

218. «Girls in Engineering, Math and Science (GEMS)» [Electronic resource]. URL: <https://www.grasp.upenn.edu/programs/girls-engineering-math-and-science-gems/> (last access: 25.09.2016).

219. Graduates in Science, Math, Computer Science, and Engineering [Electronic resource]. URL: <http://www.conferenceboard.ca/hcp/provincial/education/sciencegrads.aspx/> (last access: 19.10.2016).

220. Hall effect sensor : Micro switch sensing and control. Honeywell, 2011. P. 3–8.

221. Honeywell. Magnetic sensors [Electronic resource]. URL: [www.magneticsensors.com/](http://www.magneticsensors.com/) (last access: 14.10.2017).

222. Ingenious [Electronic resource]. URL: <http://www.ingenious-science.eu/> (last access: 17.10.2017).

223. INSTEM – AN INTRODUCTION [Electronic resource]. URL: <http://www.instem.tibs.at/> (last access: 23.11.2016).

224. Jonathan Gerlach «STEM: Defying a Simple Definition» [Electronic resource]. URL: <http://www.nsta.org/publications/news/story.aspx?id=59305/> (last access: 24.09.2016).

225. Literature Review – STEM Education in France [Electronic resource]. URL: [https://www.researchgate.net/publication/264545202\\_Literature\\_Review\\_-\\_STEM\\_Education\\_in\\_France/](https://www.researchgate.net/publication/264545202_Literature_Review_-_STEM_Education_in_France/) (last access: 29.09.2017).

226. Malaysia Education Blueprint 2013–2025 [Electronic resource]. URL: <http://jpwpl.moe.gov.my/download/phocadownload/sector/spm/upm/malaysiae.../> (last access: 12.03.2016).

227. Michael Gardner. Germany has leading position in tertiary STEM subjects [Electronic resource]. URL: <https://www.universityworldnews.com/post.php?story=20170915095958885/> (last access: 15.04.2017).

228. Mind the Gap. Promoting girls and women in STEM [Electronic resource]. URL: <http://mindthegaproject.eu/> (last access: 14.03.2017).

229. Mechanics 2.0. [Electronic resource]. URL: <https://www.phywe.com/en/mechanics-2-0.html/> (last access: 05.03.2018).

230. STEM education in the Irish school system [Electronic resource]. URL: <https://www.education.ie/en/Publications/Education-Reports/STEM-Education-in-the-Irish-School-System.pdf/> (last access: 19.05.2018).

231. Spanish Strategy for Science, Technology and Innovation (EESTI) [Electronic resource]. URL: <https://rio.jrc.ec.europa.eu/en/library/spanish-strategy-science-technology-and-innovation-eesti/> (last access: 24.02.2018).



232. STEM Module: Egg Drop [Electronic resource]. URL: [https://www.pasco.com/prodCatalog/PS/PS-2989\\_stem-module-egg\\_drop/index.cfm/](https://www.pasco.com/prodCatalog/PS/PS-2989_stem-module-egg_drop/index.cfm/) (last access: 14.02.2018).

233. STEM Module: Collisions [Electronic resource]. URL: [https://www.pasco.com/prodCatalog/PS/PS-2986\\_stem-odulecollisions/index.cfm/](https://www.pasco.com/prodCatalog/PS/PS-2986_stem-odulecollisions/index.cfm/) (last access: 19.04.2018).

234. Studying in Italian – Science and Mathematics: a MOVE-ME Project Course [Electronic resource]. URL: <https://www.futurelearn.com/courses/italian-for-stem/> (last access: 24.03.2017).

235. The Engineer of 2020: Visions of Engineering in the New Century [Electronic resource]. National Research Council. 2004. Washington, DC: National Academies Press. URL: <https://www.nap.edu/read/10999/chapter/1/> (last access: 25.04.2017).

236. The Norwegian STEM Strategy Lene Ofte dal Copenhagen [Electronic resource]. URL: <http://nordicengineers.org/system/files/filedepot/9/Presentation%20Lene%20Norwegian%20STEM%20strategy.pdf/> (last access: 23.04.2018).

237. TI-Innovator Hub, Texas Instruments [Electronic resource]. URL: <https://www.phywe.com/en/ti-innovator-hub-texas-instruments.html/> (last access: 13.05.2018).

238. National STEM School Education Strategy. December 2015 [Electronic resource]. URL: <http://www.educationcouncil.edu.au/site/DefaultSite/filesystem/documents.../> (last access: 23.05.2017).

239. National Technology Pact 2020 [Electronic resource]. URL: <https://www.techniekpact.nl/cdi/files/e3bd421f98a0f362b6a13091de60d08978df34e9.pdf/> (last access: 24.06.2017).

240. Petz A., Miesenberger K. Supporting Blind Students in STEM Education in Austria. *Stud Health Technol Inform.* 2015; 217:27-31. [Electronic resource]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26294449/> (last access: 24.08.2017).

241. Project Kaleidoscope. What Works in Facilitating Interdisciplinary Learning in Science and Mathematics [Electronic resource]. 2011. Washington.

DC: Association of American Colleges and Universities.  
URL: <http://www.aacu.org/pkal/interdisciplinarylearning>, accessed 5/20/2011/  
(last access: 14.11.2016).

242. Rob Blaauboer. Science and Technology Education: A Dutch Perspective [Electronic resource] URL: <http://www.innovationmanagement.se/2011/02/18/science-and-technology-education-a-dutch-perspective/> (last access: 19.11.2017).

243. Rockwellcollins [Electronic resource]. URL: [www.rockwellcollins.com/](http://www.rockwellcollins.com/)  
(last access: 19.11.2017).

244. Science education [Electronic resource]. URL:  
<http://www.helsinki.fi/luma/english/index.shtml/> (last access: 21.08.2018).

245. Skinner B. F. The Origins of Cognitive Thought. *American Psychologist*. Jan. 1989. Vol. 44, №. 1. P. 13–18.

246. Study: Interest in STEM Fuels Growth in Number of International Students in U.S. [Electronic resource]. URL:  
<https://www.usnews.com/education/best-colleges/articles/2016-11-14/study-interest-in-stem-fuels-growth-in-number-of-international-students-in-us> (last access: 22.08.2017).

247. «Virginia Tech and Virginia STEAM Academy form strategic partnership to meet critical education needs» [Electronic resource]. URL: <https://vtnews.vt.edu/articles/2012/07/073112-uged-steampartnership.html/>  
(last access: 13.05.2016).

248. Voronkova V., Kyvliuk O., Nikitenko V., Oleksenko R. «Stem-education» as a factor in the development of «smart-society» : forming of «stem-competence». Humanitarian Bulletin of the Zaporizhzhya State Engineering Academy, Zaporizhzhia, 2018. Release 72. P. 114–124.

249. William E. Marshall «Guest commentary: A «STEM» in Collier County to reach their future» [Electronic resource]. URL:  
<http://archive.naplesnews.com/opinion/perspectives/guest-commentary-a-stem-in-collier-county-to-reach-their-future-2392f62e-9c19-2198-e053-0100007f6ee5-341858231.html/> (last access: 11.09.2016).

## РОЗДІЛ 3

### РОЗВИТОК МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ В ТЕХНІЧНИХ ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ НА ОСНОВІ STEM-ТЕХНОЛОГІЙ

#### 3.1. Теоретичні й методичні засади розвитку методики навчання фізики в технічних закладах вищої освіти на основі STEM-технологій

Упровадження в навчання фізики модернізаційної системи STEM-освіти, що забезпечить широкомасштабну реалізацію основних ідей освітніх реформ у повсякденній діяльності технічних ЗВО [134]. З огляду на це в системі вищої освіти України зумовлюють визначення сучасних підходів з використання STEM-технологій у теорії та практиці навчання.

Переведення освітніх новацій з рівня теоретичного знання в процесі навчання фізики на рівень їх продуктивного використання можливе, якщо розроблено технологію їх реалізації. Саме рівень реалізації STEM-технологій у методиці навчання фізики є показником актуальності та ефективності, що виявляється в нових якісних результатах освітнього процесу з фізики.

В узагальненому вигляді проблему осучаснення освітнього процесу з напрямку інноваційного забезпечення та технологізації як елемента STEM-освіти потрібно реалізувати системністю діяльності, проектуванням, експертизою та моніторингом в організації освіти. Поняття інновації ми вважаємо результатом такої діяльності з реалізації STEM-технологій, що сприяє кількісним та якісним змінам рівня розвитку компетентностей студентів. Його визначено в працях В. Беспалько [5], О. Дахіна [28], Д. Джонса [30], В. Докучаєва [32], В. Загвязинського [41], Г. Мкртичяна [84], С. Полякова [95], А. Хуторського [122; 123], В. Ясвіна [129] та ін.

Технологізація інноваційних процесів засобами STEM-освіти є відповідною реакцією на зростання їх складності за обсягами, кількістю суб'єктів нововведень, факторами, зв'язками, а також потрібно в одночасному поєднанні реалізації різних нововведень у методиці навчання фізики.

Учений А. Пригожин зазначає, що «ефективність ще довго буде у великій ціні, а технологізація є безперечним джерелом її, оскільки виробляє антагоніста складності – спрощення» [96, с. 366].

Технологізація – це діяльність з оптимізації процесів або діяльності, у нашому дослідженні – інноваційних. На думку науковця, можна окреслити такі переваги та якості технологізації [96, с. 367]:

- раціональність, яка дає змогу економити час, енергію, сили, ресурси тощо;

- знеособлення, тобто незалежність від особистих якостей працівника, тому що різноманітність індивідуальностей буде певним чином звужено, зведено до якогось єдиного, однак відносного знаменника, під час виконання технологічних процедур;

- тиражування – можливість передачі іншим, використання цих самих технологій у процесі заміни людей, тому технологія є освоєним, тиражованим проєктом.

За твердженням Г. Герасимова та Л. Ілюхіна [24], на різних етапах життєвого циклу інновації формують свої механізми, які можуть розв'язати ту чи ту предметність дії з відповідною логікою.

На першому етапі розвитку інновації спостерігається логіка руху від ідеї «нового» до моделі її оптимальної реалізації у вигляді «нововведення» як змісту і «нововведення», як певного способу впливу на системні якості об'єкта та інновації.

На другому етапі розгортається безпосередня реалізація сформульованих раніше конструктів, тому його зміст полягає в логіці якісної зміни системи.

Специфіка третього, завершального (в інтерпретації авторів), етапу реалізації інновації полягає в тому, що він складається ніби з двох достатньо самостійних фаз: перша – ініціювання інноваційних змін в іншому масштабі діяльності; друга – самі інноваційні зміни як відтворення інновації в нових умовах. Таку структуру третього етапу можна пояснити, з одного боку,

закономірностями дифузії інновації в соціокультурному просторі, з іншого – потрібною експансією інновації, що забезпечує її подальший розвиток [24, с. 25–27].

Аналіз досвіду модернізації вищої освіти в контексті розвитку STEM [124; 125; 134; 135; 136] засвідчує наявність істотного розриву між теорією і практикою впровадження інноваційних освітніх процесів, тому дослідники усвідомлюють потребу в науково обґрунтованих, апробованих і таких, що підтвердили свою ефективність, технологіях реалізації інновацій. Ми розробили модель методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін у технічних ЗВО на засадах STEM-освіти (рис. 3.1), яка забезпечить цілісну методологічну, теоретичну та методичну базу для впровадження STEM-технологій в освітній процес технічних ЗВО, що створюватиме передумови їх реалізації для підготовки професійно зорієнтованих фахівців, а також сприятиме формуванню й розвитку STEM-компетентності.

У положенні Міністерства освіти і науки України «Про порядок здійснення інноваційної освітньої діяльності» розроблено загальні рекомендації щодо застосування інновацій на рівні окремого закладу вищої освіти, окреслено правові, фінансові, організаційні, управлінські, кадрові та інші процедури й вимоги [93], однак процес реалізації інновацій у навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін детермінується комплексом різноманітних факторів та умов, спричинених змістом та особливостями нововведення й специфікою конкретного закладу освіти.

Усупереч твердженню, що «будь-яке велике відкриття, тобто новація, по суті, завжди ненормативне, а значить, і не має узаконених способів свого впровадження в існуючу практику» [111, с. 24], вважаємо, що для отримання стійких, прогнозованих, а не стихійних, непередбачуваних результатів, потрібні чіткі, науково обґрунтовані алгоритми, засади реалізації інновацій.

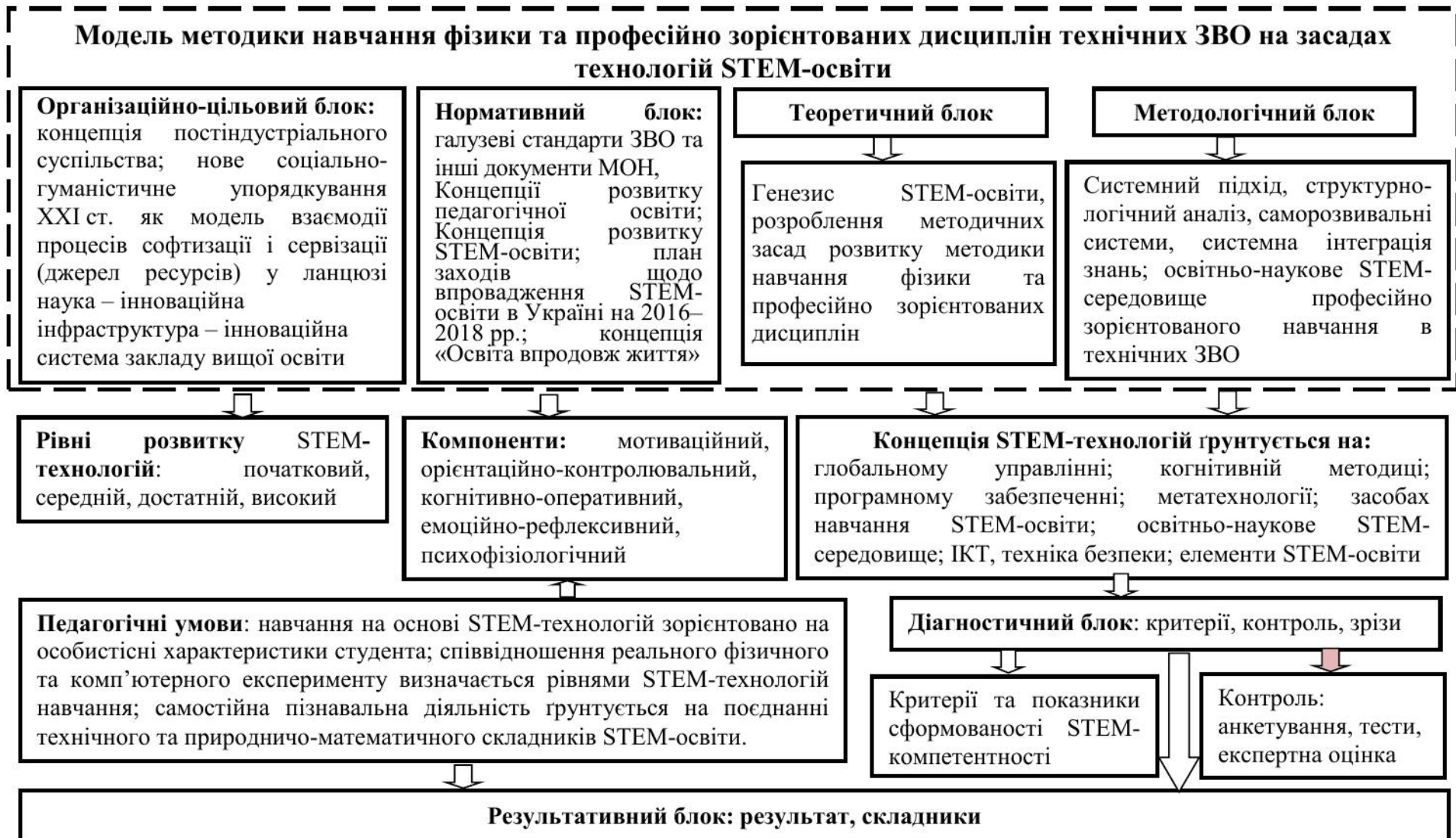


Рис. 3.1. Модель методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін у технічних ЗВО на засадах STEM-освіти

У монографії Г. Герасимова й Л. Ілюхіної, у якій досліджено сутність і механізми феномена інновації в освіті, порушено проблему щодо тенденції втрати сутності нововведень унаслідок ефекту соціальної дифузії. Причини цього явища полягають у недостатньому науково-теоретичному забезпеченні змістового компонента процесу реалізації інновацій та неадекватності наявних систем управлінського супроводу й управлінської культури до того потенціалу й особливостей нововведень, що характеризують їх як механізм розвитку освітніх і педагогічних систем, тому автори вважають, що «винятковий інтерес представляє аналіз організації дії цього механізму, тим більше, що основна частина наявних в теорії спроб визначення послідовності дій з переводу ідей у відчутні зміни знаходиться у сфері науково-технічного або управлінського механізмів» [24, с. 21].

Видатний український педагог В. Сухомлинський стверджував, що «...перетворення наукових істин у живий досвід творчої праці – це найскладніша сфера дотикання науки до практики. Зроблене вченим відкриття, коли воно оживає в людських взаємовідносинах, у живому пориві думок і емоцій, постає перед учителем як складне завдання, розв'язати яке можна багатьма способами. У виборі способу, втіленні теоретичних істин у живі людські думки й емоції саме і полягає творча праця вчителя...» [116, с. 402].

Учені дійшли висновку, що закономірність упровадження інновацій полягає в етапності перенесення акцентів з інноваційних теорій, концепцій, ідей на технології їх реалізації у практичній діяльності. Це гарантує ефективність і результативність інновацій та можливості їх застосування в масовій практиці, а саме практиці навчання з урахуванням технологій STEM-освіти. Узагальнений нами досвід удосконалення методики навчання фізики [14; 38; 80; 91; 92; 101; 102; 103; 105; 107; 108; 110; 124; 126] засвідчує, що ефективність інноваційних процесів забезпечує перехід від разових або періодичних проєктів до постійних системних нововведень у навчання фізики в технічних ЗВО. Розроблення проєкту реалізації кожний раз для

окремої інновації і в кожному профільному закладі освіти потребує значних витрат часових, фінансових та інших ресурсів, що суттєво знижує ефективність етапності нововведень.

У працях А. Хуторського зазначено, що в сучасній системі освіти створено безліч інноваційних моделей та стратегій їх практичної реалізації. Для кожної інновації часто пропонують свій метод і свою стратегію, що спричиняє емпіризм та невдачі в реалізації інновацій. Для розв'язання цієї проблеми, автор пропонує розроблення методологічних основ інноваційної діяльності з урахуванням проектування та реалізації інновацій. Для роботи в інноваційному режимі потрібен замкнутий управлінський цикл, який складається з цілепокладання, планування, програмування, організації системного моніторингу, корекції інноваційних процесів за результатами зворотного зв'язку [123].

На думку А. Пригожина, не тільки інновація перетворює педагогічну систему, є «протеїном для її розвитку» [96], а й ресурси педагогічної системи є тим живильним ґрунтом, на якому зростає потенціал нововведення.

Науковець Л. Ващенко [13] вибудовує етапи реалізації системи управління інноваційними процесами з огляду на мету цього процесу. Учений розглядає нововведення як циклічний процес, що постійно змінюється.

На інформаційному етапі передбачено вичення стану функціонування та ресурсних можливостей змін системи, формулювання проблеми інноваційного пошуку.

Локально-операційний етап забезпечує вироблення та прийняття управлінських рішень на основі формалізації нововведень.

Організаційний етап впливає на об'єкт управління, координацію, здійснення контролю та оцінювання, а продуктивний етап переводить процес на рівень поширення нововведення, аналізу тенденцій подальших змін та прогнозування [13, с. 24]. На наш погляд, у такому представленні технологія пропонує здебільшого зовнішнє регулювання нововведення без характеристики й суб'єктів нововведення й чіткості результатів інновації.



Розроблена С. Поляковим [95] модель нововведень в освітній установі містить такі фази:

1) пошук нових ідей відбувається у два етапи: створення інформаційного фонду та виявлення інноваційних потреб освітньої установи;

2) формування нововведення передбачає: аналіз та проектування, формулювання інноваційних ідей і можливостей закладу освіти, проектування перебігу роботи; апробування інноваційних ідей; підбиття підсумків апробування, прийняття рішення про масштабне нововведення, вироблення програми його реалізації;

3) реалізація нововведення, для чого потрібно збільшити управлінські ресурси; залучити до інноваційної діяльності всіх працівників; організувати інноваційне навчання для засвоєння інноваційних технологій усім колективом;

4) закріплення нововведення, що стосується вже всіх членів педагогічного колективу, тобто настає пік адаптації нововведення до системи закладів освіти й навпаки – системи до нововведення [95, с. 88–89].

Реалізація розглянутих теоретичних і методологічних проблем інноваційності та технологізації освітнього процесу можлива з їх упровадженням в освітній процес із засвоєння навчальних дисциплін технічних ЗВО. Водночас наявні моделі процесу нововведень у методиці навчання фізики, на нашу думку, недостатньо технологічні. Переважно в них розкрито теоретичні аспекти реалізації інновацій, а змістовий і процесуально-діяльнісний аспекти залишаються або не досить конкретними, або занадто прив'язаними до якоїсь певної інновації, що спричинено відсутністю ефективних засобів формування компетентного фахівця – випускника технічного ЗВО.

З огляду на результати аналізу праць О. Стрижака [115], І. Сліпухіної [108; 109; 110; 134; 135; 136], В. Шарко [126] та інших науковців ми вважаємо, що такою технологією може бути STEM-технологія, яка полягає в розробленні й реалізації технологічного процесу – системи

технологічних одиниць, зорієнтованих на конкретний результат на основі науково-обґрунтованих засад. Для досягнення технологічності процесу реалізації інновацій у навчанні фізики ми виокремили основні вимоги до них, з-поміж яких:

- системність процесу реалізації, яка виникає як результат причинно-наслідкових, змістових і функціональних зв'язків між цілями, змістом, формами й методами взаємодії суб'єктів інновації;

- науковість ідей, теорій, принципів, покладених в основу інновації фізики;

- концептуальність теоретико-методологічних позицій – системи поглядів на інноваційний процес як закономірне явище розвитку НС фізики;

- спрямованість на гарантоване досягнення цілей у процесі навчання фізики, які можна діагностувати як зміни в системі внаслідок реалізації інновації;

- структурованість – поділ процесу на послідовні, пов'язані між собою етапи, координованість дій, операцій;

- алгоритмічність – однозначність виконання, передбачених у технології дій та операцій за чітко визначеною схемою під час вивчення фізичних явищ, понять, законів;

- керованість – можливість коригування дій та аналізу даних діагностики на кожному технологічному етапі реалізації інновації з фізики;

- ефективність – позитивне співвідношення отриманих результатів і кількості витрачених ресурсів;

- відтворюваність передбачає можливість здійснення фізичного процесу іншими суб'єктами в аналогічних умовах з використанням опису всіх його характеристик.

Діалектичність процесу нововведення, забезпечується взаємодією всіх об'єктів й суб'єктів та взаємозумовленим і взаємокорисним симбіозом модернізації й вимог до технологізації через нововведення, управління інноваціями, моделі нововведень і їх етапність засобами пошуку,

формування, реалізації та закріплення інновацій. Викладені вище положення дають підстави узагальнити висновки через виокремлення *теоретичних та методичних засад розвитку методики навчання фізики* в технічних ЗВО на основі STEM-технологій, що забезпечить підвищення результативності самостійної навчально-пошукової діяльності студентів:

1. Якісне свідоме засвоєння студентами компетенцій теоретичних та практичних основ фізики з урахуванням STEM-технологій забезпечить обґрунтовану математизацію, технологізацію, інноватизацію – загалом STEMатизацію освітнього процесу, що сприяє формуванню компетентного фахівця технічного профілю.

2. Компетентнісний, інтеграційний, міждисциплінарний, системний та професійно зорієнтований підходи до процесу навчання фізики в технічних ЗВО передбачає зміну поглядів на сутність і призначення системи фізичного експерименту, створення нового покоління фізичних приладів, устакування, технічних засобів спрямованих на особистісне самостійне навчання з урахуванням індивідуальних особливостей, здібностей, нахилів кожного суб'єкта навчання, з розширенням обсягу експериментальних завдань, робіт фізичного практикуму на базі STEM-технологій навчання.

3. Успішне формування компетентнісного фахівця в умовах побудови інформаційного суспільства забезпечить теоретично й методологічно обґрунтована система фундаментальних понять фізики для технічних ЗВО, яка передбачає впровадження інноваційних технологічних напрямів за дотримання дидактичних принципів науковості, наочності, доступності та визначених педагогічних умов, глибини, цілісності, універсальності, фундаментальної основи, оновленої в контексті STEM-освіти.

4. Формування компетентного майбутнього фахівця технічної галузі діяльності має забезпечити система психолого-педагогічних впливів, спрямована на формування готовності до пошуку, створення, реалізації та закріплення ефективних і дієвих інновацій в освітньому процесі фізики з

упровадженням комп'ютерних технологій, STEM-освіти, мехатроніки, робототехніки.

5. Забезпечення систематичного вивчення та впровадження в освітній процес трансформованих до вимог принципів дидактики результатів наукових досягнень з фізики, методичних надбань учених та викладачів ЗВО завдяки створенню дієвого освітньо-наукового середовища з ідеологією STEM-освіти, що активізує самостійну пізнавально-пошукову діяльність студентів та формування в них природничо-наукового світогляду.

6. Розроблення механізму впровадження оцифрування в фізичній освіті, що викликає потребу з формулювання наукових та педагогічних вимог до STEM-засобів освіти з фізики для технічних ЗВО, робототехніки та мехатроніки. Це посилить роль теоретичного знання в навчанні фізики, надасть йому пріоритетності у формуванні компетентного майбутнього фахівця, посприє реалізації потенційних можливостей для активізації пізнавальної діяльності суб'єктів навчання.

7. Створення ефективної системи навчання фізики в технічному ЗВО значною мірою забезпечить формування алгоритмічного, наочно-образного, теоретичного стилів мислення студентів, вироблення в них уміння оптимізувати прийняття рішення в складній ситуації, оперативно опрацьовувати інформацію з використанням систем аналізу даних, інформаційно-пошукових систем, баз даних на основі освітньо-наукового STEM-середовища та принципу інноваційності.

Визначені засади дають підстави запровадити інноваційний процес навчання фізики в технічному ЗВО на основі STEM-технологій та визначити конкретні технологічні завдання щодо забезпечення:

- концептуального проєктування технології реалізації STEM-інновацій з фізики;
- чіткого прогнозування цілей нововведення й гарантованого досягнення результатів інноваційної діяльності студентів у процесі навчання фізики з використанням STEM-технологій;

- формування обсягу і послідовності дій та операцій, важливих для отримання прогнозованих результатів студентами в навчанні фізики;
- стандартизації процесу навчання, що зменшує кількість операцій, зменшує час і витрати на підготовку педагогів, забезпечує уникнення спонтанних і помилкових дій, невиправданих спроб в освоєнні STEM-інновацій з фізики в технічних ЗВО;
- віднайдення ефективних форм взаємодії суб'єктів нововведень в освітній процес фізики з урахуванням сучасних тенденцій розвитку STEM-освіти;
- скорочення термінів виконання певних стадій та операцій освітнього процесу з фізики з використанням STEM-технологій;
- конкретизації дій кожного з виконавців, координації взаємодії, зменшення їх зусиль під час засвоєння нових форм діяльності в освітньому процесі з фізики в контексті STEM-освіти;
- активізації каналів зворотного зв'язку під час перебігу нововведень для ефективного управління освітнім процесом з фізики;
- створення можливостей для зміни алгоритму дій, спрощення чи ускладнення операцій зі зміною умов реалізації STEM-інновацій, зростання інноваційного потенціалу технічного ЗВО, підвищення технологічної компетентності студентів у навчанні фізики.

Зазначене вище дає змогу стверджувати, що в обґрунтованих теоретичних та методичних засадах розвитку методики навчання фізики в технічних ЗВО на основі STEM-технологій важливо враховувати індивідуальні особливості студентів в освітньо-науковому STEM-середовищі.

Процес реалізації STEM-інновацій у навчанні фізики забезпечує практичне використання педагогічної системи й внесення змін до неї, що допомагає вивести її на такий рівень функціонування, який допомагатиме отримувати якісно нові стійкі результати діяльності та визначатиме інноваційний потенціал нововведення.

### **3.2. Формування фундаментальних фізичних понять у студентів технічних закладів вищої освіти сучасними STEM-засобами навчання**

Формування фахівця технічної галузі інформаційного суспільства великою мірою залежить від якості вивчення курсу фізики, у якому студенти завдяки спостереженням і моделюванню фізичних явищ та процесів переходять до теоретичного методу дослідження: аналізу, синтезу, систематизації й практицизму, а далі до експериментальних методів дослідження природи. Єдність теоретичного та експериментального складників зумовлено методологічним підходом у дослідженнях [42; 117; 125; 126; 136].

Одним з напрямів реформування фізичної освіти є посилення її наукової спрямованості на основі впровадження STEM-технологій у технічному ЗВО. Навчальний предмет фізика технічного ЗВО забезпечує формування наукового мислення в процесі пізнання навколишнього світу та має прикладне значення для подальшого вивчення професійно зорієнтованих дисциплін.

Рівень сформованості фізичних знань студентів залежить від усвідомленості фундаментальних фізичних понять, законів, теорії та принципів. З огляду на це вивчення особливостей об'єднання фундаментальних взаємодій є актуальною проблемою, оскільки її розв'язання сприятиме створенню єдиної теорії всього. Дослідження теоретичної та експериментальної діяльності вчених є стійким підґрунтям, що забезпечує визначення сучасних наукових напрямів розвитку науки. Фундаментальними фізичними поняттями є такі, що передбачають одержання нових знань про закономірності розвитку природи, віддзеркалюють фундаментальні – основні властивості природи й водночас є універсальними засобами пізнання [29; 64; 67].

Узагальнення згаданих праць дало змогу створити систему фундаментальних понять з фізики для навчання в технічних ЗВО засобами

інтеграції STEM – новітньої науки, технологій, інженерії та математики (рис. 3.2).

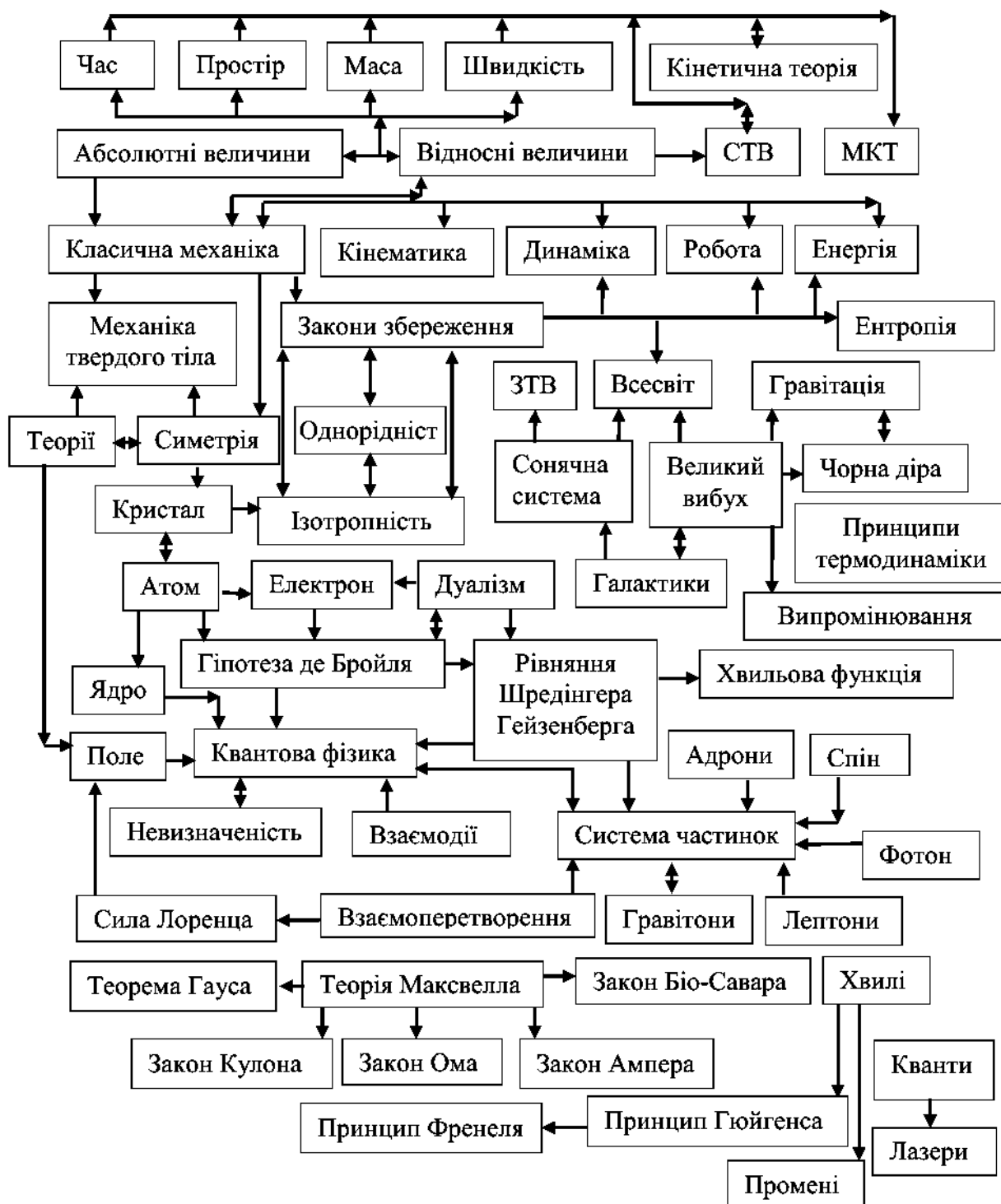


Рис. 3.2. Система фундаментальних понять фізики технічних ЗВО

Структура визначених понять охоплює всі розділи фізики у взаємозв'язку й спрямована на оволодіння інженерним складником майбутнього фахівця. Окреслені поняття математизовані і відповідають сучасному розвитку науки. Усесвіт об'єднує астрофізику, космологію,

планетологію, фізику плазми. До фундаментальних понять класичної механіки належать закони кінематики, динаміки, принципи термодинаміки, молекулярно-кінетична теорія, поняття енергії, роботи, ентропії, ізотропності, однорідності, СТВ, симетрії, механіка твердого тіла, кристали тощо. Блок фізика елементарних частинок об'єднує фізику прискорювачів, ядерну фізику, Стандартну модель, теорію великого об'єднання, теорію струн.

З-поміж фундаментальних взаємодій слід згадати гравітацію, електромагнетизм, слабку взаємодію, сильну взаємодію, елементарну частинку, спин, теорію всього тощо. В окремих блоках виявляються поняття фізики конденсованих речовин, фізики твердого тіла, гідродинаміки, газ, рідина, тверде тіло, плазма, магнетизм, самоорганізація, закони збереження, однорідність простору та часу, ізотропність. У сукупності така структура фундаментальних понять фізики технічних ЗВО відповідає вимогам STEM-освіти.

Практично всі виокремлені фундаментальні поняття пов'язано з матерією, її властивостями, що виявляються в найрізноманітніших формах. Дослідники встановили, що поняття матерія, пройшло 4 стадії розвитку: наочно-чуттєве уявлення про матерію древніх греків; фізикалістичне, у якому буття розглянуто лише як продовження фізичних властивостей речей (Р. Декарт, П. Гассенді, І. Ньютон, М. Ломоносов, Д. Дальтон, К. Гельвецій, П. Гольбах та ін.); в період між першою промисловою революцією та кризою фізики XIX–початку XX ст. (до встановлення мінливості атомів, ядер, елементарних частинок) панували механістичні погляди Г. Галілея, Г. Гюйгенса та І. Ньютона, за якими матерію вважали масою, особливою властивістю макротіл, тобто було підмінено матерію субстанцією речей; усередині XX ст. унаслідок інтеграції різних стратегій дослідження матерії виник субстанційно-ціннісний етап, на якому всі види матерії (речовину й поле) розглядали з позиції методології діалектико-аксіологічного підходу. Завдяки квантовій механіці виявлено відносність у розмежуванні поля й



речовини. На основі наведених узагальнень виокремлено STEM-властивості матерії: об'єктивність, вічність, невичерпність, нестворенність, багатоякісність, системність, структурність, самоорганізація, взаємодія, віддзеркалення та ін. [27].

Протягом останніх двох століть природнича наука відкрила й у майбутньому ще відкриє немало нового, неймовірного в структурі матерії, зокрема на цей час встановлено, що матерія є дискретною. STEM-інформація про матерію розкриває внутрішню теоретичну значущість, суспільної свідомості матеріалізму, субстанцію, найбільш важливу сутність світу. Філософи-матеріалісти стверджують, що у світі нічого немає, крім матерії, до якої належить також свідомість [63; 64; 67].

У розробленій нами системі фундаментальних понять фізики технічних ЗВО (рис. 3.1) закономірно домінує поняття теорії як сукупності висновків, що віддзеркалює відношення і зв'язки між явищами реальності в інформаційній моделі [8]. Представлення у визначеній системі фундаментальних понять теорії (сучасної сукупності), класичної, МКТ, квантової, кінетичної, СТВ та інше ґрунтується на дослідженнях їх еволюції в працях учених і відповідає сформульованим у нашій науковій розвідці вимогам до STEM-освіти, за якими наука й теорія є домінантними поняттями.

Зокрема О. Ляпунов пропонує розглядати чотири типи наукових теорій, які стосуються й фізики: описові, математично моделювальні, аксіоматизовані теоретико-множинного рівня, логіко-математичні [79, с. 39].

У наукових дослідженнях відзначається, що методологія виконує наступні функції [87]: 1) окреслює галузі та способи узагальнення фундаментальних та прикладних знань, еволюцію процесів та явищ; 2) прогнозує напрями досягнення науково-дослідної мети; 3) сприяє всебічний аналіз накопиченої інформації, що досліджується; 4) передбачає можливості створення нової інформації; 5) формує напрямки систематизації об'єктивної наукової інформації та логіко-аналітичний інструмент наукового пізнання.

За твердженням М. Садового, у фізичній науці процес пізнання має завершальну форму завдяки узагальненню на теоретичному рівні. Учений пропонує таку послідовність розгортання теоретичного узагальнення, представлених поетапно [101, с. 32–33]:

*I етап.* Накопичення й узагальнення фактів та зв'язків між ними в процесі предметно-матеріальної діяльності людини. Процес навчання передбачає вивчення й аналіз спеціально відібраних фактів, їх порівняння з раніше вивченими.

*II етап.* Абстрагування – відхилення від конкретних явищ і формулювання узагальнення з використанням тієї чи тієї його модельної форми: поняття про фізичну величину, закон чи рівняння, постулат або систему постулатів.

*III етап.* Одержання й обговорення можливих конкретних висновків і наслідків із основної закономірності – абстрактної формули, закону, принципу. Це етап розгортання так званого вивідного знання, здобутого методами логічних суджень і математичних виводів.

*IV етап.* Застосування одержаних знань для аналізу конкретних фізичних об'єктів і явищ. Із соціально-історичного погляду, пізнання зрештою віддзеркалюється в матеріально-виробничій діяльності людей, а процес навчання – у поясненні явищ природи, у застосуванні до пояснення промислових і виробничих процесів, у розв'язанні різного типу задач, що ілюструють вияв законів і теорій, у постановці експериментів тощо».

Запропоновані вище етапи теоретичного узагальнення зображені на рис. 3.3, які доцільно використовувати в освітньому процесі технічного ЗВО.



Рис. 3.3. Етапи узагальнення теоретичного матеріалу з фізики

О. Лозова, С. Горбенко в якості провідної основи STEM-освіти визначає поняття інтеграції. В цьому випадку вбачається осучаснення змісту і обсягу навчальних дисциплін, висвітлення методологічних засад з точки

зору сучасної парадигми освіти, зокрема природничо-математичних предметів, формування компетентностей якісно нової якості, технологізацію навчання [78, с. 78-80].

Т. Нестека, О. Орлова вважають, що у змісті STEM-освіти закладена антропологічна інтерпретація педагогічної теорії та практики [91, с. 105]. STEM-освіту вони визначають ефективною категорією «у формуванні предметної, дослідницької, діяльнісної компетентностей, що має реальні можливості для управління різноманітними видами діяльності суб'єктів навчання, є джерелом постійного зростання та вдосконалення, спроможна забезпечити результативність і якість навчання. Саме тут, звільнившись від традиційних принципів контролю та самоконтролю, інноваційне мислення спроможне відкрити шляхи з сучасності в майбутнє» [91, с. 106].

В. Ракута розглядає поняття «GeoGebra – це вільний педагогічний програмний продукт, призначений для вивчення і викладання математики в закладах загальної середньої та вищої освіти, який поєднує динамічну геометрію, алгебру, математичний аналіз, таблиці, статистику та 3D математику. GeoGebra є інноваційним сучасним проектом, створеним з використанням останніх досягнень в галузі ІКТ. Продовжується активна робота над його розвитком та вдосконаленням. Організована потужна онлайн підтримка користувачів програми за допомогою порталу <https://www.geogebra.org>» [97, с. 105–111].

Теоретико методологічні проблеми STEM-навчання, як ефективних організаційних форм, моделей та ресурсного забезпечення виділяє О. Гриб'юк як спеціальне комп'ютерно зорієнтоване середовище предметів природничо-математичного циклу [26, с. 38–50]

Учений Я. Биковський у дисертаційному дослідженні [11] узагальнив великий масив джерельної бази і позначив теоретичні засади виокремивши, що в системі освіти «STEM позиціонують як STEM-підхід, STEM-навчання, STEM-освіту, STEM підготовку». Дослідник виокремлює позашкільну освіту як найбільш ефективну в реалізації STEM-підходу, як педагогічну умову, яка

базується на включенні науки, технології, фізики та математики до освітнього процесу фізико-математичних гуртків закладів позашкільної освіти [11, с. 131].

О. Разумовський [94] розрізняє три типи наукових теорій, які є актуальними для STEM освіти:

– емпіричні, створені на основі емпіричних та напівемпіричних законів, що дозволило забезпечити генералізацію навчального матеріалу за рахунок індуктивного методу та синтезу фактів. Вони носять в основному якісний характер;

– математизовані теорії ґрунтуються на фундаментальних досягненнях математичних методів досліджень, які набули поширення в прикладних технічних галузях та моделюванні;

– дедуктивні здебільшого охоплюють загальнонаукові, фундаментальні напрями в наукових дослідженнях. Метод їх побудови є аксіоматичним із зафіксованими логічними засобами [94].

В. Гейзенберг вважав, що підхід до побудови фізичних наукових теорій спирається на гіпотетико-дедуктивну систему, аксіоматичній основі [25].

Методологічне дослідження В. Кульчицького показало, що «логіко-дедуктивна структура фізичної теорії пов'язана із виведенням сукупності наслідків з основних рівнянь теорії і є складним інтуїтивним процесом тенденції розвитку поняття симетрії у фізиці. Відкриття спеціальної теорії відносності створило потребу для розвитку теоретико-інваріантного підходу. Створення загальної теорії відносності і розробка концепції збереження на загальнорелятивістській основі підготували новий етап в розвитку вчення про симетрію – становлення теорем Е. Нетер, які відкривають фундаментальну роль принципу симетрії у сучасній фізиці» [71].

З огляду на викладене, зазначимо, що ознаками теорії STEM-освіти є систематизація, узагальнення, здатність до саморозвитку, до внутрішнього розвитку. Понятійна структура теорії створює особливу поведінку, за якою змістовий рух теорії визначається глибиною внутрішнього аналізу

фундаментальних понять і всього її логічного ланцюга. Тенденція до загальності – невіддільна ознака наукової теорії.

З-поміж виокремлених сучасних понять фізики одним з найважливіших інженерного спрямування (третій складник STEM-освіти) є поняття симетрії [104, с. 288–298]. На цьому важливому понятті ґрунтуються сучасні фізичні теорії, закони збереження в макросвіті починаючи із симетрій тривимірного фізичного простору та мікросвіті і завершуючи більш абстрактною і мало наочною калібрувальною інваріантністю, сучасною теорією елементарних частинок, у якій панує система «симетрія, невизначеність, відносність, імовірність» (рис. 3.2). Фізичні симетричні явища та процеси можуть виконувати функцію властивостей. За такого підходу значно зменшується кількість елементів знань, що є окремими категоріями [63; 67]. У сучасній фізиці поняття симетрії посідає чільне місце у формулюванні сучасних фізичних теорій.

Історично поняття симетрії розглянуто в працях В. Баришнікова, Е. Вігнера, Г. Галілея, Е. Галуа, М. Гілярова, В. Готта [23], Ф. Землянського [45], Е. Нетер, А. Пуанкаре, І. Тамма, І. Тюніна, Р. Феймана та ін.

Науковці вивчали сутність поняття симетрія з різних позицій, зокрема, Р. Ганієв [21] досліджував світоглядні питання теорії симетрії; розглядали Дж. Еліота, П. Добера [33] проблему симетрії у фізиці; Дж. Бірман [10] аналізував просторову симетрію в процесі дослідження оптичних властивостей твердих тіл; у монографії Г. Біра та Г. Пікуса [9] описано симетрію в деформаційних ефектах в напівпровідниках; Е. Вігнер опрацював філософські і природничо-наукові проблеми пов'язані із симетрією [15].

Фундаментальною працею з методики вивчення симетрії в курсі фізики є кандидатська дисертація доцента Кіровоградського державного педагогічного інституту І. Ковальова, у якій зазначено, що симетрію доцільно пояснювати, з огляду на загальне її означення (об'єкт є симетричним, якщо він однаково виражається в різних, перетворюваних одна

в одну певним чином системах відліку). Учений використовує такі операції симетрії [54]:

- а) симетрія простору–часу (трансляції, повороти);
- б) перетворення Галілея є механічною симетрією всіх інерціальних систем відліку (ІСВ); перетворення Лоренца – фізична симетрія всіх ІСВ;
- в) геометрична симетрія (площина, вісь, центр симетрії);
- г) дискретні симетрії (Т-, Р-, С-симетрії);
- д) принцип симетрії Кюрі є принципом, що дає змогу відшукати геометричні елементи симетрії.

Закони збереження І. Ковальов класифікує згідно з властивостями симетрії [54]:

- симетрія – загальна властивість фізичних об'єктів;
- симетрія має різноманітні форми (симетрія речей, властивостей, відношень тощо);
- симетрія органічно пов'язана з принципами збереження, що впливає із змісту поняття симетрії, оскільки обов'язково в ній є елементи, що зберігаються.

Симетрії елементарних частинок вивчали М. Садовий, Н. Подопригора та О. Трифонова [101; 103], зокрема науковці проаналізували вияв симетрії у фізиці твердого тіла.

Аналіз підручників та посібників з фізики [72; 75; 101–104] засвідчує, що в їхньому змісті поняття симетрії згадується епізодично й, по суті, воно не виконує свого істинного наукового призначення. Уважаємо, що доцільно розглянути методику вивчення цього поняття у курсі фізики.

На підставі праць науковців ми виокремили систему понять з фізики, у яких особливо виявляється симетрія та її властивості. На нашу думку, класичним пристроєм, який яскраво реагує на зміну орієнтації основи відносно інерціального простору, є гіроскоп, який широко використовують практично в усіх галузях виробництва, суспільного життя, побуту. У ньому інтегровано всі складники STEM: Science, Technology, Engineering and

Mathematics [63; 64]. Завдяки стародавнім китайським дзигам, дослідженням Д. Серсона, Л. Обрі Фуко, Г. Аншютц-Кемпфета, П. Шиловського, Ю. Лазарева та ін., гіроскопічні прилади значно вплинули на розвиток науки та техніки й спричинили створення нових моделей приладів, де застосовують гіроскоп [49]. Зокрема, наука дійшла такого рівня, що гіроскоп у смартфоні (рис. 3.4) слугує датчиком – мікроелектромеханічним перетворювачем кутових швидкостей у електричний сигнал – мехатроніка. Датчик розраховує зміну кута нахилу стосовно осі під час повороту пристрою. Трьохосьовий гіроскоп дає змогу визначити орієнтацію смартфона у проторі. Гіроскоп передає заміри в пристрій для подальших розрахунків кута нахилу і його напряму. Ці вимірювання обробляють процесор та мікроконтролер; проводяться математичні розрахунки і фіксується положення смартфона в просторі реального часу. Гіроскоп застосовують в мобільних іграх, дронах, що керується смартфоном та оптичної стабілізації камери.



Рис. 3.4. Гіроскоп в смартфоні

З огляду на це ми пропонуємо продемонструвати фундаментальне поняття симетрії на прикладі дослідження властивостей механічного гіроскопа. Процес вивчення поняття симетрії на прикладі гіроскопа починається з розгляду: осі симетрії, принципу обертання симетричних тіл,

елементарного кута повороту [64], абсолютно твердого тіла, поступального руху, зовнішні сили.

Наочно та яскраво властивості симетрії можна досліджувати із студентами в процесі виконання лабораторної роботи з диском, що обертається навколо центру маси в горизонтальній площині з постійною кутовою швидкістю. Під час спостереження виявляється, що диск має вісь симетрії нескінченного порядку, однак він не має площин симетрії, які проходять через центр перпендикулярно до його площини, оскільки в такому диску напрям за часовою стрілкою та проти не дорівнюють один одному.

За традиційною методикою розглянуто, що модель *абсолютно твердого тіла* є частковою моделлю *системи частинок*, тому для твердого тіла є справедливим закон зміни з часом вектора моменту імпульсу механічної системи:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \sum \vec{M}_{\text{зовн}}. \quad (3.1)$$

У тому разі, коли суб'єкти навчання розглядають *фіксовану нерухому вісь z обертання* тіла, потрібно загальний вектор моменту імпульсу розглянути в проєкціях на цю вісь, тоді:

$$\frac{dL_z}{dt} = \sum M_z, \quad (3.2)$$

де  $L_z$  визначається за формулою  $L_z = I_z \omega$ , а проєкція моменту кожної сили, що діє на тіло –  $M_z = \pm |\vec{F}_\perp| \cdot d$ . У цьому разі сила розкладається на горизонтальний та вертикальний складники. Підставляючи у (3.2) формулу  $L_z = I_z \omega$ , тоді

$$\frac{d(I_z \omega)}{dt} = \sum M_z, \quad (3.3)$$

$$\text{коли } I_z = \text{const}, \text{ то } \varepsilon(t) = \frac{d\omega}{dt}, \text{ отримаємо } I_z \cdot \varepsilon = \sum M_z. \quad (3.4)$$

Традиційна методика навчання *вільного симетричного зрівноваженого гіроскопа* (рис.3.5) описана у посібниках [49; 50; 57; 86].



Для вільного гіроскопа  $\sum \vec{M}_{зовн} = 0$ , тому рівняння (3.1) дає  $\frac{d\vec{L}}{dt} = 0$ , звідки

$$L = const . \quad (3.5)$$

Рівняння (3.5) є частковим випадком закону збереження моменту імпульсу.



Рис. 3.5. Гіроскоп

Запропонуємо студентам вивчення гіроскопа та його властивостей на основі одного із засобів STEM-освіти комплекту Arduino.

Arduino є середовищем проєктування електронних пристроїв в якому використовується кодування за програмуванням Processing. Ця платформа побудована на друкованій платі для написання програмного забезпечення.

Arduino є інтегрованою платформою з можливістю поєднання прикладних аспектів вивчення фізики та професійно зорієнтованих дисциплін. Вона застосовується для прийому сигналів від різних цифрових, аналогових датчиків. Пристрої, що працюють на основі Arduino працюють самостійно чи взаємодіють з персональним комп'ютером, з урахуванням програмного середовища Flash, MaxMSP та ін.

Розглянемо інерційно вимірювальний датчик MPU 6050 (рис. 3.6) за допомогою якого розкрито принцип дії гіроскопа та акселерометра, їх

функції, що є доцільно для інтегрованого вивчення фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі STEM-технологій. Гіроскоп використовує технологію MEMS та ефект Coriolis для вимірювання. Значення даних гіроскопа вимірюються в градусах на секунду, тому для отримання кутового положення потрібно інтегрувати кутову швидкість.

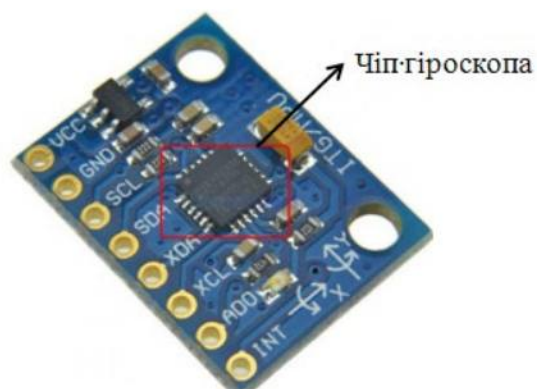


Рис. 3.6. Інерційно вимірювальний чіп з комплекту Arduino

З іншого боку, акселерометр MP U6050 вимірює гравітаційне прискорення вздовж трьох осей і за допомогою тригонометрії ми можемо обчислити кут, під яким розміщується датчик. Отже, якщо комбінувати дані акселерометра та гіроскопа, отримаємо точні дані про орієнтацію датчика.

MP U6050 є шестиосьовим пристроєм відстеження руху або пристроєм 6 DoF через 6 його виходів, або 3 виходи акселерометра та 3 гіроскопа. Вивчення гіроскопів як симетричних тіл нами висвітлено в працях [63; 64], що розкриває наукову та інженерну складники STEM-освіти.

Елемент коду Arduino для зчитування даних з датчика MP U6050 наведено нижче (рис. 3.7).

```

/*
  Arduino and MPU6050 Accelerometer and Gyroscope Sensor Tutorial
  by Dejan, https://howtomechatronics.com
*/
#include <Wire.h>

const int MPU = 0x68; // MPU6050 I2C address
float AccX, AccY, AccZ;
float GyroX, GyroY, GyroZ;
float accAngleX, accAngleY, gyroAngleX, gyroAngleY, gyroAngleZ;
float roll, pitch, yaw;
float accErrorX, accErrorY, gyroErrorX, gyroErrorY, gyroErrorZ;
float elapsedTime, currentTime, previousTime;
int c = 0;

void setup() {
  Serial.begin(19200);
  Wire.begin(); // Initialize communication
  Wire.beginTransmission(MPU); // Start communication with MPU6050 // MPU=0x68
  Wire.write(0x6B); // Talk to the register 6B
  Wire.write(0x00); // Make reset - place a 0 into the 6B register
  Wire.endTransmission(true); //end the transmission
}

```

Рис. 3.7. Елемент коду Arduino для датчика MP U6050 [130]

Подальшими діями для здійснення моделювання об'єкта та визначення характеристик є виставлення регістрів для зчитування інформації з гіросопа та акселероматра (рис. 3.8). Визначаємо шість регістрів гіроскопа, комбінуємо їх дані відповідним чином і ділимо їх на раніше вибрану чутливість, щоб отримати вихід у градусах на секунду, що зображається на екрані комп'ютера.

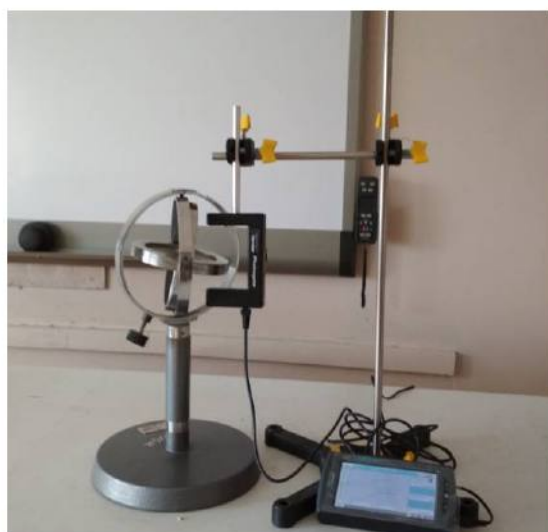
```

133 // CONFIG register
134
135 /* Get external FSYNC configuration.
136 * Configures the external Frame Synchronization (FSYNC) pin sampling. An
137 * external signal connected to the FSYNC pin can be sampled by configuring
138 * EXT_SYNC_SET. Signal changes to the FSYNC pin are latched so that short
139 * strobes may be captured. The latched FSYNC signal will be sampled at the
140 * Sampling Rate, as defined in register 25. After sampling, the latch will
141 * reset to the current FSYNC signal state.
142 *
143 * The sampled value will be reported in place of the least significant bit in
144 * a sensor data register determined by the value of EXT_SYNC_SET according to
145 * the following table.
146 *
147 * <pre>
148 * EXT_SYNC_SET | FSYNC Bit Location
149 * -----|-----
150 * 0         | Input disabled
151 * 1         | TEMP_OUT_L[0]
152 * 2         | GYRO_XOUT_L[0]
153 * 3         | GYRO_YOUT_L[0]
154 * 4         | GYRO_ZOUT_L[0]
155 * 5         | ACCEL_XOUT_L[0]
156 * 6         | ACCEL_YOUT_L[0]
157 * 7         | ACCEL_ZOUT_L[0]
158 * </pre>
159 *
160 * @return FSYNC configuration value
161 */
162
163 uint8_t MPU6050::getExternalFrameSync() {
164     I2Cdev::readBits(devAddr, MPU6050_RA_CONFIG, MPU6050_CFG_EXT_SYNC_SET_BIT,

```

Рис. 3.8. Кодування регістрів гіроскопа та акселерометра [130]

Запропонуємо виконати студентам роботу фізичного практикуму «Вивчення законів обертового руху та визначення моментів інерції» з використанням цифрового обладнання (рис.3.9). Теоретична частина описана в посібнику [12].



а)



б)

Рис. 3.9. Установка для виконання лабораторної роботи «Вивчення законів

- обертального руху та визначення моментів інерції»: а) схема установки;  
 б) використання цифрового обладнання із визначенням залежності фізичних величин

На основі одержаних даних інтегруючи виміряні прискорення  $(a_x(t), a_y(t), a_z(t))$  у певний момент часу  $(t)$  за відомими початковими значеннями параметрів  $(v_x(t_0), v_y(t_0), v_z(t_0))$ , оцінюють швидкості (математичний контент STEM-освіти):

$$v_x(t) = v_x(t_0) + \int_{t_0}^t a_x(t) dt; \quad (3.6)$$

$$v_y(t) = v_y(t_0) + \int_{t_0}^t a_y(t) dt; \quad (3.7)$$

$$v_z(t) = v_z(t_0) + \int_{t_0}^t a_z(t) dt. \quad (3.8)$$

За отриманими складниками швидкості оцінюють координати положення з урахуванням відомих положень у попередній момент часу  $(X(t_0), Y(t_0), Z(t_0))$ :

$$X(t) = X(t_0) + \int_{t_0}^t v_x(t) dt; \quad (3.9)$$

$$Y(t) = Y(t_0) + \int_{t_0}^t v_y(t) dt; \quad (3.10)$$

$$Z(t) = Z(t_0) + \int_{t_0}^t v_z(t) dt. \quad (3.11)$$

Доцільно студентам поставити проблемне запитання: що буде, коли закріпити гіроскоп на кардановому підвісі в літаку, розкрутивши його на землі відносно обраної осі  $z$ . Після обговорення можемо дійти до спільного висновку, що спостерігається *фіксований просторовий напрям* та розглядаємо поняття кутів повороту літака, авіагоризонту, нутації.

Наприкінці вивчення теми «Механіка твердого тіла» викладач наголошує на прикладних аспектах фізики та професійно зорієнтованих

дисциплінах з урахуванням елементів STEM-освіти. Ці елементи представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

**Елементи STEM-освіти у вивченні теми «Механіка твердого тіла»**

Science	Technology	Engineering	Mathematics
Основні наукові поняття з фізики: кутова швидкість, момент імпульсу, момент сили, закон динаміки обертового руху, симетрія, вісь симетрії, абсолютно тверде тіло	Будова сучасних гіроскопів, вільних гіроскопів	Розгляд поняття прецесії, авіагоризонту, нутації на основі поняття симетрії	Використання основного математичного апарату для визначення потрібних характеристик обертового руху (вектор та його властивості, поняття похідної, поняття інтегралу та його властивості)

Представимо компоненти STEM-освіти внаслідок вивчення поняття гіроскопа з урахуванням міждисциплінарних зв'язків фізики та професійно зорієнтованих дисциплін [69], що вивчаються в технічних ЗВО.

Інерціальні навігаційні системи (ІНС) використовують гіроскопи та акселерометри для оцінювання положення, швидкості, прискорень, кутів та кутових швидкостей (*науковий складник STEM-освіти*). ІНС складається з таких елементів: модуль інерціальних датчиків; обладнання підтримки електроніки; обчислювальний блок (*інженерний складник STEM-освіти*).

Значну кількість повітряних кораблів обладнано безплатформними ІНС. У таких системах акселерометри та гіроскопи жорстко закріплено між собою і безпосередньо прикріплено до корпусу літака (*сучасні STEM-технології*).

До вивчення поняття гіроскопу залучають низку професійно зорієнтованих дисциплін з виокремленням елементів STEM-освіти, а саме: фізику (вивчення механіки обертового руху); теоретичну механіку (поступальний та обертальний рух твердого тіла. Складний рух точки. Теорема про складання швидкостей. Теорема Коріоліса. Коріолісове прискорення і його визначення); авіоніку (елементи прикладної теорії



гіроскопів. Гіроскоп та його використання в техніці. Властивості гіроскопу з трьома ступенями свободи); вищу математику (поняття вектора, дії над векторами. Скалярний, векторний та мішаний добуток векторів. Поняття похідної. Правила диференціювання. Похідна складеної функції. Диференціал функції. Похідні та диференціали вищих порядків. Інтеграл. Властивості інтегралу).

Отже, розроблена в нашому дослідженні система фундаментальних фізичних понять дозволяє окреслити галузь створення STEM-засобів навчання для значного поліпшення якості компетентності студентів технічних ЗВО.

Наведений приклад використання пристрою гіроскопа в освітньому процесі сприяє формуванню сучасного наукового мислення з використанням STEM-технологій, а також забезпечує систематизацію знань з фізики в технічних ЗВО та формування наукового світогляду.

### **3.3. Технологія навчання фундаментальних фізичних понять у технічних закладах вищої освіти засобами STEM**

У параграфі 3.2 представлено створену систему фундаментальних фізичних понять [67] для вивчення фізики технічних ЗВО (рис. 3.2), та доведено ефективність застосування STEM-технологій у навчанні студентів цих закладів. Науковці засвідчили, що важливим резервом підвищення якості знань, умінь і навичок з фізики є застосування сучасних технологій навчання [7; 28; 42; 88; 105; 107; 124; 126]. Розбудова сучасного інформаційного суспільства вимагає зростання рівня цифровізації всіх галузей життя в Україні [99] та впровадження нових сучасних освітніх технологій: розвивального, парацентричного, особістісно зорієнтовного, проєктного, блочно-модульного навчання, що об'єднує STEM.

Реалізацію технологій забезпечує формування компетентнісного майбутнього фахівця технічної галузі завдяки здобуттю нових знань off-line в аудиторному НС; навчанню on-line – комунікації між суб'єктами навчання в

хмаро зорієтованому середовищі; масовим відкритим курсам on-line з відеолекціями; blended learning – формальній освіті, коли майбутні фахівці вивчають теоретичну частину в режимі on-line, а іншу в спеціально організованих аудиторіях; перевернутому навчанню, коли лекційну частину фізики студенти вивчають самостійно, а практично-лабораторну виконують в аудиторії; дистанційному навчанню, що полягає у використанні комп'ютерних та телекомунікаційних технологій; синхронному навчанні, коли взаємодія викладач–студент відбувається в реальному часі; асинхронному навчанню, коли взаємодія студент–викладач відбувається із затримкою в часі; адаптивному навчанню, за яким техніку й нові технології використовують як інтерактивні засоби учіння; bring your own devices – методу мобільного навчання із смартфоном, ноутбуком, планшетом. У процесі дослідження встановлено, що викладене вище можна найбільш вдало реалізувати засобами STEM-освіти (рис. 3.10).

Одним з напрямів змін у системі освіти є модернізація ІКТ-навчання на основі розроблення відповідного методичного забезпечення освітнього процесу здобуття знань з фізики.

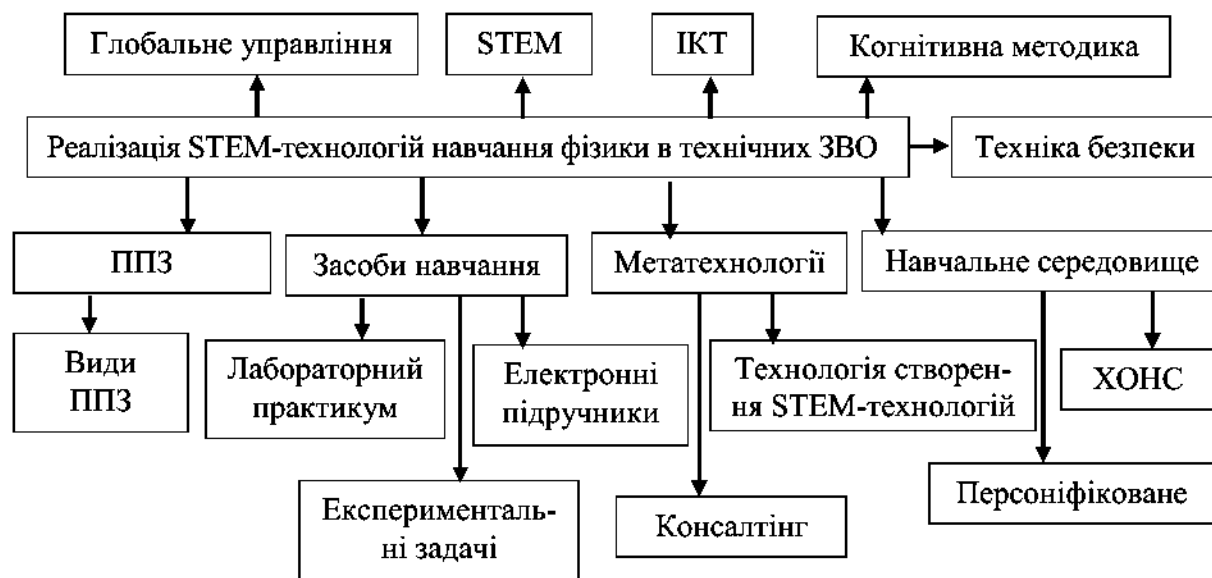


Рис. 3.10. Реалізація STEM-технологій навчання фізики в технічних ЗВО

Нині в теорії та практиці навчання в технічних ЗВО широко використовують різні визначення поняття «інформаційні технології», «сучасні

інформаційні технології», «інформаційно-комунікаційні технології», «комп'ютерні технології», «інформаційно-телекомунікаційні технології».

Науковці, з-поміж яких В. Биков [6; 7], М. Жалдак [34], Ю. Жук [38], В. Лапінський [43], М. Машбиць [88], О. Винославська та Г. Козлакова [16], С. Раков [97], І. Роберт [98], характеризують поняття «інформаційна технологія» такими ознаками: педагогічна технологія; використання електронних засобів навчання.

Засоби ІКТ мереж починають широко застосовувати в системах дистанційного навчання фізики, зокрема у віртуальному навчанні [113; 114].

Дослідження В. Бикова [6; 7], М. Жалдака [34], І. Захарової [44], В. Лапінського, А. Пилипчука, М. Шишкіна [43], М. Машбиця [88], І. Роберта [98], О. Співаковського [113; 114] дають змогу зробити висновок, що впровадження ІКТ в освітній процес з фізики забезпечує розвиток у студентів пізнавально-пошукової діяльності, самостійності та мотивації навчання в контексті STEM-освіти. Прискорений розвиток ІТ-технологій, впровадження STEM-технологій, використання хмарних обчислень, розроблення якісного ППЗ сприяють створенню модернізованої методики навчання фізики в технічних ЗВО на основі сформульованих у п. 3.2 методичних засад.

За твердженням М. Машбиця [88], використання ППЗ з фізики спричиняє зміни в усіх компонентах педагогічної діяльності, а також їх застосування у функції засобу управління діяльністю студентів.

Більшість науковців уживає поняття «інформаційно-комунікаційні технології» навчання, у якому поєднано ознаки педагогічної технології, можливості телекомунікаційних мереж та використання комп'ютера.

Ми використали метатехнологію, оскільки вона об'єднує компоненти педагогічної технології використання ефективних форм, методів, засобів навчання, STEM-технологій, ППЗ [59; 62; 66], а також передбачає взаємодію викладачів та студентів у процесі навчання фізики.



Окремо ми окреслили поняття когнітивна методика, у структурі якої передбачено пошук, аналіз, систематизацію, порівняння, узагальнення, синтез нових знань, що найбільш відповідає ідеям комунікативності, свідомості й професійної спрямованості навчання фізики засобами STEM [6, с. 30–32].

Важливим елементом представленої на рис 3.5 структури є поняття НС. Ми використали поняття відкритого комп'ютерно зорієнтованого НС – ІКТ. Це педагогічна система, у якій окремі дидактичні функції передбачають педагогічно доцільне використання комп'ютерних і комп'ютерно зорієнтованих засобів навчання фізики, а також засобів, ресурсів і сервісів відкритих хмаро зорієнтованих технологій [6, с. 10].

До хмаро зорієнтованого середовища належать контентні засоби мережних технологій, що виявляються на другому етапі розвитку інформаційних мереж [7], з-поміж яких: 1) мережеві бази даних, сайти, портали; 2) електронні бібліотеки; 3) науково-освітні мережі; 4) системи *e-learning* та ін. Нині ці засоби застосовують у навчанні фізики водночас із локальними програмними засобами, проте їхній вплив не є вирішальним у формуванні середовища, не має інтегрувальної ролі. Спектр засобів навчання і їх різновидів – досить широкий, вони розрізнені, не обов'язково об'єднані єдиною концепцією постачання й використання. Сьогодні на управління інформаційно-комунікаційною інфраструктурою навчання впливають автоматизовані системи управління ресурсами [113].

У межах середовища використовують сервісні мережеві засоби – третій етап розвитку інформаційних мереж [7]), до яких належать технології дистанційного навчання, соціальні сервіси *web 2.0*, науково-освітні інформаційні мережі, технології автоматизації наукових досліджень, технології комунікації близької зони, умовно пов'язані з початком розвитку цього етапу в 2001 р., коли було створено версію Moodle 2.0 – платформу дистанційного навчання, яку значно поширено в закладах освіти України на той час.

Початок другого десятиліття XXI ст. засвідчує формування персоніфікованого середовища, побудованого за принципами хмарних технологій [6; 7]. Персоніфіковане комп'ютерно інтегроване НС – відкрите комп'ютерно інтегроване НС педагогічних систем, у якому забезпечується налаштування ІКТ – інфраструктури (зокрема й віртуальної) на індивідуальні інформаційно-комунікаційні, інформаційно-ресурсні та операційно-процесуальні потреби учасників освітнього процесу [7, с. 10].

Визначене на рис. 3.5 поняття програмне забезпечення має потужний математичний апарат, елементи мультиплікації, електронну таблицю, засоби коректування експериментальних даних і їх графічного опису, готового для складання звіту [12]. Використання комп'ютера у фізичному практикумі дозволяє подавати інформацію в усіх можливих формах: семантичній, символічній та графічній. Такий спосіб синхронізації прийняття навчальної інформації створює розвивальний ефект і сприяє засвоєнню складного матеріалу, що є досить зручним засобом для організації самостійної роботи студентів під час навчання фізики.

Ми виокремили такі види програмного забезпечення:

1. *Навчальні програмні засоби* забезпечують подання інформації з окремих предметів або предмету, що ознайомлює з методами навчальної діяльності (фізики, хімії, технічних дисциплін).

2. *Тренувальні програмні засоби* (тренажери) передбачають формування у студентів умінь і навичок фахової діяльності (наприклад, керування літаком, Flight Simulator).

3. *Контрольовальні (діагностичні) програмні засоби* дають змогу організувати викладачеві й студентам контроль (самоконтроль) рівня засвоєння змісту навчання.

4. *Імітаційні програмні засоби* віддзеркалюють об'єкти, явища, процеси і дають змогу вивчати їхні характеристики.

5. *Моделювальні програмні засоби* вможливають створення моделей об'єктів, явищ, процесів на основі заданих елементів та функцій.

6. *Демонстраційні програмні засоби* візуалізують навчальний матеріал.

7. *Інформаційно-пошукові програмні системи* дозволяють знаходити інформацію та забезпечують її виведення.

8. *Навчально-ігрові програмні засоби* передбачають надання інформації студентам в ігровій формі.

9. *Мікросвіти* – спеціальні середовища, створені навчальними програмами, які дозволять студентам засвоювати системну інформацію, способи діяльності природним шляхом.

10. *Інструментальні програмні засоби* призначено для проектування навчальних програмних засобів. Це так звані відкриті програмні системи (оболонки), наповнені змістом різних навчальних дисциплін.

Подано вище ППЗ обґрунтовано теоретичними й методичними засадами розвитку методики навчання фізики (див. п. 3.1), що дозволяє більш успішно реалізувати дидактичні принципи й функції. Наприклад, забезпечення принципу наочності (одночасне представлення повідомлень у різних формах: статистичній, динамічній, символічній, образній) уможливує ущільнення навчальної інформації; збільшує можливості диференціації та індивідуалізації навчання.

Розроблені типи навчальних ППЗ можна інтегрувати в програмно-педагогічні системи, між ними такою системою є електронний підручник.

Ефективність практичної реалізації STEM забезпечують лабораторні практикуми [12; 60; 61], що передбачають вивчення фундаментальних понять, зокрема такого важливого для технічної галузі, як симетрія [67]. Це виробляє в майбутніх технічних фахівців сучасне наукове мислення, а також сприяє систематизації знань з фізики та формуванню наукового світогляду. З одного боку спостерігається значний розвиток фізичного експерименту як невіддільного складника процесу навчання фізики загалом, а з другого – розширюються й значною мірою вдосконалюються взаємозв'язки та на досить високому рівні інтегруються фізико-математичні дисципліни (див. п. 3.2). Окрім того, посилюються міжпредметні взаємозв'язки з

експериментальним та графічним методами дослідження фізичних явищ засобами STEM-технологій.

Ми розробили 7 лабораторних робіт фізичного практикуму на основі комплекту «L-мікро» [12] (таблиця 3.2) розділу механіка та молекулярна фізика.

У роботах фізичного практикуму представлено природничі науки (Science), технології (Technology), інженерію (Engineering) та математику (Mathematics), що відповідає STEM-освіті. Унаслідок цього посилено природничонауковий компонент, який поєднується з інноваційними технологіями. Такий комплекс апробовано студентами технічного ЗВО.

Цей комплект є цифровою лабораторією та розкриває сутність упровадження STEM-освіти. Навчальний комплект «L-мікро» дає змогу реалізувати перелік навчальних дослідів, лабораторних робіт фізичного практикуму в процесі вивчення фізики студентами технічних ЗВО. Перелік робіт фізичного практикуму подано в таблиці 3.2.

*Таблиця 3.2*

**Перелік робіт фізичного практикуму з розділів «Механіка» та «Молекулярна фізика» [12]**

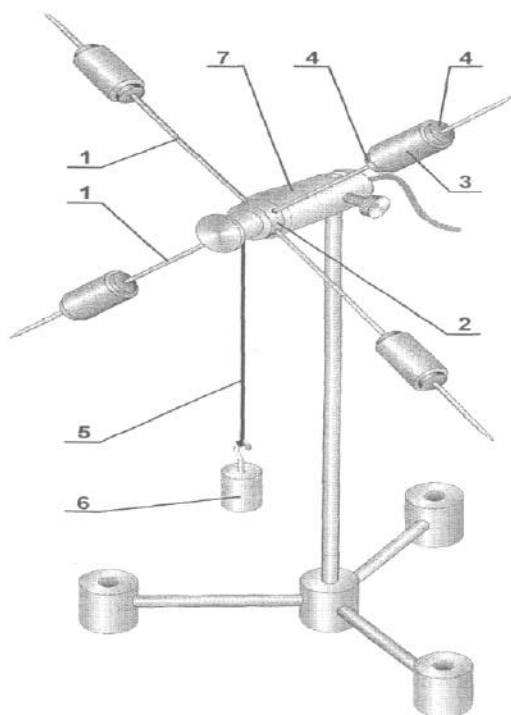
№ з/п	Перелік робіт фізичного практикуму
1.	Вивчення закону збереження імпульсу за допомогою балістичного маятника.
2.	Вивчення закону збереження механічної енергії та визначення моменту інерції маятника Максвелла.
3.	Вивчення законів обертального руху та визначення моментів інерції тіл.
4.	Визначення прискорення вільного падіння за допомогою математичного та фізичного маятників.
5.	Вивчення закону збереження моменту імпульсу.
6.	Вимірювання теплопровідності повітря.
7.	Вимірювання коефіцієнта динамічної в'язкості рідини методом Стокса.

У пропонованому переліку робіт представлено закони збереження, які відповідно є наслідками симетрії. Базовий комплект «L-мікро» [12] містить електронні блоки з'єднання, датчики й елементи лабораторного оснащення, програмне забезпечення та докладні методичні рекомендації. Лабораторне оснащення виконано у вигляді окремих модулів, з яких можна збирати різні експериментальні установки без залучення додаткового устаткування.

Розглянемо модулі фізичного практикуму «Вивчення законів обертального руху та визначення моментів інерції тіл» і «Вимірювання коефіцієнта динамічної в'язкості рідини методом Стокса», виконання яких передбачено для студентів технічного ЗВО [12].

Маятник Обербека (рис. 3.11) складається з чотирьох стержнів (1), закріплених на муфті (2).

Вісь обертання муфти розташовано горизонтально. На кожному із стержнів прикріплено вантаж (3), який спеціальними фіксаторами (4) можна розмістити на будь-якій відстані від осі муфти. Розкручування маятника Обербека здійснюється ниткою (5), яку намотано на циліндричну поверхню муфти. До нижнього кінця нитки кріпляться вантажі різної маси (6). Для проведення вимірювань муфту маятника Обербека надягають на вісь датчика кутової швидкості (7), який записує значення кутової швидкості під час руху.



*a* [12]



*б*

Рис. 3.11. Зовнішній вигляд «Маятника Обербека»: *a* – схема маятника Обербека; *б* – фото установки

У модулі фізичного практикуму «Вимірювання коефіцієнта динамічної в'язкості рідини методом Стокса» використовують установку (рис.3.11), у

якій кулька рухається всередині вертикально встановленої й заповненої рідиною трубки.

Кульку запускає електромагніт, який розташовано на пробці, що закриває трубку, а вимірювання швидкості забезпечують оптичні датчики, створені на основі світлодіодів.

Світло випромінювача датчика проходить через трубку в поперечному напрямі та в момент проходження кульки перекривається ним, тобто перестає потрапляти на приймач випромінювання. На екрані комп'ютера це відтворюється у вигляді зміни (зменшення) рівня сигналу, що надходить від датчика.

В установці використовують два оптичних датчики 1, 2 (рис. 3.12), встановлені на верхній і нижній монтажних платах, що знаходяться всередині підставки. Один зі світлодіодів працює випромінювачем світла, а другий – приймачем випромінювання. Зауважимо, що випромінювачі верхнього і нижнього датчиків спрямовано назустріч один одному. Це дозволяє уникнути засвітлювання приймачів випромінювання світлом від іншого випромінювача. Проходячи повз датчик, кулька перекриває промінь, що потрапляє на приймач випромінювання. Це дозволяє відтворювати на екрані проміжок часу, протягом якого кулька рухається від одного датчика до іншого.

Відповідно до схеми (рис. 3.13) дев'ятиштирьовий роз'єм кабелю електромагніта (9) приєднують до третього каналу вимірювального блоку, а на два штекери цього кабелю подають постійну напругу 6–9 В від блоку живлення.

Спеціально адаптована для індивідуального виконання відповідних завдань комп'ютерна програма *L-phys.exe* (розроблена російською компанією «L-мікро» [81], що входить до складу цифрової лабораторії «L-мікро»), дозволяє реалізувати сценарій проведення сформованих у процесі нашого дослідження робіт фізичного практикуму [12], у яких стисло викладено матеріал з описом дослідів, указівки для складання експериментальної

установки, а також для проведення експерименту й оброблення отриманих результатів.

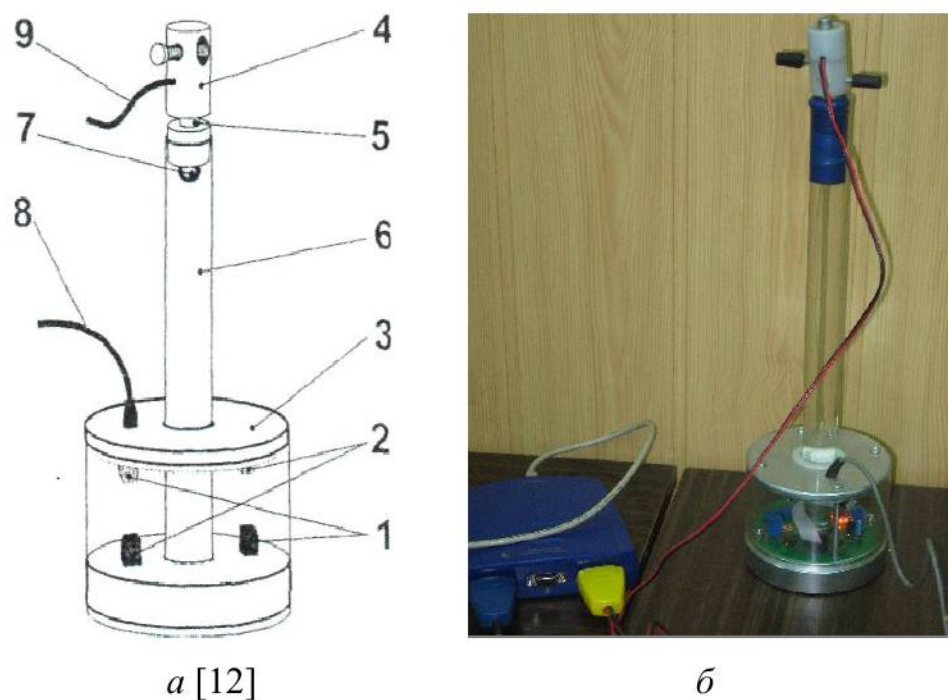


Рис. 3.12. Зовнішній вигляд установки «L-мікро»: *а* – схема; *б* – фото установки для вимірювання в'язкості рідини методом Стокса

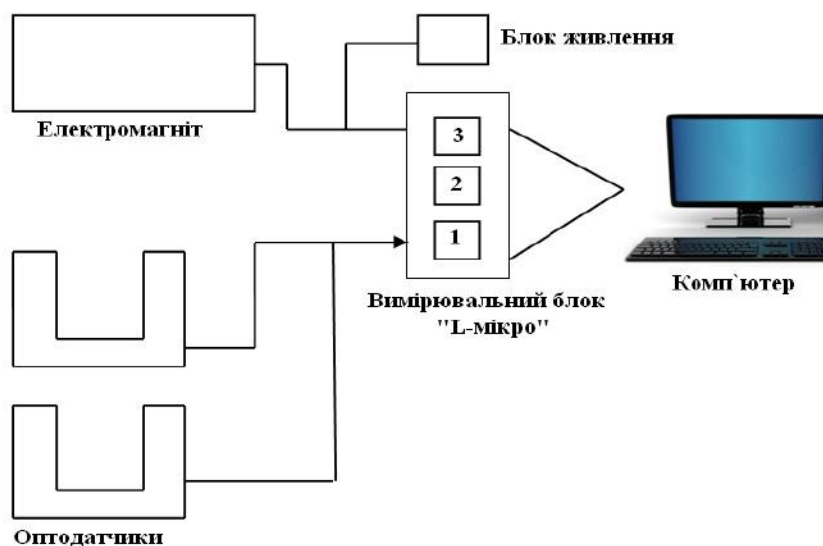


Рис. 3.13. Схема поєднання фізичного обладнання з вимірювальним блоком «L-мікро» [12]

У пропонованому навчальному комплекті передбачено набір різних датчиків: числа обертів, кута поворотів, звуку, температури, електропровідності (рис. 3.14, *а*) та інше обладнання для навчальних цілей, а також електричний вимірювальний блок (рис. 3.14, *б*) і ППЗ, що дозволяє



фіксувати показники датчиків на екрані монітора, графічно їх екстраполювати.

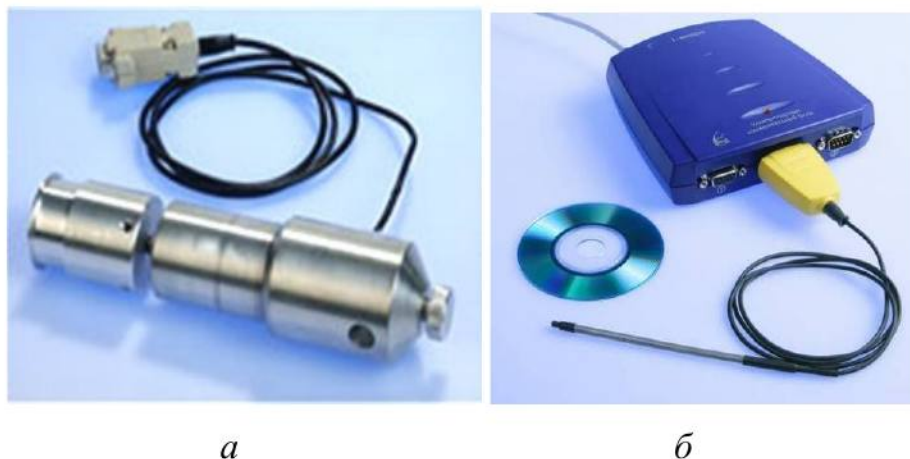


Рис. 3.14. Елементи комплекта «L-мікро»: *a* – датчик числа обертів;  
*б* – електричний вимірювальний блок

Комп'ютерна програма допускає зупинку запису даних у будь-який момент та оперативний перегляд одержаних графіків.

Після запуску програми на екрані монітора комп'ютера з'являється весь перелік дослідів, які можна виконати з навчальним комплектом (рис. 3.15). Ці досліді можна реалізувати під час демонстраційних і лабораторних експериментів.



Рис. 3.15. Екран робочого вікна [81]

У процесі вивчення кожного з дослідів на екрані з'являється графік досліджуваного явища. При цьому на цифровому табло зафіксовано відповідні значення вимірювальних фізичних величин, а на нижній частині екрану віддзеркалено час, що пройшов від початку вимірювань.



Цифрова лабораторія «L-мікро» передбачає застосування комп'ютера, який дозволяє створювати експериментальні установки для проведення лабораторних досліджень різної складності, які викладено в апробованому авторському посібнику [12].

Комп'ютеризація НФЕ передбачає використання різних дидактичних функцій електронно-обчислювальної техніки, спрямованих на підвищення інформативності та оперативності навчального експерименту з одночасною активізацією діяльності викладача й студента в контексті STEM-освіти.

Розроблену технологію реалізації STEM у навчання фізики в технічних ЗВО (рис. 3.10) покладено в основу вдосконалення методики опрацювання розділів механіки та молекулярної фізики, що дає змогу сформулювати такі узагальнення:

1. Навчання фізики засобами STEM підвищує рівень візуалізації досліджуваного фізичного об'єкта – від малюнка, коли на екрані монітора представлено окремі елементи установки, до цілісного віддзеркалення установки чи електричної схеми досліджуваної системи.

2. У процесі індивідуального використання цифрового обладнання студенти мають змогу активно впливати на об'єкт фізичного дослідження засобами STEM-технологій, у яких закладено математичну модель «поведінки» об'єкта чи системи досліджуваних об'єктів.

3. Екранний об'єкт під час використання ППЗ є вторинним, оскільки математичну модель, яка змінює стан досліджуваної системи в процесі її вивчення, сформовано на основі вже відомих теоретичних положень і знань про сам об'єкт. Усю інформацію студент спостерігає на екрані монітора. Виконання завдання з фізики забезпечує графічне віддзеркалення об'єктів, їхніх складників, функціональних зв'язків засобами STEM.

4. На початковому етапі використання ППЗ студент здебільшого оперує графічними образами. Такі обмеження закладено в математичну модель фізичного явища чи процесу. Водночас математична модель наближено відтворює фізичну реальність під час її вивчення в

комп'ютерному варіанті, ураховує індивідуальні та інші особливості дослідника, що є вирішальним для використання STEM у навчанні фізики.

5. Упровадження STEM-технологій під час дослідження природних явищ і процесів змінює специфіку операційної діяльності студента, оскільки за цих умов діяльність відрізняється від традиційної: студент повинен скласти реальну експериментальну установку та працювати з нею, досліджуючи об'єкт за допомогою вимірювальних приладів.

6. Використання ППЗ дозволяє організувати освітній процес з фізики на основі опосередкування предметно-маніпулятивного аналізу і водночас оперувати екранними образами. З накопиченням досвіду використання STEM-засобів студент засвоює прийоми та конкретні схеми дій під час вивчення фізики та професійно зорієнтованих дисциплін у процесі виконання самостійних досліджень у природних умовах.

7. Реальний та модельний фізичний експерименти загалом є взаємодоповнювальними елементами освітнього процесу в методологічному й методичному аспектах, що дає змогу під час виконання робіт фізичного практикуму формувати фундаментальні поняття на основі STEM-технологій.

Кожний з навчальних експериментів уможлиблює постановку серії експериментальних задач. Отримані результати представляють у вигляді графіків, які забезпечують проведення розрахунків певних параметрів, що характеризують досліджувані явища та їхні закономірності не лише під час експерименту, а й після його виконання, коли одержані результати можна використовувати для повторення, узагальнення й систематизації набутих знань.

Обрана технологія (рис. 3.10) передбачає використання електронного навчання, зокрема електронного підручника з фізики.

На думку І. Роберта [98], електронний підручник є інформаційною системою, представленою в єдиній комплексній комп'ютерній програмі, яка забезпечує реалізацію дидактичних цілей за допомогою ІКТ у всіх галузях дидактичного циклу, а саме: 1) визначення пізнавального завдання;

2) подання змісту навчального матеріалу; 3) організація застосування первинно отриманих знань, що сприяє розвитку наукових знань; 4) контроль діяльності студентів; 5) підготовка студентів до подальшої навчальної діяльності з використанням STEM-технологій.

Електронний підручник забезпечує безперервність та повноту дидактичного циклу засвоєння фізики, дає змогу студентам ознайомлюватися з теоретичним матеріалом, контролювати свій рівень знань та інформаційно-пошукову діяльність.

Нині технічні ЗВО оснащено бібліотекою електронних підручників, зазвичай бібліотеку поділено на дві частини. Перша частина електронних книжок знаходиться в Інтернеті, друга – у внутрішній Інтернет-мережі. Це забезпечує студентів навчальною літературою в достатній кількості дозволяє користуватися нею в зручний час, самостійно готуватися до занять, збирати потрібну інформацію.

Електронні засоби дають змогу викладачам оперативно розміщувати й упроваджувати навчально-методичні розробки нового покоління, підтримувати сучасний рівень освітнього процесу та стимулювати наукову діяльність студентів.

Електронний підручник можна реалізувати з використанням відкритих інструментальних систем навчання фізики, а саме: Moodle, LearningSpace, IBM, WebCt з урахуванням засад STEM-освіти.

Важливим елементом розробленої структури реалізації STEM-технологій навчання фізики в технічних ЗВО є техніка безпеки, яка набула нового змісту. З огляду на це під час дослідження ми з'ясували тенденції обмеження використання ІКТ-навчання, що пов'язано з їхнім впливом на здоров'я студентів [18; 127], зокрема розробили заходи з подолання ризиків застосування комп'ютерів в освітньому процесі навчання фізики:

– дотримання санітарно-гігієнічних та ергономічних норм для техніки, використання якої передбачено на заняттях з фізики;

– застосування інформаційних та медійних технологій з максимальною обґрунтованістю за наявності синергізму педагогічної дії лише там, де максимально зростає ефективність навчання з фізики, формується новий стиль мислення або без комп'ютера обійтися неможливо;

– виховання особистої культури користування, самоспостереження за станом здоров'я, рівнем утомлюваності, вироблення засобів її подолання в кожного студента під час виконання різного рівня завдань з фізики;

– забезпечення педагогічного контролю та регулювання впливу комп'ютерів на становлення особистості не лише в освітньому процесі з фізики, а й у побуті.

Отже, в під час дослідження технології навчання фундаментальних фізичних понять ми сформуваємо структуру реалізації STEM-технологій навчання фізики в технічних ЗВО й на основі сформульованих методичних засад удосконалили методику навчання механіки.

#### **3.4. Теоретико-організаційні функції самостійної роботи студентів у процесі навчання фізики в контексті розвитку STEM-освіти**

У науково-педагогічній літературі самостійну роботу називають видом розумової діяльності, за якого майбутній фахівець без сторонньої допомоги опрацьовує теоретичні та практичні питання, тему, розв'язує задачу, на основі виробленої компетентності виконує завдання згідно з освітньою програмою спеціальності. Парадигма розвитку вищої школи передбачає, що основним заданням є перехід від передачі навчальної інформації до управління освітньо-пізнавальною діяльністю, спрямовано на залучення студентів до самостійної роботи.

Знані вчені, з-поміж яких А. Алексюк, Ю. Бабанський, Б. Єсіпов, І. Лернер, О. Мороз, В. Сластьонін, Л. Спірін, Л. Сущенко, О. Ярошенко, М. Дяченко, досліджували закономірності організації самостійної роботи суб'єктами навчання.

Деякі з них (С. Архангельський, В. Буряк, Є. Голант, С. Зінов'єв, Б. Йоганзен, В. Козаков, О. Молібог, Р. Назімов, П. Підкасистий) вважають, що самостійна робота – це

- пошук потрібної інформації, набуття знань, використання цих знань для розв'язання навчальних, наукових і професійних завдань [2];

- діяльність, що складається з багатьох елементів: творчого сприйняття й осмислення навчального матеріалу під час лекції, підготовки до занять, екзаменів, заліків, виконання курсових і дипломних робіт [82];

- різноманітні види індивідуальної, групової пізнавальної діяльності студентів на заняттях або в позааудиторний час без безпосереднього керівництва, однак під наглядом викладача [85];

- система заходів, спрямованих на виховання активності та самостійності як рис особистості, на набуття вмінь і навичок раціонального отримання корисної інформації [47].

Основними функціями самостійної роботи (рис. 3.16) є такі: пізнавальна (засвоєння систематизованих наукових знань); розвивальна (технологія творчості, мислення); прогностична (інженерне передбачення й оцінювання результату); коригувальна (моделювання та коригування діяльності); виховна (формування самостійності як риси характеру).

На підставі поданих функцій самостійної роботи можна виокремити наукові, технологічні, інженерні, математичні характеристики, які повною мірою відповідають STEM, тобто можна стверджувати єдність складників самостійної роботи студентів та STEM-освіти.

Зазначимо, що організація самостійної роботи майбутніх фахівців технічної галузі є органічним складником STEM-технологій. Її планують і виконують з використанням функціональних складників, зміст яких спрямовано на методичне забезпечення формування компетентних фахівців. Такий підхід важливий для обґрунтованого формування навичок підготовки студентів до майбутньої практичної діяльності, умінь самостійно

розв'язувати проблеми, знаходити конструкторські рішення з використанням STEM-технологій.

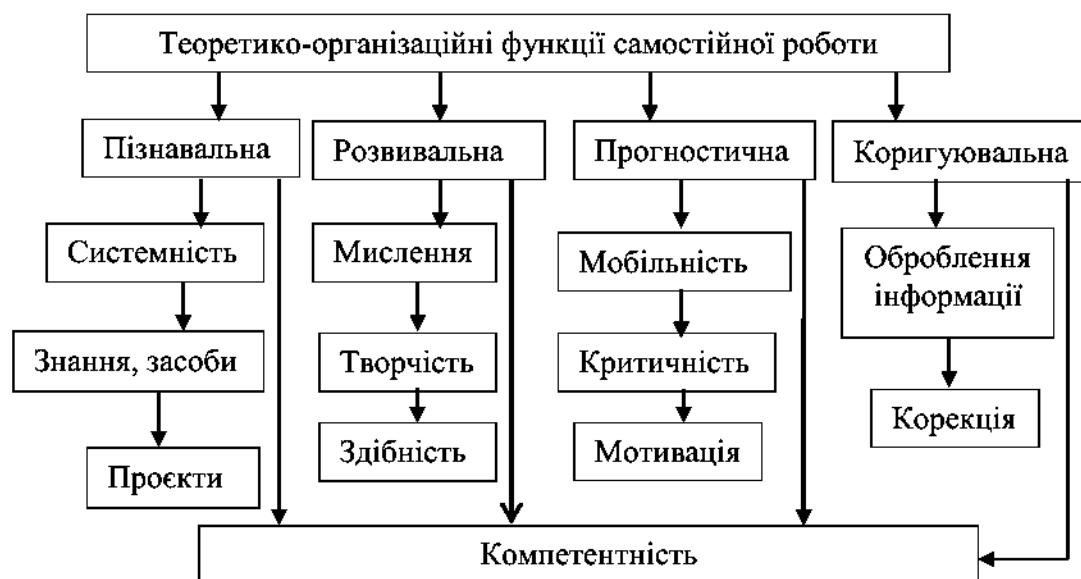


Рис. 3.16. Теоретико-організаційні функції самостійної роботи

У вимогах про організацію освітньої діяльності технічних ЗВО [107] передбачено, що самостійна робота є обов'язковою умовою для кожного студента, її визначено навчальним планом й освітньою програмою.

У робочій навчальній програмі навчальний матеріал, передбачений для самостійної роботи з кожної дисципліни [60; 69], ураховують у підсумковому контролі разом з матеріалом, опрацьованим на аудиторних заняттях. Важливою мотивацією виконання завдань самостійної роботи є використання технологій STEM-освіти, що стимулюватимуть студентів до пізнавально-пошукової діяльності в навчанні фізики.

Підґрунтям для успішного виконання самостійної роботи є впровадження основних елементів STEM-освіти (науковості, інженерії, технічності та математики) в освітній процес з фізики, що забезпечать отримання ґрунтовних знань для подальшого здобуття професійного напрямку.

Самостійну та пізнавально-пошукову діяльність студентів взаємопов'язано. Їх можна варіювати залежно від проблемності завдань, що є актуальним у контексті розвитку технологій STEM-освіти.

Актуальність пізнавально-пошукової та самостійної діяльності у ЗВО розглянуто в працях І. Лернера [75], М. Скаткіна [112], Л. Виготського [17], І. Огороднікова [87], С. Рубінштейна [100], П. Підкасистого [90], П. Гальперіна [20] та ін.

Зокрема, О. Мороз [83] самостійну роботу вважає специфічним видом навчальної та пізнавальної діяльності або поєднанням декількох її видів; В. Омеляненко та А. Кузьмінський [70] розглядають самостійну роботу як навчальну діяльність, яку потрібно планувати й виконувати за завданнями й контролем викладача, проте без його безпосередньої участі.

На нашу думку, ефективність самостійної роботи в навчанні фізики полягає в умінні майбутніх фахівців технічної галузі без систематичного контролю викладача самостійно працювати на заняттях, умінні організовувати окремі форми роботи і всю навчальну діяльність з використанням технологій STEM-освіти.

У дослідженні Л. Жарової [89, с. 137] виокремлено такі види самостійної роботи: робота з підручником, вправи, заповнення таблиць, творчість, розв'язування задач, виконання лабораторних робіт та самостійна робота з використанням спостереження.

За визначенням М. Підкасистого [90], самостійна робота є специфічним педагогічним засобом організації та керування самостійною діяльністю студентів в освітньому процесі. На думку вченого, самостійна робота повинна передбачати метод навчального або наукового пізнання. Дослідник [90] розмежовує такі види самостійної роботи студентів за рівнем продуктивності їхньої самостійної діяльності:

1. Самостійна робота за зразком, що передбачає розв'язання типових завдань та виконання різноманітних вправ. Вона дає змогу засвоїти матеріал, проте мало спонукає до творчої активності. Для цього виду робіт властивий перший тип розумової діяльності, який визначає досліджуваний об'єкт, предмет та явище.

2. Реконструктивно-варіативні самостійні роботи забезпечують відтворення не тільки функціональності знань, а й структури знань (використання здобутих знань для розв'язання проблем, ситуацій і поставлених завдань). Цей вид робіт характеризується другим розумовим рівнем діяльності, за яким відбувається відтворення та розуміння досліджуваного явища.

3. Евристичні самостійні роботи спрямовано на розв'язання питань та проблем, розгляд яких передбачено на лекціях, практичних і лабораторних заняттях, де формується вміння розпізнавати проблему та самостійно формулювати, розробляти план її розв'язання. Для цього виду робіт властивий третій тип розумової діяльності, що полягає в глибокому розумінні явищ і процесів, започатковує творчу діяльність.

4. Творчі (дослідницькі) самостійні роботи властиві для STEM-освіти в технічних ЗВО. У цих роботах (курскових, дипломних, інших завданнях) студенти повинні відійти від шаблону. Їхня діяльність повинна стати пошуковою, що передбачає розроблення своїх методів розв'язання проблемних ситуацій, під час яких виявляються всі розумові здібності студента. Для цього виду робіт властивий четвертий рівень розумової діяльності, який дає змогу реалізувати творчі здібності студентів.

Подані вище види самостійної роботи відповідають основним принципам дидактики вищої школи, яка орієнтує всі ланки освітнього процесу на всебічний гармонійний розвиток студентів; дає змогу викладачам навчати на високому професійному рівні з використанням STEM-технологій; поєднує інтеграційний, міждисциплінарний, компетентісний, системний та професійно зорієнтований підходи в навчанні фізики; співвідносить конкретне й абстрактне; забезпечує надійність знань студентів та їхніх умінь удосконалювати (застосовувати) в освітньому процесі технічного ЗВО.

Окреслені функції самостійної роботи (рис. 3.16) дають підстави вивчати фізико-математичні дисципліни в технічних ЗВО із спрямуванням на формування професійно значущих компетентностей фахівця природничого



профілю, інженера-авіатора, його світогляду, розвитку творчих здібностей, компетентності у відборі засобів і методів наукового пізнання; на всебічний гармонійний розвиток особистості. Теоретичні й експериментальні методи, які використовують у процесі навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі STEM-технологій, віддзеркалюють практично всі способи пізнання, критичного й технічного мислення: індукції та дедукції, абстракції й узагальнення, аналізу й синтезу.

Результати аналізу функцій самостійної роботи студентів засвідчують їх спрямованість на дослідницько зорієнтоване навчання. Такі висновки збігаються з результатами досліджень М. Анцибора [1], В. Журавльова [39], В. Загвязинського [40; 41], І. Ільєсова [48], І. Барбашова [4] та ін. На нашу думку, у визначеному напрямі бракує методики організації самостійної науково-дослідницької діяльності з фізико-математичних дисциплін на непрофільних спеціальностях у контексті STEM-освіти.

У науковій літературі розрізняють навчально-дослідницьку і науково-дослідницьку роботу студентів як два основних складники науково-дослідницької діяльності студентів, яка в технічному ЗВО має такі напрями: 1) навчально-дослідницька робота, що є невіддільним елементом освітнього процесу; 2) науково-дослідницька робота, що здійснюється поза навчальним процесом у межах студентського науково-творчого товариства.

У процесі дослідження ефективності самостійної роботи ми виявили, що дослідницька робота має у своїй сутності два взаємопов'язаних елементи: навчання студентів основ дослідницької діяльності, організації та методики наукового пошуку й власне проведення наукових досліджень, що є складником професійної компетентності майбутнього фахівця. Під час виконання самостійної роботи з фізики формується STEM-грамотність (п. 2.1) майбутнього фахівця, здійснюється перехід від засвоєння готових знань до оволодіння методами їх здобуття, формуються навички аналітичного та критичного мислення, уміння нестандартно, творчо

розв'язувати прикладні завдання, наприклад, з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.

З огляду на зазначене вище оптимальною формою для реалізації самостійної роботи студентів у навчанні фізики є метод проєктів, який сприяє реалізації індивідуальних дослідницьких здібностей студентів на основі STEM-технологій.

За визначенням С. Гончаренка, «Метод проєктів – організація навчання, за якою суб'єкти навчання самостійно набувають знань і навичок у процесі планування й виконання практичних завдань – проєктів. ... Метод проєктів зможе забезпечити розвиток творчої ініціативи й самостійності студентів і сприятиме налагодженню безпосереднього зв'язку між здобуттям студентами знань і вмінь та їх застосуванням у розв'язанні практичних завдань» [22, с. 205].

На думку Н. Поліхун, «навчальний проєкт – це методична форма організації занять, що передбачає комплексний інтегрований характер діяльності всіх його учасників з отримання самостійно запланованого результату за певний проміжок часу в умовах консультативної підтримки викладача» [92].

Самостійну роботу студентів спрямовано на систематизацію знань, здобутих під час вивчення курсу фізики. Її забезпечують STEM-технології й дають змогу спрямувати на об'єктивне віддзеркалення фахово зорієнтованих проблем засобами фізики для формування цілісної особистості та вироблення вмінь використовувати теоретичні знання в практичній діяльності.

Визначена структура функцій самостійної роботи (рис. 3.16) дозволяє стверджувати, що проєкт у технічних ЗВО є сукупністю моделей, які містять модельні рішення та дають повне уявлення про будову об'єкта, фізичний процес під час вивчення цього об'єкта.

Організація проєктної діяльності студента посилює мотивацію навчальної діяльності завдяки встановленню зв'язків між теоретичним матеріалом та майбутньою професійною діяльністю і повною мірою

відповідає принципу інтеграції фундаментальної та фахової підготовки в процесі вивчення фізико-математичних дисциплін у контексті STEM-освіти. Особливість проєктної діяльності полягає в тому, що її продукт визначають об'єктивна або суб'єктивна новизна і значущість. Упродовж виконання навчального проєкту студенти узагальнюють уже здобуті знання, набувають власного досвіду для їх практичного використання.

Аналіз змісту навчальних та робочих програм і міждисциплінарних зв'язків фізики [66] та дисциплін фахового спрямування в технічних ЗВО [69], які регламентують освітній процес у ЗВО, дозволяє констатувати, що *проєктна технологія* є продуктивним доповненням до традиційних форм пошуково-творчої діяльності студентів, що виявляється під час виконання самостійної роботи на основі STEM-технологій. Вона є ефективним засобом формування *STEM-компетентностей* – універсальних загальноосвітніх умінь високого порядку, що виявляються в кінцевих результатах освіти й навчання з урахуванням компонентів STEM-освіти (науковості, інженерії, технічності та математики): уміння виконувати пізнавальні й наукові завдання, використовувати набутий досвід, зводити в єдине ціле елементи знань з різних навчальних дисциплін; організувати процес самостійного навчання, виявляти причинно-наслідкові зв'язки, здатність розуміти складні явища, цілісно їх сприймати; уміння використовувати різні джерела інформації; протистояти труднощам; викладати власну позицію, аргументовано захищати свої погляди; оволодіння технікою наукових досліджень; планування власної навчальної діяльності; зорієнтованість на безперервну освіту та самовдосконалення.

Ми розрізняємо три типи пізнавальних завдань: навчальне, пізнавальне та наукове, зміст яких зорієнтовано відповідно на зону актуального порядку, зону ближнього порядку та на віддалену мету, завдяки чому можна сформулювати стратегію проєктної діяльності студентів. Такий підхід та використання запропонованої класифікації дають змогу виокремити базові форми організації проєктної діяльності, рівні вироблення проєктних умінь

студентами під час виконання самостійної роботи, запропонувати структурну модель проектної діяльності в процесі вивчення дисципліни фізики.

У праці Н. Поліхун [92] розмежовано допроектну та проектну діяльність суб'єктів навчання в освітньому процесі:

1) *допроектна діяльність* передбачає опрацювання теоретичного матеріалу, ліквідацію недоліків у базових знаннях, поглиблене вивчення програмного матеріалу, розв'язання задач та текстових завдань тощо;

2) *пропроектна (квазіпроектна)* – огляд літературних джерел на задану тематику, написання рефератів, виконання невеликих науково-дослідних тестових завдань.

Проведені нами дослідження проектної діяльності в технічних ЗВО засвідчують, що в студентів-першокурсників рівень творчості з фізики визначається насамперед фаховою спрямованістю. У проекті важливо органічно поєднати фундаментальні наукові знання з фізики з професійними інтересами студента з використанням STEM-технологій.

Для реалізації сформульованої ідеї ми розробили проект «Дослідження рівномірного прямолінійного та рівноприскореного рухів на основі STEM-технологій», що передбачає організацію самостійної роботи студентів.

*Метою самостійної роботи* був розгляд основних тенденцій розвитку STEM-освіти та розроблення ППЗ у поєднанні з роботами фізичного практикуму в освітньому процесі з фізики з використанням STEM-технологій.

Було визначено такі *завдання самостійної роботи*:

- розглянути фізичний експеримент як основний засіб розвитку STEM-освіти;
- розробити ППЗ «STEM та фізики»;
- створити комп'ютерну модель машини Атвуда та дослідити рівномірний прямолінійний та рівноприскорений рух.

Ми розробили та впровадили в освітній процес з фізики ППЗ «STEM та фізика», що представляє модельний фізичний експеримент, який

використовують у поєднанні з роботами фізичного практикуму. Це ППЗ розроблено за допомогою конструктора програм «PHP Devel Studio 3.0.2.0 beta». Devel Studio – це середовище програмування, зорієнтоване на створення програми за допомогою мови PHP для Windows.

Основними можливостями цього ППЗ є:

1. Компіляція «проекту» в розширенні *.exe* програми для Windows.
2. Підтримка мови програмування PHP 5.2 і 5.3.
3. Режим автоматичного налагодження й перевірки на синтаксичні помилки.
4. Можливість працювати з усіма розширеннями PHP – curl, mysql, sockets тощо.
5. Компонентна система, близько 60 компонентів, серед них GUI компоненти, а також компоненти для роботи з інтернетом, мультимовою, потоками, даними, діалогами тощо.
6. Можливість вбудовування в свої програми Chromium'а для віддзеркалення складного контенту з підтримкою HTML5.
7. Вбудований PHP редактор коду з підсвічуванням і автодоповненням.

У процесі створення ППЗ було завантажено програму на офіційному сайті Devel Studio [138]. Після відкриття цієї програми з'являється робоча область, що має назву «Форма 1», на якій знаходяться всі потрібні елементи для створення програми (рис. 3.17).

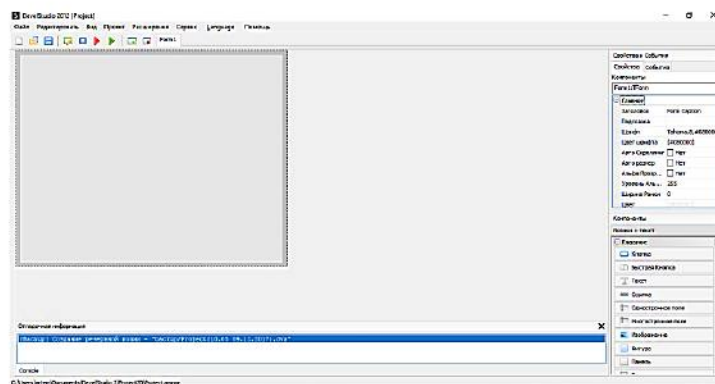


Рис. 3.17. Робоче вікно програми «PHP Devel Studio 3.0.2.0 beta»

Основні елементи вікон – це «Компоненти» і «Властивості та події» (рис. 3.18).

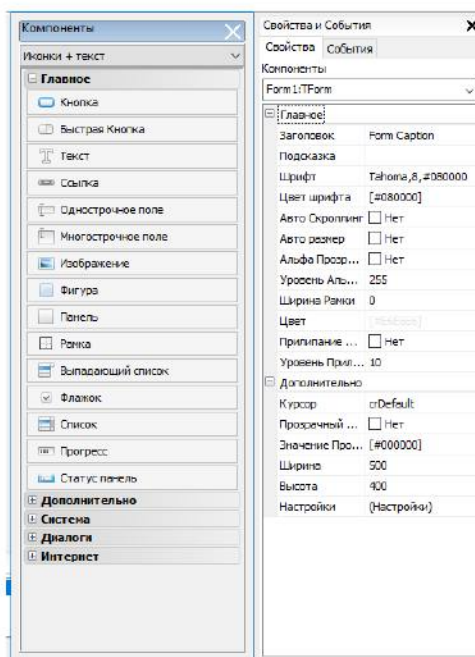


Рис. 3.18. Основні елементи програми «RHP Devel Studio 3.0.2.0 beta»

Для початку створення ППЗ «Фізика та STEM» вибираємо інтерфейс. Для цього у вікні «Компоненти» переходимо до вкладки «Головна» та вибираємо пункт «Зображення». Після цього натискаємо на робочу область (Форма 1), переходимо у вікно «Властивості та події», «Головна», «Зображення» і задаємо потрібний шлях до задалегідь підготовленого зображення (рис. 3.19).

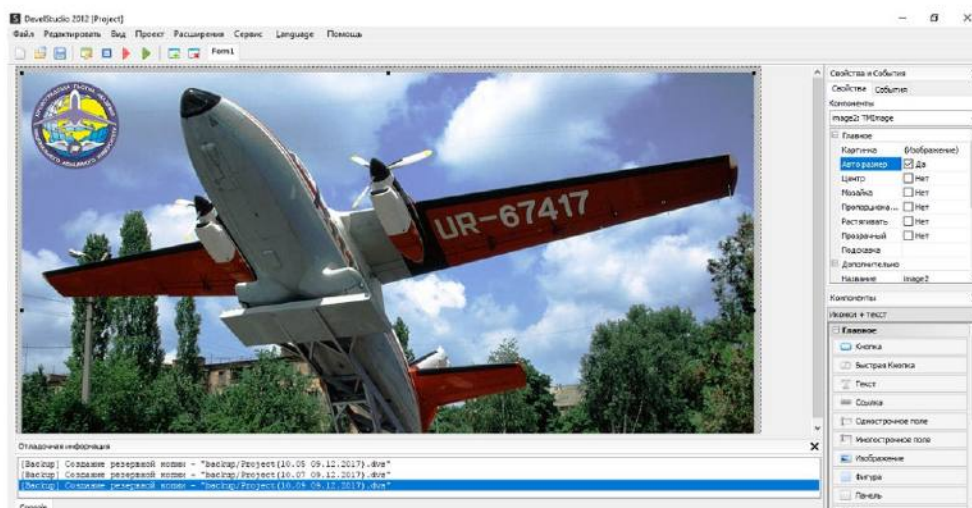


Рис. 3.19. Створення зображення ППЗ «Фізика та STEM» у програмі «RHP Devel Studio 3.0.2.0 beta»

Для установки кнопки на робочу область (Форма 1) переходимо у вікно «Компоненти», «Головна», «Кнопка». У вікні «Властивості та події» у

вкладці «Головна» вибираємо певні параметри для цієї кнопки: назву, шрифт, розміри тощо.

Використання розробленого ППЗ «Фізика та STEM» дає змогу реалізувати такі педагогічні цілі в навчанні фізики на основі технологій STEM-освіти:

1. Підтримка групових та індивідуальних форм у процесі навчання фізики в умовах розвитку STEM-освіти.
2. Створення комфортних умов комп'ютерної підтримки традиційних і новаторських технологій навчання фізики.
3. Створення дидактичних основ технології дистанційного навчання для вивчення фізики як комп'ютерної STEM-технології навчання.
4. Підвищення пізнавального інтересу студентів до вивчення фізики завдяки створенню умов самодослідження природних явищ.
5. Забезпечення диференційованого підходу до вивчення курсу фізики в академії.
6. Структуризація змісту фізики та активізація опорних знань.

Вагомість і сутність співвідношення модельного та реального фізичних експериментів, яку ми представили в розробці системи фізичного практикуму [12], полягає в тому, що:

1) використання модельного експерименту під час виконання фізичного практикуму [12; 61; 62; 66; 67] сприяє розвитку теоретичного й абстрактного мислення студентів, а впровадження реального експерименту формує практичне й образне мислення;

2) вивчення співвідношення реального й модельного навчальних експериментів забезпечують педагогічні умови (див. п. 1.4), які сприяють організації самостійної пізнавально-пошукової діяльності студентів завдяки розширенню меж пізнавальних можливостей студентів, тобто збільшення обсягу навчальної інформації, доступної для самостійного оволодіння; дозволяють отримати повну й точну інформацію про фізичне явище, процес, закономірність та ін.



Під час організації самостійної роботи з фізики на основі STEM-технологій у процесі виконання практичних робіт з фізики студентами непрофільних спеціальностей ми дотримуємося таких вимог:

1. Під час навчання фізики на основі технологій STEM-освіти самостійна робота є інтеграційною міждисциплінарною, наближеною до їхнього фаху й здебільшого в матиме продовження в подальшій діяльності.

2. Тривалий процес вивчення фізики та технічних дисциплін створює сприятливі умови для самостійної навчальної роботи студентів, що співвідносяться з тривалістю вивчення фізики та професійно зорієнтованих дисциплін в умовах розвитку STEM-освіти.

3. Складність завдань з фізики на основі STEM-технологій вимагає врахування індивідуальних якостей студента (уваги, пам'яті, мислення, креативності, відповідальності та ін.), кола його наукових інтересів та можливостей самоосвітньої діяльності.

У процесі спостереження за обраними показниками результативності виконання основних видів роботи з фізики під час виконання самостійних завдань на основі STEM-технологій ми використовували п'ятибальну шкалу, згідно з якою: від 0 до 1 – дуже низький рівень; від 1 до 2 – низький; від 2 до 3 – задовільний; від 3 до 4 – добрий; від 4 до 5 – дуже добрий. Результати спостережень, подані в таблиці 3.3, переконують, що методика навчання фізики на основі технологій STEM-освіти є потужним фактором, який впливає на розвиток мислення студентів та активізує пізнавально-пошукову діяльність у навчанні фізики в технічних ЗВО.

За цими показниками (таблиця 3.3) ми провели порівняльний аналіз виконання самостійної роботи з фізики, запропонованої студентам за традиційною методикою навчання фізики та з використанням технологій STEM-освіти.

Студентам було дано завдання з фізики, які потрібно виконувати самостійно (таблиця 3.3) з використанням технологій STEM-освіти [12; 138] та за традиційною методикою.



Таблиця 3.3

**Вплив технологій STEM-освіти на результативність виконання студентами основних видів робіт пізнавально-пошукової діяльності під час виконання самостійної роботи з фізики (навчально-методичне забезпечення відображено в нашому дослідженні на с. 19 [34; 35], с. 20 [42; 43], с. 21 [52], с. 22 [53])**

Фізика (з використанням STEM-технологій)					Показники ефективності виконання самостійної роботи	Фізика (традиційне навчання)				
Вивчення нового матеріалу	Виконання дослідницьких завдань	Розв'язування фізичних задач	Виконання навчально-дослідницьких проєктів	Відсоток ефективності виконання самостійної роботи, %		Вивчення нового матеріалу	Виконання дослідницьких завдань	Розв'язування фізичних задач	Виконання навчально-дослідницьких проєктів	Відсоток ефективності виконання самостійної роботи, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	4,5	4	5	93%	Активність	3	2,2	1,8	3	50%
4,8	5	4,5	4,7	95%	Зацікавленість	3,1	4	2,9	3,8	69%
5	5	4,2	5	96%	Ініціативність	3,2	3,6	2,9	3	64%
4,6	4,3	4	4,9	89%	Розвиток творчого мислення	3,2	3,7	3,5	3	67%
4,1	4,5	3,8	4	82%	Самостійність під час виконання завдань	4	3	3	3	65%
5	4,3	4	4,8	91%	Розвиток пізнавально-пошукової діяльності	3	2,9	2,4	3	71,5

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	4,5	4,7	4,85	95,3%	Якість засвоєння навчального матеріалу	3,3	3,86	3,4	3	69%
5	4	4	4	85%	Виконання повного обсягу завдань	3	3,8	2,5	3,5	64%
5	5	4,3	4,9	96%	Зацікавлення фаховою спрямованістю (технічним та інженерним складниками)	4	3,7	3	4,2	74,5%
5	4,6	4	4,3	89,5%	Розвиток наукової ерудиції	4	3,7	3	3,9	73%
5	5	5	4,5	97,5%	Час виконання	3	3	2	3	55%

Згідно з проведеним дослідженням було впроваджено систему самостійної роботи з фізики на основі технологій STEM-освіти, яка забезпечує розв'язання низки завдань, з-поміж яких: створення технології формування навичок самостійної дослідницької діяльності та пізнавально-пошукової роботи, розвитку ініціативи, здатності застосовувати теоретичні знання у своїй практичній діяльності; залучення більш здібних студентів до розв'язування наукових проблем, що мають суттєве значення для науки й практики та фахову спрямованість; розширення теоретичного світогляду й наукової ерудиції майбутнього фахівця на основі STEM-технологій.

Унаслідок педагогічного експерименту встановлено, що застосування STEM-технологій у навчанні фізики в технічному ЗВО сприяє формуванню в студентів навичок самостійно працювати з навчальним матеріалом, планувати виконання дослідницьких завдань; уміння формулювати та розв'язувати фізичні задачі, аналізувати отримані дані, робити висновки та оцінювати результати, готувати матеріали до участі в студентських конференціях (див. [http://www.glau.kr.ua/index.php/ua/?option=com\\_content&view=article&id=383](http://www.glau.kr.ua/index.php/ua/?option=com_content&view=article&id=383)).

Самостійну роботу студентів з фізики на основі STEM-технологій спрямовано на розвиток інтелектуальних творчих якостей особистості, зокрема інтуїції, креативності мислення, творчої уяви, дивергентності, оригінальності та асоціативності мислення.

Отже, організація та виконання самостійної роботи студентами технічних ЗВО стають більш ефективними за умови впровадження інноваційних технологій навчання, зокрема технології STEM-освіти в навчанні фізики.

### **Висновки до третього розділу**

*Визначено* сучасний стан розвитку методики навчання фізики та його відповідність освітнім тенденціям формування наукового тлумачення системи фізичних явищ, процесів, понять, законів, теорій з урахуванням можливості

подальшого їхнього удосконалення, зокрема в умовах упровадження STEM-освіти; *сформовано* основи теоретичних та методичних засад розвитку методики навчання фізики в технічних ЗВО засобами STEM-технологій, що дозволили окреслити шляхи технологізації та інноватизації освітнього процесу з фізики; *доповнено* такі дидактичні категорії: системність, науковість, концептуальність, спрямованість, структурність, алгоритмічність, ефективність, відтворюваність.

*Сформовано* систему фундаментальних, наскрізних, інтегративних понять, законів, теорій курсу загальної фізики та професійно зорієнтованих дисциплін технічних ЗВО, що відповідає сучасним STEM-засобам навчання: наука, технології, інженерія, математика, які передбачають вивчення фізичних явищ і процесів у контексті узагальнення теоретичних знань та їх експериментального обґрунтування, широкого упровадження дослідницьких лабораторних робіт і фізичного практикуму.

*Обґрунтовано* психолого-педагогічні ознаки STEM-теорії: систематизація, узагальнення, здатність до саморозвитку, до внутрішнього розвитку та ін.

*Витлумачено* фундаментальність фізичних понять з позиції STEM, що органічно пов'язано з матерією та її властивостями, які виявляються в різних формах; *установлено* його чотирьохетапну еволюцію. *Сформовано* структуру методики реалізації STEM-технологій навчання фізики в технічних ЗВО, яка об'єднує 9 основних компонентів: глобальне управління, когнітивна методика, програмне забезпечення, метатехнології та ін. *Розроблено* методику навчання розділу механіка курсу фізики в технічних ЗВО. *Доведено* закономірне домінування STEM-технологій у фізичних та технічних теоріях як сукупності висновків, що віддзеркалюють відношення й зв'язки між явищами реальності в інформаційній моделі інженерного спрямування, *продемонстровано* наскрізну властивість STEM практично у всіх розділах фізики та професійно зорієнтованих дисциплінах.

*Розглянуто* психолого-педагогічні особливості технології засвоєння фундаментальних фізичних понять у ЗВО засобами STEM на основі впровадження нових сучасних освітніх інновацій, між ними розвивальне, парацентричне, особістісно зорієтовне, проєктне, блочно-модульне навчання. Їх об'єднано завдяки STEM-системі для формування off-line предметних компетентностей в освітньо-науковому STEM-середовищі разом з навчанням on-line, комунікацією між суб'єктами навчання в хмаро зорієтованому середовищі, blended learning – формальною освітою та ін. *Окреслено* два взаємопов'язаних елементи: навчання студентів основ дослідницької діяльності, організації та методики наукового пошуку й власне проведення наукових досліджень, що є складником професійної компетентності майбутнього фахівця.

*Досліджено* теоретико-організаційні функції формування компетентності в самостійній роботі студентів технічних ЗВО з використанням системи STEM-технологій навчання фізики, які визначають перехід від традиційної передачі навчальної інформації до управління освітньо-пізнавальною самостійною діяльністю, сприяють формуванню алгоритмічного, наочно-образного, теоретичного стилів мислення під час навчання фізики, виробленню вміння оптимізувати рішення в складній ситуації, опрацьовувати інформацію. *Доведено*, що організація самостійної роботи майбутніх фахівців технічної галузі є органічним складником STEM-технологій, її планують та виконують з використанням функціональних складників, зміст яких спрямовано на методичне забезпечення формування компетентних фахівців. Такий підхід обґрунтовує закономірності формування навичок підготовки студентів технічних ЗВО до майбутньої практичної діяльності, розвиток умінь самостійно розв'язувати проблеми, знаходити конструкторські рішення з використанням STEM-технологій.

Основні положення третього розділу дисертації висвітлено автором у публікаціях [12; 29; 58–69].

### Список використаних джерел до третього розділу

1. Анцибор М. М. Активизация учебно-познавательной деятельности студентов при изучении дисциплин педагогического цикла. Москва : Прометей, 1989. 240 с.
2. Архангельский С. И. Учебный процесс в высшей школе, его закономерные основы и методы. Москва : Высшая школа, 1980. 368 с.
3. Бабаева А. А., Сапарова З. И., Очилдиева Д. Ш. Сущность и роль метатехнологий в повышении качества образования. *Инновационные педагогические технологии: материалы II Междунар. науч. конф.* (г. Казань, май 2015 г.). Казань: Бук, 2015. С. 30–32. URL <https://moluch.ru/conf/ped/archive/150/8108/> (дата обращения: 13.11.2019)
4. Барбашова І. А. Дидактика. Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. 2-ге вид., випр., доп. Донецьк : ЛАНДОН, 2011. 228 с.
5. Беспалько В. П. Слагаемые педагогической технологии. Москва : Педагогика, 1989. 192 с.
6. Биков В. Ю. Хмарні технології, ІКТ-аутсорсинг і нові функції ІКТ підрозділів освітніх і наукових установ. *Інформаційні технології в освіті*. 2011. № 10. С. 8–23.
7. Биков В. Ю. Технології хмарних обчислень – провідні інформаційні технології подальшого розвитку інформатизації системи освіти України. *Комп'ютер у школі та сім'ї*. 2011. № 6. С. 3–11.
8. Білуха М. Т. Методологія наукових досліджень: Підручник. Київ : АБУ, 2002. 480 с.
9. Бир Г. Л., Пикус Г. Е. Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках: монография. Москва : Наука, 1972. 584 с.
10. Бирман Дж. Пространственная симметрия и оптические свойства твердых тел. Соч. в 2-х т. Москва : Наука, 1978. Т. 1. 387 с.
11. Биковський Я. Т. Педагогічні умови діяльності фізико-математичних гуртків закладів позашкільної освіти: дис. ... к.пед.н. : 13.00.01 / Я. Т. Биковський. Київ, 2019. 221 с.
12. Борота В. Г., Кузьменко О. С., Остапчук С. А. Механика и молекулярная физика. Методические рекомендации к выполнению

лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-микро» для курсантов академии всех специальностей. 2-е изд., перераб. и доп. Кировоград : КЛА НАУ, 2012. 100 с.

13. Ващенко Л. М. Система управління інноваційними процесами в загальній середній освіті регіону: автореф. дис. ... д-ра пед. наук 13.00.01 / Л. Ващенко. Москва; Інститут педагогіки АПН України. Київ, 2006. 45 с.

14. Величко С. П. Розвиток системи навчального експерименту та обладнання з фізики у середній школі. Кировоград : КДПУ, 1998. 302 с.

15. Вигнер Е. Этюды о симметрии. Москва : МИР, 1971. 318 с.

16. Винославська О. В., Козлакова Г. О. Інтеграція педагогічних та інформаційних технологій у просторі вищої освіти. *Актуальні проблеми державного управління, педагогіки та психології*. 2009. № 1. С. 123–130.

17. Выготский Л. С. Педагогическая психология. Москва : Педагогика, 1991. 480 с.

18. Вплив інформаційних технологій на здоров'я підлітків. [Електронний ресурс]. URL: <http://triumph.in.ua/453-dlia-batkiv/poradi-likaria/vpliv-informatsiynikh-tekhnologiy-na-zdorov-ia-pidlitkiv> (дата звернення: 14.07.2018).

19. Гаврилюк В. В. Формирование субъекта познавательной деятельности в условиях программированного и проблемного обучения. *Формирование познавательной деятельности школьников и студентов: Сб. науч. работ*. Тюмень : ТГУ, 1982. С. 42–51.

20. Гальперин П. Я., Талызина Н. Ф., Решетова З. А. Психолого-педагогические проблемы профессионального обучения. Москва : МГУ, 1979. 210 с.

21. Ганиев Р. М. Групповая симметрия в множестве мировоззренческих высказываний. Владикавказ : Северо-Осетинский гос. ун-т им. К. Л. Хетагурова, 2001. 108 с.

22. Гончаренко С. У. Український педагогічний словник. Київ : Либідь, 1997. 376 с.

23. Готт В. С. Симметрия и асимметрия. Москва : Знание, 1965. 31 с.
24. Герасимов Г. И., Илюхина Л. В. Инновации в образовании: сущность и социальные механизмы. Ростов н/Д : Логос, 1999. 136 с.
25. Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое. Москва : Наука, 1990. 400 с.
26. Гриб'юк О. О. Педагогічне проектування комп'ютерно орієнтованого середовища навчання дисциплін природничо-математичного циклу. Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2015. Вип. 7. Ч. 3. С. 38–50.
27. Данильян О. Г., Дзьобань О. П. Філософія : підручник. Харків : Право, 2015. 432 с.
28. Дахин А. Н. Образовательные технологи: сущность, классификация, эффективность. *Школьные технологии*. 2007. № 2. С. 18–21.
29. Дембіцька С. В., Кузьменко О. С. Вивчення фундаментальних фізичних понять із використанням властивостей симетрії на основі фізичного та комп'ютерного моделювання в вищих навчальних закладах технічного профілю. *Scientific journal Innovation solutions in modern science*. № 5(5), Dubai, 2016. P. 62–73.
30. Джонс Д. К. Методы проектирования: пер. с англ. 2-е изд., доп. Москва : Мир, 1986. 326 с.
31. Добронравова І. С. Ідеали і типи наукової раціональності. Київський університет як осередок національної духовності, науки, культури. Матеріали науково-теоретичної конференції, присвяченої 165-річчю університету. Гуманітарні науки. Ч. I. Київ : Київський університет, 1999. С. 24–28.
32. Докучаєва В. В. Теоретико-методологічні основи проектування інноваційних педагогічних систем: дис. ... д-ра. пед. наук: 13.00.01 / В. В. Докучаєва. Луганськ, 2007. 481 с.
33. Элиот Дж. Симметрия в физике. Соч. в 2-х т. Москва : Мир, 1983. Т. 1. 364 с.



34. Жалдак М. І., Лапінський В., Шут М. Комп'ютерно-орієнтовані засоби навчання математики, фізики, інформатики (гриф МОН України, лист №1/11 –101 від 14.01.2004). *Інформатика*. 2006. № 3–4. Київ : Шкільний світ. 96 с.

35. Желеховський А. В. Фізика. Випуск перший. Харків : Радянська школа, 1931. 385 с.

36. Желеховський А. В. Фізика. Випуск перший. Харків : ВІПКП, 1932. 363 с.

37. Желеховський А. В. Курс фізики. Випуск третій. Електрика. Харків–Київ: Наук.-техн. вид. України, 1935. 537 с.

38. Жук Ю. О. Інформаційні технології у вивченні фізики. Технології неперервної освіти: проблеми, досвід, перспективи розвитку. Зб. статей до IV Всеукраїнської науково-практичної конференції. Миколаїв : МФ НаУКМА, 2002. С. 28–31.

39. Журавлев В. И. Взаимосвязь педагогической науки и практики. Москва : Педагогика, 1984. 176 с.

40. Загвязинский В. И. Инновационные процессы в образовании и педагогическая наука. *Инновационные процессы в образовании*. Тюмень : Изд-во Тюменского гос. ун-та, 1990. С. 5–14.

41. Загвязинский В. И., Атаханов Р. Методология и методы психолого-педагогического исследования : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 3-е изд., испр. Москва : Академия, 2006. 208 с.

42. Заир-Бек Е. С., Соляников Ю. В. Технологии обучения научно-исследовательской деятельности как фактор качественной подготовки научных кадров в педагогическом университете: коллективная монография. Подготовка специалиста в области образования: Научно-организационные проблемы подготовки кадров высшей квалификации. СПб. : Изд-во РГПУ, 2000. С. 91–144.

43. Засоби інформаційно-комунікаційних технологій єдиного інформаційного простору системи освіти України: монографія /

[В. В. Лапінський, А. Ю. Пилипчук, М. П. Шишкіна та ін.]; за наук. ред. проф. В. Ю. Бикова. Київ : Педагогічна думка, 2010. 160 с.

44. Захарова И. Г. Информационные технологии в образовании: [учебное пособие для студентов высших педагогических учебных заведений]. Москва : Академия, 2003. 192 с.

45. Землянский Ф. М. Эвристическая роль принципа симметрии в теории «элементарных» частиц: автореф. дис. философ. наук / Моск. гос. пед. ин-т им. В. И. Ленина. Москва, 1965. 18 с.

46. Зотов А. Ф., Лехнер Е. А. Особенности развития методов естествознания. *Вопросы философии*. 1966. № 4. С. 61.

47. Иоганзен Б. Г. Научная организация самостоятельной работы студентов : В помощь преподавателю. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1970. 40 с.

48. Ильясов И. И. Структура процесса учения. Москва : Изд-во МГУ, 1986. 200 с.

49. Использование гироскопов в смартфонах и игровых приставках [Электронный ресурс]. 3D-новости. 2011. С. 25. URL: <http://www.3dnews.ru> (дата обращения: 14.02.2015).

50. Ишлинский А. Ю., Борзов В. И., Степаненко Н. П. Лекции по теории гироскопов. Москва : Издательство Московского университета, 1983. 248 с.

51. Казанцева Л. А. Исследовательский метод в условиях гуманизации образования. Казань : Изд-во Казанского ун-та, 1999. 135 с.

52. Калашникова Т. В. Научно-исследовательская работа как условие совершенствования образовательного процесса: дис. на соискание ученой степени канд. пед. наук: 13.00.01 / Т. В. Калашникова. Якутск, 2002. 164 с.

53. Киевские математики-педагоги / под ред. чл.-кор. АН УССР А. Н. Боголюбова. Киев : Вища школа, 1979. 312 с.

54. Ковалев И. З. Учение о симметрии в курсе физики средней школы: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. пед. наук: 13.00.02 / И. З. Ковалев. Киев, 1976. 24 с.

55. Косоногов І. І. Основания физики. Курс, читаный автором студентам медицинского факультета. Киев : Типография университета св. Владимира, 1906. 444 с.

56. Косоногов І. І. Основания физики. Киев : Голос, 1919. 315 с.

57. Крылов А. Н., Крутков Ю. А. Общая теория гироскопов и некоторых технических их применений. Ленинград : Академия наук СССР, 1932. 356 с.

58. Кузьменко О. С. Використання інформаційних технологій у лабораторному практикумі з фізики. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. праць*. Кіровоград, 2012. Вип. 108. Ч. 1. С. 257–264.

59. Кузьменко О. С. Теоретико-методичні особливості використання сучасних комп'ютерно-орієнтованих засобів навчання у процесі вивчення фізики. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: зб. наук. праць*. Кривий Ріг, 2012. Вип. Х. Т. 2. С. 178–183.

60. Кузьменко О. С. Організація самостійної пізнавально-пошукової діяльності курсантів льотної академії під час проведення фізичного практикуму. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2012. Вип. 18. С. 166–168.

61. Кузьменко О. С. Сучасні підходи до постановки фізичних експериментів для студентів нефізичних спеціальностей. *Педагогічні науки : теорія, історія, інноваційні технології*. 2013. № 6 (32). С. 351–359.

62. Кузьменко О. С. Використання сучасних технологій під час проведення фізичного практикуму з оптики. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія №5. Педагогічні науки: реалії та перспективи: зб. наук. праць*. Київ, 2012. Вип. 33. С. 102–109.

63. Кузьменко О. С. Вивчення поняття симетрії в процесі навчання фізики твердого тіла. *Наукові записки Бердянського державного*

педагогічного університету. Педагогічні науки. Бердянськ, 2015. Вип. 3. С. 145–151.

64. Кузьменко О. С. Вивчення гіроскопів як симетричних тіл у процесі навчання фізики студентами вищих навчальних закладів авіаційного профілю. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кіровоград, 2015. Вип. 8. Ч. 1. С. 152–154.

65. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. STEM-освіта як основний орієнтир в оновленні інноваційних технологій у процесі навчання фізики у вищих навчальних закладах технічного профілю. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кропивницький, 2017. Вип. 11. Ч. 3. С. 73–76.

66. Кузьменко О. С. Інноваційні засоби та форми організації навчального процесу з фізики в умовах розвитку STEM-освіти в вищих технічних навчальних закладах. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кропивницький, 2017. Вип. 12. Ч. 2. С. 85–92.

67. Кузьменко О. С. Формування фундаментальних фізичних понять в студентів вищих навчальних закладів сучасними засобами навчання. *Science and Education a New Dimension. Pedagogy and Psychology*. Budapest, 2014. II (16), Issue: 33. p. 53–56.

68. Кузьменко О. С. Фізичні задачі як ефективний засіб стимулювання активності та самостійності студентів у процесі вивчення поняття симетрії. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2014. Вип. 20. С. 31–34.

69. Кузьменко О. С. Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти : монографія. Кропивницький : КОД, 2018. 624 с.

70. Кузьмінський А. І., Омеляненко В. Л. Педагогіка [текст]: підручник Київ : Знання-Прес, 2003. 418 с.

71. Кульчицький В. Науково-методологічні принципи формування фундаментальних фізичних понять в учнів профільних класів у процесі вивчення електродинаміки. Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського Національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна. Кам'янець-Подільський, 2011. Вип. 17. С. 93-95.

72. Кучерук І. М., Горбачук І. Т., Луцик П. П. Загальний курс фізики: в 6 т. Москва–Київ: Техніка, 1999. Т. 1: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. 536 с.

73. Лаврентьева Г. П. Методичні рекомендації щодо добору і використання електронних засобів навчального призначення в загальноосвітніх навчальних закладах [Електронний ресурс]. *Електронне фахове видання «Інформаційні технології і засоби навчання»*. 2011. № 4 (24). URL: <http://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/issue/view/547/438>. (дата звернення: 17.03.2016).

74. Лазарев Ю. Ф. Тлумачний словник з прикладної гіроскопії. Київ : КПІ, 2011. 58 с.

75. Лернер И. Я. Дидактические основы методов обучения. Москва : Педагогика, 1981. 185 с.

76. Лисянський Б. Курс лекцій по фізиці. Теорія хвилястого руху. Акустика. Оптика. Пад'єбради, 1923. 273 с.

77. Лисянський Б. Курс лекцій по фізиці. Елементи термодинаміки. Пад'єбради, 1923. 250 с.

78. Лозова О., Горбенко С. Інтеграція навчання як складова. STEM-освіти STEM-освіта: стан впровадження та перспективи розвитку: матеріали III Міжнар. наук.-практич. конф., 9–10 листопада 2017 року, м. Київ. Київ : ДНУ Інститут модернізації змісту освіти, 2017. С. 77-80.

79. Ляпунов А. А. О некоторых особенностях строения современных научных знаний. *Физика в школе*. Москва, 1966. № 5. С. 39.

80. Ляшенко О. І. Формування фізичного знання в учнів середньої школи: [логіко-дидактичні основи]. Київ : Генеза, 1996. 128 с.

81. «L-мікро» [Електронний ресурс]. URL: [http://l-micro.ru/index.php?page\\_id=1](http://l-micro.ru/index.php?page_id=1) (дата звернення: 26.06.2018).

82. Молибог А. Г. Вопросы научной организации педагогического труда в высшей школе. 2-е изд., доп. Минск: Вышэйш. школа, 1975. 288 с.

83. Мороз О. Г., Падалка О. С., Юрченко В. І. Педагогіка і психологія вищої школи [Навчальний посібник] / за заг. ред. О. Г. Мороза. Київ : Нпу, 2003. 267 с.

84. Мкртычян Г. А. Психолого-педагогическая экспертиза в образовании теория и практика: дисс. ... д-ра психол. наук: 19.00.07 / Г. А. Мкртычян. Нижний Новгород, 2002. 351 с.

85. Низамов Р. А. Дитактические основы активизации учебной деятельности студентов. Казань : КГУ, 1975. 130 с.

86. Николаи Е. Л. Гироскоп и некоторые его технические применения. Москва : Гостехиздат, 1947. 150 с.

87. Основи методології та організації наукових досліджень: навч. посіб. для студентів, курсантів, аспірантів і ад'юнтів / за ред. А. Є. Конверського. Київ : Центр учбової літератури, 2010. 352 с.

88. Основи нових інформаційних технологій навчання. Посібник для вчителів / М. І. Машбиць, О. О. Гокунь, О. Ю. Комісарова, Н. В. Морзе, М. Л. Смульсон. Київ : Віпол, 1997. 262 с.

89. Педагогіка вищої школи / [В. П. Андрущенко, І. Д. Бех, І. С. Волощук та ін.]; за ред. В. Г. Кремня, В. П. Андрущенка, В. І. Лугового. Київ : Педагогічна думка. 2009. 256 с.

90. Пидкасистый П. И. Педагогика. Учеб. пособ. для студ. педагог. вузов и педагогических колледжей / под ред. П. И. Пидкасистого. Москва : Педагогическое общество России, 1998. 640 с.

91. Покась Лілія, Настека Тетяна, Орлова Ольга. Підготовка майбутніх вчителів-природничників до впровадження елементів STEM-освіти у навчальний процес вищої школи. STEM-освіти STEM-освіта: стан впровадження та перспективи розвитку: матеріали III Міжнар. наук.-практич. конф., 9–10 листопада 2017 року, м. Київ. Київ : ДНУ Інститут модернізації змісту освіти, 2017. С. 105-111.

92. Поліхун Н. І. Розвиток творчої діяльності старшокласників у процесі навчання фізики з використанням проектної технології: автореф. дис.

пед. наук: 13.00.02 / Н. І. Поліхун; НПУ ім. М.П. Драгоманова. Київ, 2007. 20 с.

93. Положення про порядок здійснення інноваційної освітньої діяльності [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0946-00>. (дата звернення: 25.11.2017).

94. Разумовский О. С. От конкурирования к альтернативам. Экстремальные принципы и проблема единства научного знания, Новосибирск : Наука, 1983. с.19–21. URL: <https://vikent.ru/enc/3308/>. (дата обращения: 16.05.2016).

95. Поляков С. Д. Инновации в жизни школы. *Директор школы*. 1997. № 6. С. 87–89.

96. Пригожин А. И. Методы развития организаций. Москва : МЦФЭР, 2003. 863 с.

97. Ракута Валерій. Бібліотека комп'ютерних моделей як інноваційний засіб для вивчення математики. STEM-освіти STEM-освіта: стан впровадження та перспективи розвитку: матеріали III Міжнар. наук.-практич. конф., 9–10 листопада 2017 року, м. Київ. Київ : ДНУ Інститут модернізації змісту освіти, 2017. С. 105-111.

98. Роберт И. В. Теория и методика информатизации образования (психолого-педагогический и технологический аспекты). Москва : ИИО РАО, 2008. 274 с.

99. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 67-р від 17.01.2018 р. «Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації». [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/67-2018-p> (дата звернення: 20.02.2018)

100. Рубинштейн С. Л. Теоретические вопросы психологии и проблема личности. *Психология личности. Тексты*. Москва, 1982. С. 28–34.

101. Садовий М. І. Вибрані питання загальної методики навчання фізики: навчальний посібник [для студ. ф.-м. фак. вищ. пед. навч. закл.] / Кіровоград: Авангард, 2013. 252 с.

102. Садовий М. І., Лазаренко Д. С. Методика і техніка експерименту з механіки: [посібн. для студ. вищ. пед. навч. закл. та вчит.] / за ред. М. І. Садового. Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2011. 116 с.

103. Садовий М. І., Трифонова О. М. Окремі питання сучасної та традиційної фізики: навч. посіб. для студ. пед. навч. закладів освіти. Кіровоград : Каліч О. Г., 2007. 138 с.

104. Садовий М. І., Подопрігора Н. В., Трифонова О. М. Вивчення симетрії майбутніми вчителями фізики. *Зб. наук. пр. Уманського держ. пед. ун-ту імені Павла Тичини*. Умань: ПП Жовтий О.О., 2012. Ч. 4. С. 288–298.

105. Сальник І. В. Віртуальне та реальне у навчальному фізичному експерименті старшої школи: теоретичні основи: монографія. Кіровоград : ФО-П Александрова М. В., 2015. 324 с.

106. Симметрия в твердом теле / Р. Нокс, А. Голд. Москва : Наука, 1970. 424 с.

107. Соменко Д. В. Розвиток пізнавальної активності студентів педагогічних університетів у навчанні фізики з використанням інформаційно-комунікаційних технологій: дис. ... к.пед.н. : 13.00.02 / Д. В. Соменко. Кіровоград, 2018. 252 с.

108. Сліпухіна І. А., Точиліна Т. М. Трансформація фундаментальних дисциплін в умовах стандартизації вищої технічної освіти. *Педагогічні науки: зб. наук. праць*. Херсон : Вид-во ХДУ. 2014. Вип. 66. С. 392–397. URL: [http://www.ps.stateuniversity.ks.ua/file/issue\\_66/71.pdf/](http://www.ps.stateuniversity.ks.ua/file/issue_66/71.pdf/) (дата звернення: 16.03.2016).

109. Сліпухіна І. А., Меньяйлов С. М., Максимов С. Л., Подласов С. О. Взаємодія загально-наукової та техніко-технологічної картин світу як аспект у формуванні світогляду майбутнього інженера [Електронний ресурс]. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Бердянськ : ФО-П Ткачук О. В., 2015.



Вип. 3. С. 311–316. URL: <http://bdpu.org/pedagogy/ua/files/2015/3/55.pdf> (дата звернення: 17.03.2016).

110. Сліпухіна І. А., Меньяйлов С. М., Рудницька Ж. О. Навчання фізики у вищій школі в контексті формування навичок XXI століття [Електронний ресурс]. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. праць*. Бердянськ, 2017. Вип. 2. С. 45–51. URL: <http://bdpu.org/pedagogy/ua/wp-content/uploads/2017/12/8.pdf> (дата звернення: 12.03.2018).

111. Слободчиков В. И. Методология экспертизы инновационных образовательных проектов. Экспертиза образовательных проектов: материалы междунар. науч.-практ. конф. Минск, 1997. С. 23–35.

112. Скаткин М. Н. Проблемы современной дидактики. Москва : Педагогика, 1984. 95 с.

113. Співаковський О. В., Алфьорова Л. М., Алфьоров Є. А. Досвід впливу інформаційно-комунікаційної інфраструктури ХДУ на рівень підготовки майбутніх провідних фахівців у галузі ІТ. *Комп'ютер у школі та сім'ї*. 2012. № 5. С. 13–15.

114. Співаковський О. В., Кравцов Г. М. Цілі, задачі та забезпечення стратегічного плану впровадження інформаційних технологій в концепції розвитку університету. *Інформаційні технології в освіті*. 2012. Вип. 13(3). С. 9–22.

115. Стрижак О. Є., Сліпухіна І. А., Поліхун Н. І., Чернецький І. С. STEM-освіта: основні дефініції [Електронний ресурс]. *Інформаційні технології і засоби навчання*. [Електронне наукове фахове видання]. Київ : ІТЗН НАПН України, 2017. Т. 62. № 6. С. 16–33. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1753/1276> (дата звернення: 17.04.2018).

116. Сухомлинський В. О. Вибрані твори: в 5 т. Київ : Рад. школа, 1976. Т. 4. 640 с.

117. Торгашина Т. Ф. Научно-исследовательская работа студентов педагогического вуза как средство развития их творческого потенциала : дис.

на соискание ученой степени канд. пед. наук: 13.00.08 / Т. Ф. Торгашина. Волгоград, 1999. 209 с.

118. Фізика. Програми інститутів народної освіти: (Фак. соц. виховання) / Нарком. освіти УСРР, Держ. наук.-метод. комітет. Харків : Всеукр. заоч. ін-т нар. освіти, 1929. 328 с.

119. Фіцула М. М. Педагогіка вищої школи: навчальний посібник [Електронний ресурс]. 2-ге вид, доп. Київ : Академвидав, 2010. 454 с. URL: [http://pidruchniki.com/70158/pedagogika/vidi\\_formi\\_naukovodoslidnoyi\\_roboti\\_studentiv](http://pidruchniki.com/70158/pedagogika/vidi_formi_naukovodoslidnoyi_roboti_studentiv) (дата звернення: 11.03.2017).

120. Фіцула М. М. Педагогіка : навч. посіб. вид. 2-ге, випр., доп. Київ : Академвидав, 2007. 560 с.

121. Харченко В. П., Остроумов І. В. Авіоніка : навч. посіб. Київ : НАУ, 2013. 272 с.

122. Хуторской А. В. Теоретико-методологические основания инновационных процессов в образовании [Электронный ресурс]. *Интернет-журнал «Эйдос»*. 2005. URL: <http://www.eidos.ru/journal/2005/0326.htm>. (дата обращения: 05.06.2016).

123. Хуторской А. В. Педагогическая инноватика: методология, теория, практика: науч. издание. Москва : УНЦ ДО, 2005. 222 с.

124. Чернецький І. С., Сліпухіна І. А., Меньяйлов С. М. Цифрові вимірjувальні комплекси – засіб розвитку дослідницьких якостей суб'єктів пізнавальної діяльності. *Наук. часоп. нац. пед. ун-ту ім. М. П. Драгоманова. Сер. № 5. Педагогічні науки: реалії та перспективи: зб. наук. пр.*; [за ред. В. Д. Сиротюка]. Київ, 2013. Вип. 40. С. 259–269. URL: <http://enpuir.npu.edu.ua/bitstream/123456789/8348/1/Chernetskyi%20I..pdf> (дата звернення: 07.06.2018).

125. Чернецький І. С., Сліпухіна І. А., Поліхун Н. І. Мультидисциплінарний підхід у формуванні STEM-орієнтованих навчальних завдань. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кропивницький, 2017. Вип. 12. Ч. 1. С. 158–168. URL: <http://phm.kspu.kr.ua/ojs/index.php/NZ-PMFMTO/article/view/1355/1328> (дата звернення: 12.03.2018).

126. Шарко В. Д. Перехід на STEM-освіту як напрям модернізації шкільної і вузівської систем навчання. *Сучасні тенденції навчання природничо-математичних та технологічних дисциплін у загальноосвітній та вищій школі* : матеріали III Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. 17–22 жовтня 2016 р. Кропивницький (Кіровоград): РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2016. С. 112–118.

127. Швачич Г. Г., Толстой В. В., Петречук Л. М., Іващенко Ю. С., Гуляєва О. А., Соболєнко О. В. Сучасні інформаційно-комунікаційні технології : навч. посіб. Дніпро : НМетАУ, 2017. 230 с.

128. Шубников А. В., Копцик В. А. Симметрия в науке и искусстве. 2-е, перераб. и доп. Москва : Наука, 1972. 339 с.

129. Ясвин В. А. Экспертиза школьной образовательной среды. Москва : Сентябрь, 2000. 128 с.

130. Arduino и MPU6050 для определения угла наклона. URL: <http://arduino-diy.com/arduino-MPU6050-dlya-opredeleniya-ugla-naklona> (дата обращения: 14.05.2016).

131. Pitt J. Blurring the boundaries – STEM education and education for sustainable development [Electronic resource]. *Design and Technology Education: An International Journal*. 2009. № 14(1). P. 37–48. URL: <http://ojs.lboro.ac.uk/ojs/index.php/DATE/article/view/201/176/> (last access: 11.05.2016).

132. Preparing future engineers around the world [Electronic resource]. *American Society for Engineering Education (ASEE). PRISM*. 2011. № 21(5). P. 26–34. URL: [http://www.prism-magazine.org/feb11/feature\\_01.cfm/](http://www.prism-magazine.org/feb11/feature_01.cfm/) (last access: 17.05.2016).

133. Reaching new frontiers in STEM education [Electronic resource]. *Sasol Inzalo Foundation*. 2012. URL: [http://www.sasolinzalofoundation.org.za/sasol\\_inzalo/downloads/Inzalo\\_brochure\\_1332954308300.pdf/](http://www.sasolinzalofoundation.org.za/sasol_inzalo/downloads/Inzalo_brochure_1332954308300.pdf/) (last access: 11.04.2016).

134. Slipukhina I. A., Bovtruk A. G., Mienaiilov S. M. Computer-based systems of physical experiment in independent work of students of technical university [Electronic resource]. *NAU Proceedings*. 2016. №3. P. 98–104.

URL:<http://jrnl.nau.edu.ua/index.php/visnik/article/view/10913/14558/> (last access: 17.03.2017).

135. Slipukhina I. A., Gedenach T. V., Olkhovyk V. V. Creating an informational website for physics academic course: web design specifics [Електронний ресурс]. *Інформаційні технології і засоби навчання*. [Електронне наукове фахове видання]. Київ, 2017. Т. 62. № 6. С. 192–202. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1812/1279>. (дата звернення: 19.04.2018).

136. Slipukhina I. A., Olkhovyk V. V., Kurchev O. O., Kapranov V. D. Development of education and information portal of physics Academic course: web design features [Електронний ресурс]. *Інформаційні технології і засоби навчання*. [Електронне наукове фахове видання]. Київ, 2018. Т. 64. № 2. С. 221–233. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1781>. (дата звернення: 23.05.2018).

137. Schönflies A. Kristallsysteme und Kristallstruktur. Leipzig, 1891.

138. PHP DevelStudio [Electronic resource]. URL: <http://develstudio.org/> (last access: 18.11.2017).

## РОЗДІЛ 4

### МЕТОДИКА НАВЧАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ НАСКРІЗНИХ ГЕНЕРУЮЧИХ ПОНЯТЬ ТЕХНІЧНИХ ЗВО НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ STEM-ОСВІТИ

#### **4.1. Аналіз підручників, посібників, методичних джерел з фізики й професійно зорієнтованих дисциплін на предмет виявлення та впровадження фундаментальних генеруючих понять**

У Законі України «Про вищу освіту» для вищої школи сформульовано завдання підвищити роль навчальних дисциплін, зокрема й фізики, у формуванні змістових понять як невіддільного складника освітнього процесу завдяки розвитку логічного й абстрактного мислення майбутніх фахівців різних галузей. Навчальна дисципліна фізика в технічних ЗВО має специфіку в навчанні природних явищ та процесів, викладених поняттях, теоріях, принципах, гіпотезах тощо. Іншими словами, зміст навчальної дисципліни фізика та професійно зорієнтованих дисциплін будується на системі фізичних і технічних понять. Фізичне й технічне поняття вчені розглядають як окремий вид більш загального родового поняття, яке психологи назвали – поняттям [26; 165], проте в усіх випадках увагу зосереджено на загальних ознаках продукту розумової діяльності, де виокремлено загальні, найбільш суттєві ознаки, які виникли унаслідок чуттєвого віддзеркалення дійсності.

З огляду на це категорію поняття ми розглядаємо як результат чуттєвого віддзеркалення узагальнень частини навколишнього середовища або галузі техніки, вираженого словесно або в інший спосіб думкою. У процесі поступального розвитку думки суб'єкт навчання поглиблює зміст і розвиток кожного поняття, кожної теорії: класичної механіки, теорії електромагнітного поля Максвелла, квантової фізики тощо.

З позиції дидактики категорія поняття є проміжною між навколишнім середовищем і його пізнанням. Формування системи понять обраної галузі знань зумовлює виникнення зв'язків між ними. У всій системі понять

виокремлюють фундаментальні. На нашу думку, це поняття, які в пізнанні ґрунтуються на узагальнених висновках теоретичних та експериментальних досліджень фізичних явищ і процесів, а не на окремих їхніх властивостях. У навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін технічних ЗВО фундаментальними є наскрізні поняття.

Практика засвідчує [16; 17], що в засвоєнні суб'єктами навчання такої системи виникають постійні проблеми й суперечності, що виникають унаслідок відсутності або насамперед недовільної генералізації. Науковці [17; 38; 128; 148] вважають, що поняття генералізація передбачає системний аналіз засвоєваних явищ і процесів; установлення співвідношень між поняттями; взаємний вплив понять у системі; виокремлення невеликої кількості понять, навколо яких формуються інші – фундаментальні. Узагальнення результатів дисертаційних праць [18; 153] і власного досвіду дає змогу стверджувати, що у формуванні компетентного фахівця технічних галузей виникають недоліки з таких причин:

- обмежене усвідомлення закономірностей аналізу й синтезу явищ, що вивчаються, невміння виокремити ознаки, які характеризують такі явища (первинна генералізація);

- недостатнє розуміння сутності та ієрархії встановлення уможливлених логічних співвідношень між поняттями (внутрішня генералізація).

У нашому дослідженні проаналізовано освітні програми навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін технічних ЗВО [124; 125; 126; 127] і виокремлено 10 фундаментальних наскрізних генеруючих понять, наявних у всіх розділах курсу фізики та професійно зорієнтованих дисциплінах (таблиця 4.1).

До таких понять належать симетрія, система координат, матеріальна точка, швидкість, час, простір, закон збереження енергії, енергія, поля, структура речовини. Рівень фундаментальності визначено за оціночним коефіцієнтом від 0 до 10. У таблиці 4.1 представлено оціночні коефіцієнти.

Три поняття мають максимальне значення за критерієм уживаності в розділах фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, три мають коефіцієнти – 9.

Таблиця 4.1

### Оцінка генеруючих наскрізних фундаментальних понять

№ з/п	Наскрізні фундаментальні поняття	Оціночний коефіцієнт	Інтегрування у STEM	Коефіцієнт інтегративності	Сумарний коефіцієнт інтегративності
1	2	3	4	5	6
1.	Симетрія (виявляється в усіх розділах фізики та професійно зорієнтованих дисциплінах) [12; 13; 70; 92]	10	Наука Технологія Інженерія Математика	4 4 4 4	16
2.	Система відліку (слабше виявляється в оптиці, хімії палива, повітряних перевезеннях) [12; 13]	9	Наука Технологія Інженерія Математика	4 3 4 4	15
3.	Матеріальна точка (не використовується в термодинаміці, оптиці) [12; 13; 92]	8	Наука Технологія Інженерія Математика	1 1 4 1	7
4.	Структура речовини (не використовується в кінематиці, статистиці, роботі та енергії, термодинаміці, СТВ) [12; 13; 92]	6	Наука Технологія Інженерія Математика	4 3 3 2	12
5.	Енергія (не використовується в кінематиці) [12; 13; 92]	9	Наука Технологія Інженерія Математика	4 2 4 4	14
6.	Поля взаємодій (не використовується в кінематиці, статистиці, термодинаміці) [12; 13; 92]	8	Наука Технологія Інженерія Математика	4 2 2 2	10
7.	Закони	9	Наука	4	14

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
	збереження (не використовується в кінематиці)		Технологія Інженерія Математика	2 4 4	
8.	Простір (у всіх розділах фізики та професійно зорієнтованих дисциплінах) [12; 13; 70; 92]	10	Наука Технологія Інженерія Математика	4 2 4 2	12
9.	Час (у всіх розділах фізики та професійних дисциплінах) [12; 13]	10	Наука Технологія Інженерія Математика	4 2 4 2	12
10.	Швидкість (у всіх розділах фізики та професійних дисциплінах) [12; 13; 92]	10	Наука Технологія Інженерія Математика	4 4 4 2	14

Уважаємо, що до наскрізних належить поняття структура речовин, яке має найменше значення оціночного коефіцієнта – 5. Водночас було визначено відповідність указаних понять вимогам STEM з оцінкою коефіцієнта інтегративності за кожним складником: наука, технологія, інженерія, математика (таблиця 4.1). Найбільша сума коефіцієнтів інтегративності виявляється в понятті симетрія. З огляду на це є всі підстави стверджувати, що основою формування методики навчання фізики є визначені наскрізні фундаментальні генеруючі поняття з виокремленням поняття симетрії та ін.

Особливістю курсу фізики в технічних ЗВО, зокрема й авіаційних, є широке використання поняття симетрії, вивчення якого передбачено в конструкціях літальних апаратів, різновидах двигунів, електрозабезпеченні, роботах, навігації, комп'ютерній техніці та інших технічних пристроях, що безпосередньо ґрунтуються на STEM-технологіях [74; 75; 76; 77; 78; 81].

Теоретичні основи поняття симетрії та її властивості в загальному аспекті ґрунтовно розглянуто в п. 3.2. Властивість симетрії виявляється в правильності форм об'єктів та її незмінності під час рухів віддзеркалень у



фізиці й технічних дисциплінах. Еволюція цього поняття бере початок з Древньої Греції, коли симетрією називали пропорції, що потрібні для гармонії та краси [28].

У книзі «Елегантний Всесвіт. Суперструни: прихована розмірність і пошуки остаточної теорії» [42] Б. Гріна зазначено, що симетрія виконує домінуючу роль у науковому пізнанні.

Порушено проблему представлено в працях Г. Вейля [23], Е. Вінберга (математичні проблеми) [27]; Р. Ганієв розглянув світоглядні питання [32]; Дж. Еліот, П. Добера [51], Е. Вігнер, І. Тамм досліджували проблеми симетрії у фізиці [28; 162]; В. Ярош узагальнював симетрію в мікро- і макрокосмосі [180]; І. Ковальов вивчав питання методики навчання симетрії у фізиці [56].

Аналіз філософської та методологічної літератури [2; 16; 20; 34; 40; 44; 60; 99] засвідчує, що в цьому напрямі проблему вивчення симетрії та її ролі в постнеокласичній науці майже не розглянуто.

Наприкінці XIX–XX ст. у математиці, зокрема в геометрії, принцип симетрії набув суттєвого значення. Розділ математики, що вивчає загальні властивості операцій симетрії, називається теорією груп (рис. 4.1) [65]. Теоретико-групове мислення в математиці зародилося із часів Е. Галуа (1811–1832 рр.) та Ф. Клейна (1849–1925 рр.) і почало упродовжуватися у фізику на рубежі XIX–XX ст.



Рис. 4.1. Види геометричної симетрії

Ми також проаналізували розділи й теми курсу фізики та професійно зорієнтованих дисциплін технічних ЗВО на предмет вияву в них властивостей симетрії (таблиця 4.2)

У таблиці 4.2. подано 6 розділів курсу фізики, де генеруючим поняттям є симетрія та її властивості: класична фізика (кінематика, динаміка, статика, робота і енергія, гідродинаміка, спеціальна теорія відносності – СТВ), молекулярна фізика, термодинаміка, електродинаміка (електрика, магнетизм), коливання і хвилі, оптика (хвильова, геометрична), квантова фізика.

Таблиця 4.2

**Використання поняття симетрії в навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін технічних ЗВО**

№ з/п	Розділи, теми навчальних дисциплін	Вияв властивостей симетрії
1	2	3
<b>Фізика</b>		
1.	Класична механіка [12; 13]: кінематика  динаміка  статика  робота і енергія  гідродинаміка  СТВ	вибір системи координат у симетрії задач; симетрія відносно точки; поворот тіла на певний кут навколо деякої осі; симетрія простору й часу; перший та другий закони Ньютона; вісь симетрії колеса огляду; закон збереження імпульсу, моменту імпульсу; теорема про рух центра мас системи; поняття шарнірно рухомої опори; кососиметричне та симетричне навантаження; закон збереження енергії;  симетрія рівняння Бернуллі; симетрія однорідного середовища; перетворення простору-часу (трансляція, обертання); закон збереження для тензора енергії-імпульсу; перетворення Галілея і перетворення Лоренца; принцип еквівалентності; 4-імпульс; швидкість світла.
2.	Молекулярна фізика [13]	атомно-молекулярна будова речовин; будова та форма кристалів, кристалічна решітка.
3.	Термодинаміка, (с. 19 дисертації [35])	перший закон термодинаміки; явище конвекції; зміна агрегатних станів речовини; ентропія, вільна енергія, теплота, температура.

1	2	3
4.	Електродинаміка (с. 19 дисертації [35]):  Електрика	поняття точкового заряду; закон збереження електричного заряду; визначення напруженості електричного поля рівномірно зарядженої площини; зв'язок між симетрією системи зарядів і симетрією електричного
<b>Фізика</b>		
	Магнетизм (с. 19 дисертації [35])	поля; лінії напруженості; еквіпотенціальні поверхні; теорема Пойтінга; поняття магнітного поля та властивості постійних магнітів; лінії магнітної індукції; розгляд законів Фарадея та Максвелла.
5.	Коливання та хвилі (с. 19 дисертації [35], с. 20 [42; 43])  Геометрична оптика (с. 19 дисертації [35], с. 20 [42; 43])  Хвильова оптика (с. 19 дисертації [35], с. 20 [42; 43])	електромагнітні хвилі у вакуумі; гравітаційні хвилі; дисперсія хвиль; дзеркальне відображення в площині; закони відбивання та заломлення світла; симетрія зображень в плоскому та сферичному дзеркалах; дифракція, інтерференція, поляризація оптичних явищ.
6.	Квантова фізика (с. 19 дисертації [35], с. 20 [43])	гамільтоніан, ідентичні частинки, стала Планка, квантове зчеплення, квантовий гармонічний осцилятор, хвильова функція, квантове число, спін, закон збереження енергії, імпульсу, електричного заряду, числа баріонів, числа лептонів; сильні, електромагнітні взаємодії (електричний заряд, дивність, баріонний заряд, спін); оборотність перетворень елементарних частинок; регуляризація, перенормування, фізичний вакуум, фундаментальна частинка, кварк.
<b>Професійно зорієнтовані дисципліни</b>		
<b>Теоретична механіка</b>		
7.	Предмет і основні поняття теоретичної механіки [92]  Динаміка матеріальної точки [92]  Вступ до статички твердого тіла [92]  Система збіжних сил. Умови	механічний рух та його відносність. Простір і час в класичній механіці. Предмет теоретичної механіки та її найпростіші моделі: матеріальна точка, система матеріальних точок, абсолютно тверде тіло; закони динаміки матеріальної точки: закон інерції (1-й закон Ньютона), основний закон динаміки (2-й закон Ньютона): у диференціальній формі (в скалярному та векторному записі); вступ до статички твердого тіла. Сила. Аксиоми статички. Основні поняття статички: сила, система сил, еквівалентні і зрівноважені системи сил, рівнодійна; поняття системи збіжних сил. Знаходження рівнодійної системи збіжних сил геометричним та аналітичним шляхом.

1	2	3
	Рівноваги [92]  Теорія пар. Пара сил. Вектор моменту пари сил Загальні теореми руху точки [92]  Динаміка механічної системи матеріальних точок [12; 13; 92]	Теорема про рівновагу системи збіжних сил: геометрична та аналітична умова рівноваги; теорема про три сили. Теореми про еквівалентність пар сил. Складання пар сил; теорема про зміну імпульсу точки. Теорема про зміну кінетичної енергії точки. Теорема про зміну моменту імпульсу;  маса механічної системи та визначення радіус-вектора центра мас механічної системи. Диференціальні рівняння руху центра мас механічної системи. Закон збереження руху центра мас механічної системи.
<b>Повітряна навігація</b>		
8.	Картографічне забезпечення польоту [92]  Вимір часу [12; 13; 92]	форма та розмір Землі. Координати точки. Визначення координат точок на карті. Визначення точок на карті за іншими координатами. Лінії шляху; системи обліку часу.
<b>Інженерна графіка</b>		
9.	Проекційний метод побудови зображень геометричних фігур  Проекції точки, прямої та площини [92]	проекційний метод побудови зображень геометричних фігур. Системи координат;  три координати точки. Три координати радіус-вектора точки.
<b>Повітряне судно (Льотно-технічні характеристики ПС)</b>		
10.	Вплив умов на характеристики зльоту та посадки [92]  Аеродинамічна сила та момент  Динаміка особливих умов та особливих випадків у польоті	траєкторія посадки. Основні розрахункові формули;  пов'язана та швидкісна система координат. Повна аеродинамічна сила та її проекції в пов'язній та швидкісній системах координат; особливості польоту в умовах турбулентної атмосфери.
<b>Повітряні перевезення</b>		
11.	Термінологія  Перевірка маси повітряного судна [92] Процедура визначення маси літака та балансувальна документація	центрувальні характеристики повітряного судна; вимоги до повторного зважування повітряного судна; визначення сухої експлуатаційної маси. Додавання маси пасажирів та вантажів. Додавання маси палива.
<b>Авіоніка</b>		
12.	Елементи прикладної теорії гіроскопів [79; 78]	гіроскоп та його використання в техніці. Властивості гіроскопу з трьома ступенями свободи.
<b>Авіаційна метеорологія</b>		

## Продовження табл.4.2

1	2	3
13.	Небезпечні для польотів явища навколишнього середовища [92]	турбулентність атмосфери, причини виникнення та чинники, які впливають на її інтенсивність.
<b>Основи електротехніки та електроніки</b>		
14.	Електромагнітні явища та їх використання (с. 19 дисертації [35])	індукційна й електромеханічна дія магнітного поля. Закон електромагнітної індукції Фарадея-Максвелла.
<b>Основи геофізичного забезпечення польотів</b>		
15.	Гравітаційне, магнітне й електромагнітні поля Землі (с. 19 дисертації [35])	гравітаційне і магнітне поля. Теоретичні основи геомагнетизму.
<b>Практична підготовка на PC Flight Simulator</b>		
16.	Вимір часу. Система обліку часу [12; 13]	відпрацювання навичок використання авіаційного годинника.
<b>Аеродинаміка польоту повітряних суден</b>		
17.	Балансування, стійкість та керованість літака. Стійкість, керованість та балансування літака в повздовжньому русі [12; 13; 92]	схема сил, що діють на літак: реальна та приведена до центра мас збалансованого літака. Центр аеродинамічного тиску та фокус. Центрування літака. Балансування літака в повздовжньому русі. Центрування за допомогою баласту та вантажу.
<b>Вступ в аеронавігацію</b>		
18.	Основні положення теорії та принципів польотів літака [92]	повітряний потік, його штучні утворення, візуалізація повітряного потоку. Рівняння нерозривності та рівняння Бернуллі для ідеальної рідини.
<b>Хімія та паливно-мастильні матеріали</b>		
19.	Основні відомості про будову речовини [92]	основні положення про атомно-молекулярне вчення; поняття про атом та молекулу, атомну та молекулярну масу. Електронна будова атомів.

У професійно зорієнтованих дисциплінах виокремлено 13 розділів, вивчення яких ґрунтується на знаннях фізики та понятті симетрія і її властивостях: теоретична механіка (предмет та основні поняття теоретичної механіки, динаміка матеріальної точки, вступ до статички твердого тіла, система збіжних сил, умови рівноваги, теорія пар, пара сил, вектор моменту пари сил, загальні теореми руху точки, динаміка механічної системи матеріальних точок); хімія та паливно-мастильні матеріали; вступ в аеронавігацію; аеродинаміка польоту повітряних суден; практична підготовка на PC Flight Simulator; основи геофізичного забезпечення польотів; авіаційна метеорологія; основи електротехніки та електроніки;

авіоніка; повітряні перевезення (термінологія, перевірка маси повітряного судна, процедура визначення маси літака та балансувальна документація); інженерна графіка (проєкційний метод побудови зображень геометричних фігур, проєкції точки, прямої та площини); повітряна навігація (картографічне забезпечення польоту, вимір часу); повітряне судно (ПС) (льотно-технічні характеристики ПС; вплив умов на характеристики зльоту та посадки, аеродинамічна сила та момент, динаміка особливих умов та особливих випадків у польотів). Таблиці 4.2 демонструє, що на знаннях властивостей симетрії сформовано практично всі розділи курсу фізики й професійно зорієнтованих дисциплін технічних ЗВО.

Опрацювання методичної літератури [3; 16; 19; 24; 31; 39; 58; 99], посібників та підручників з фізики, тем і розділів фізики й професійно зорієнтованих дисциплін технічних ЗВО (див. таблицю 4.2) на предмет використання та пояснення симетрії як наскрізного генеруючого поняття довело, що це поняття наявне практично в кожному розділі та темі і має визначальну стратегію розвитку логіки викладу відповідного навчального матеріалу. Відповідно є всі підстави окреслити методику впровадження фундаментального поняття симетрії в навчання курсу фізики та дисциплін технічного напрямку.

Також проаналізовано науково-методичні видання Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Національного авіаційного університету, Української інженерно-педагогічної академії, Одеського національного політехнічного університету, Львівської політехніки, наукових записок педагогічних університетів та дисертаційних праць останніх 30 років (таблиця 4.3) щодо розкриття методики навчання фундаментального генеруючого поняття симетрії в курсі фізики.

У процесі аналізу встановлено, що з 34378 статей поняття симетрії опрацьовано в 542 – 1,6 % від їхньої загальної кількості. З-поміж статей, у яких викладено вивчення поняття симетрія, методику навчання цього

фундаментального наскрізного генеруючого поняття розкрито в 92 статтях – 17 %, а стосовно загальної кількості статей цей показник становить 0,27 %.

Таблиця 4.3

### Стан розвитку методики вивчення поняття симетрії

№ з/п	Видання	Усього статей з 1980	Статті у яких досліджено	
			Симетрію	Методику
1	2	3	4	5
1.	Наукові записки Центральноукраїнського державного педагогічного університету ім. В. Винниченка	2176	28 (1,3 %)	8 (28,6 %)
2.	Збірник «Механіка гіроскопічних систем» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»	1570	47 (2,9 %)	3 (6,4 %)
3.	Вісник Національного Авіаційного Університету. Науковий журнал (фахове видання в галузі педагогічних та технічних наук)	2179	85 (3,9 %)	5 (5,9 %)
4.	Збірник наукових праць. Проблеми інженерно-педагогічної освіти Української інженерно-педагогічної академії	1603	10 (0,62 %)	2 (20 %)
5.	Журнал «Вісник Вінницького політехнічного інституту»	3548	57 (0,20 %)	1 (1,8 %)
6.	Науково-технічний журнал «Технологія і конструювання в електронній апаратурі» Одеського національного політехнічного університету	3510	76 (2,17%)	1 (1,3%)
7.	Збірник наукових праць «Педагогічні науки» Херсонського державного університету	3247	15 (0,46 %)	7 (46,6 %)
8.	«Науковий вісник Південноукраїнського національного педагогічного університету імені К. Д. Ушинського»	3783	12 (0,32 %)	3 (0,08 %)
9.	Науковий фаховий журнал «Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології» Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка.	2254	16 (0,71 %)	5 (31,3 %)
10.	Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна.	3694	36 (0,97 %)	15 (41,7 %)
11.	Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Педагогічні науки.	874	9 (1,03 %)	4 (44,4 %)
12.	Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 5. Педагогічні науки: реалії та перспективи	2074	122 (5,9 %)	25 (20,5 %)
13.	Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна	1974	12 (0,6 %)	4 (33,3 %)

Продовження табл.4.3

1	2	3	4	5
	робота»			
14.	Вісник Черкаського університету. Серія педагогічні науки (напрямок методика навчання)	1893	17 (0,89 %)	9 (52,9 %)
	Усього	34378	542 (1,6 %)	92 (17 %)

Як бачимо, методику навчання фундаментального наскрізного генеруючого поняття симетрії у фізиці та професійно зорієнтованих дисциплінах майже не розроблено, тому виникає потреба в створенні методики навчання фізики та професійно зорієнтованих навчальних дисциплін у технічних ЗВО на основі поєднання принципу генералізації (інтеграція понять навколо генеруючого) та засад STEM-технологій (див. п. 3.1). З огляду на це ми вирішили, що доцільно створити концепцію навчання поняття симетрії, яка ґрунтується на узагальненому законі структури фізичних законів, що описують всі форми явища та процеси природи, руху у більшості напрямів техніки. Концепцію визначає взаємозв'язок законів фізики та принципів симетрії; опис явищ, процесів, технічних об'єктів у макро- й мікросвіті; чинник існування груп і сімейств елементарних частинок.

Симетрія в технічних пристроях демонструє співвідношення між елементами й фігурами; виявляється в поєднанні частин фігури внаслідок її переміщення відносно осі або центру симетрії, де використовується математичний STEM-складник. У геометрії розглядають види симетрій (рис. 4.1) [65; 78; 81]. Опрацювання симетрії та її властивостей передбачає врахування наукового, технічного, інженерного та математичного складників STEM-освіти, що є доцільним для вивчення студентами технічних дисциплін у ЗВО.

У процесі аналізу підручників та освітніх програм математичного спрямування (таблиця 4.1, 4.2, 4.3) окреслено математичні компоненти поняття симетрії, які широко застосовуються у навчанні фізики та



професійно зорієнтованих дисциплін [92], де виявляється теоретико-групове мислення (рис. 4.2).

Важливий елемент методики опрацювання поняття геометричної симетрії в технічних ЗВО має особливості, які доцільно розглянути в процесі навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, тому важливо застосувати міждисциплінарний, інтеграційний, системний, компетентісний та професійно зорієнтований підхід у поєднанні із STEM-технологіями.

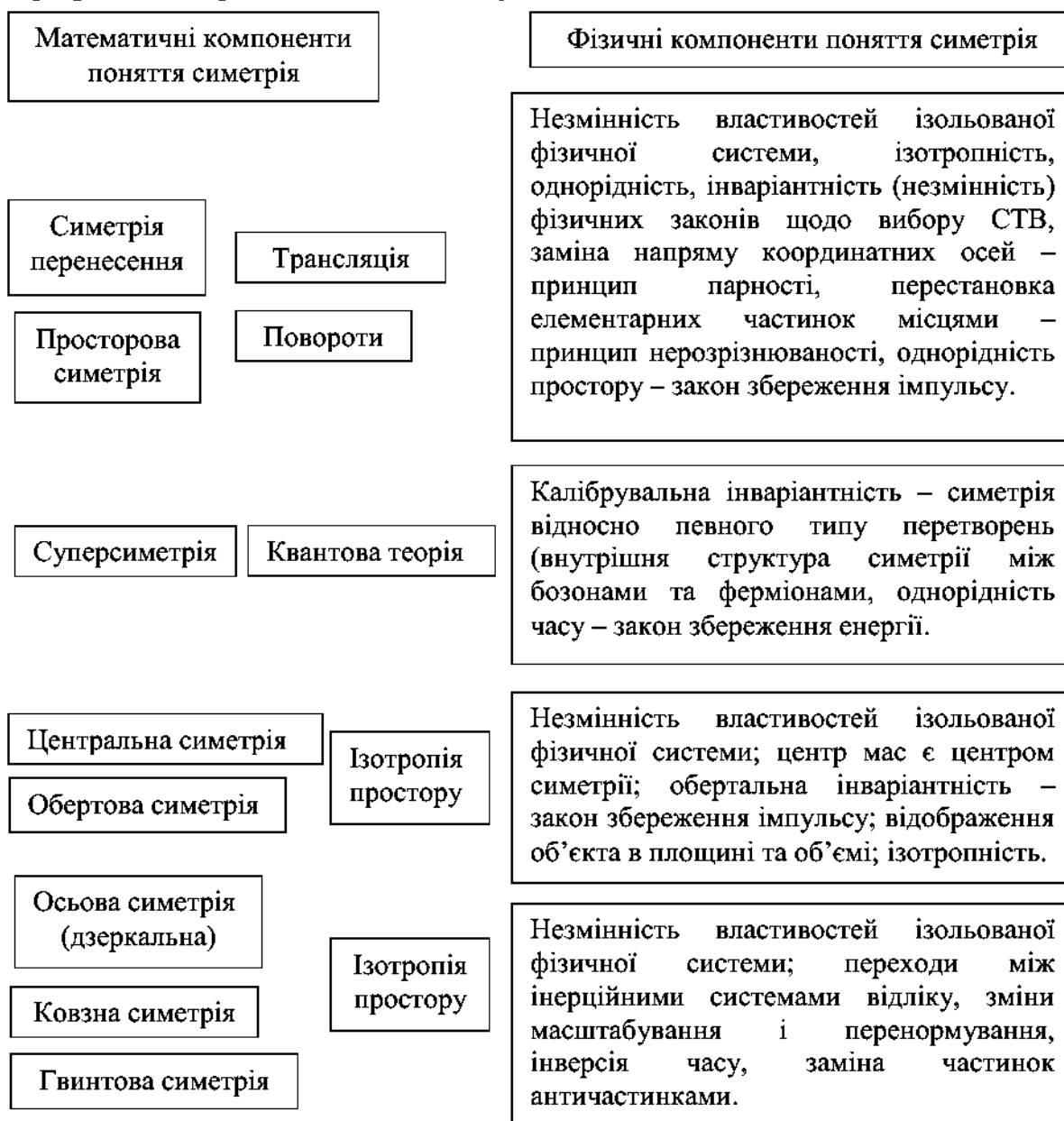


Рис. 4.2. Віддзеркалення фізичних компонент симетрії в математичних

Поняття дзеркальна симетрія в навчанні фізики порівняно з математичним тлумаченням має специфіку й уживається для технічного опису відповідного типу симетрії об'єкта, коли об'єкт унаслідок

віддзеркалення переходить у себе. Такий погляд виявляється в кристалографії, хімії, фізиці, біології тощо. Важливого значення поняття симетрії набуває в технічній галузі, наприклад, під час розгляду будови крила літака, визначення кутів атаки, знаходження підйомної сили та сили лобового опору [79; 80; 83]. З позиції STEM-підходу можна спостерігати фундаментальність цього поняття з яскравим виявом міждисциплінарних зв'язків фізики та професійно зорієнтованих дисциплін [70; 71; 89].

Класифікації кристалів у фізиці, обґрунтування кристалографічних симетрій Є. Федорова та А. Шенфліса (1894 р.), СТВ Ейнштейна-Пуанкаре (1895 р.) започаткували застосування математичних методів симетрії у фізиці. Побудову технічних моделей значною мірою забезпечує поняття симетрії математичного апарату – теорія груп, що дає змогу реалізувати принцип побудови моделей нових явищ та пристроїв.

Група математичних симетрій переміщення та просторової симетрії ґрунтується на операціях трансляції й повороту. У сукупності у фізиці та професійно зорієнтованих дисциплінах вони забезпечують незмінність властивостей ізольованої фізичної системи, ізотропність, однорідність, інваріантність (незмінність) фізичних законів щодо вибору системи відліку; вияв СТВ; заміна напряму координатних осей – принцип парності; перестановка елементарних частинок місцями – принцип нерозрізнюваності, однорідність простору – закон збереження імпульсу.

Група суперсиметрій гіпотетично пояснює більшість явищ та процесів квантової механіки. У фізиці вона виявляється так: калібрувальна інваріантність – симетрія відносно певного типу перетворень (внутрішня симетрія між бозонами та ферміонами, однорідність часу – закон збереження енергії).

Група центральної та обертової симетрій мають основу в ізотропності простору і пояснює такі фізичні ідеї: незмінність властивостей ізольованої фізичної системи; центр мас як центр симетрії об'єкта; обертальна

інваріантність – закон збереження імпульсу; віддзеркалення об'єкта в площині та об'ємі; ізотропність.

Осьова (дзеркальна), ковзна, гвинтова симетрії ґрунтуються на ізотропії простору і обґрунтовують незмінність властивостей ізольованої фізичної системи; переходи між інерційними системами відліку; зміни масштабування і перенормування; інверсія часу; заміна частинок античастинками.

*Трансляції* показують, що у фізичній або технічній системі не відбуваються зміни за зсуву на певний вектор названий вектором трансляції. Трансляційна симетрія властива кристалам. Вектори трансляції не довільні. З-поміж усіх векторів трансляцій кристалічної решітки можна вибрати 3 лінійно незалежних. Ці вектори є базисом кристалічної решітки.

*Теорія груп* демонструє, що трансляційна симетрія в кристалах сумісна тільки з поворотами на кути  $\theta = 2\pi / n$ , де  $n = 1, 2, 3, 4, 6$ .

Повертання на кути  $180^\circ, 120^\circ, 90^\circ, 60^\circ$  де змінює положення атомів у кристалі. Кристали мають вісь обертання  $n$ -го порядку.

Перенесення в плоскому чотиривимірному просторі-часі не змінює фізичних законів.

Фізичні величини, що змінюють знак унаслідок обернення часу, називаються *T-непарними*, а які не змінюють знак – *T-парними*. Добуток будь-якого числа *T-парних* величин і парного числа *T-непарних*, у результаті дає *T-парну* величину, а добуток непарного числа *T-непарних* величин і будь-якого числа *T-парних* величин – *T-непарну*. Множення на *T-непарну* величину змінює *T-парність* добутку, а на *T-парну* – не змінює. Квадрат *T-непарної* – величини *T-парна*, непарний степінь – *T-непарна*.

У таблиці 4.4 представлено властивості *T-парних* і *T-непарних* фізичних величин.

За таблицею 4.4 можна стверджувати, що маси і заряди, а також інші константи, пов'язані зі слабкою взаємодією, теж мають симетрією внаслідок перетворення часу.

## Т-парні та Т-непарні фізичні величини

<i>T</i> -симетрія					
<i>T</i> -парна	Розділ фізики	Позначення	<i>T</i> -непарна	Розділ фізики	Позначення
1	2	3	4	5	6
Положення частинки в просторі	<i>Кінематика</i>	$\vec{x}$	Час	<i>Кінематика</i>	$t$
Прискорення частинки		$\vec{a}$	Швидкість частинки		$\vec{v}$
Кутове прискорення частинки		$\vec{\epsilon}$	Кутова швидкість частинки		$\vec{\omega}$
Енергія	<i>Динаміка</i>	$E$	Імпульс частинки	<i>Динаміка</i>	$\vec{p}$
Сила, що діє на частинку		$\vec{F}$	Кутовий момент частинки (орбітальний, спіновий)		$\vec{e}$
Густина енергії	<i>Електродинаміка</i>	$\epsilon$	Потужність	<i>Електродинаміка</i>	$N$
Електричний потенціал, напруга, ЕРС		$\phi, U$	Електромагнітний векторний потенціал		$\vec{A}$
Напруженість електричного поля		$\vec{E}$	Магнітна індукція		$\vec{B}$
Електричне зміщення		$\vec{D}$	Напруженість магнітного поля		$\vec{H}$
Густина електричного заряду		$\rho$	Густина електричного струму		$\vec{j}$
Електрична поляризація		$\vec{P}$	Намагніченість		$\vec{M}$
Тензор напруги електромагнітного поля		$\sigma_{ij}$	Вектор Пойтінга		$\vec{S}$

Аналіз формул класичної механіки, класичної електродинаміки, квантової механіки засвідчує, що теорії відносності не змінюються внаслідок перетворення часу.

Термодинаміка, що розглядає другий закон термодинаміки, несиметрична щодо перетворення часу, хоча на рівні механічних законів, що описують рух частинок термодинамічної системи, час обернений. Це пов'язано з більшою ймовірністю перебування термодинамічної системи в макростані, який реалізується великим числом мікростанів.

У мікросвіті  $T$ -симетрія порушується в слабких взаємодіях. Будь-яка теорія поля повинна бути  $CPT$ -інваріантна (теорема Людерса-Паулі), однак  $CP$ -симетрія в стандартній моделі порушується:  $CP$ -порушення спостерігається в слабких взаємодіях у кварковому секторі моделі.  $CP$ -порушення теоретично може спостерігатися й у сильних взаємодіях, проте  $CP$ -порушення дуже обмежене спостереженням в експерименті електричного дипольного моменту нейтрона (наприклад, проблема слабого  $CP$ -порушення). Унаслідок того, що  $CP$ -симетрію порушено через збереження  $CPT$ -симетрії, слідує неінваріантність  $T$ -симетрії.

Із симетрії перетворення часу виводиться рівність, у якій електричний дипольний момент елементарних частинок дорівнює нулю. Якщо будь-яка система виявляє ненульовий електричний дипольний момент, це означає, що вона неінваріантна щодо перетворення часу (а також щодо віддзеркалення координат), тобто є  $T$ - і  $P$ -непарною.

Якщо рівняння, що описує фізичну систему, неінваріантне щодо перетворення часу, то фізична система незворотна. Наприклад, якщо розглянемо протікання струму по провіднику, що описується законом Ома  $j = \sigma E$ , тоді в цьому разі маємо  $j^R = -j$ ,  $E^R = E$ . Через розсіювання джоулевого тепла система незворотна [9; 122, с. 36–40].

Важливого значення набуває у фізичних та технічних процесах перетворення часу, зокрема в класичній механіці, класичній електродинаміці та квантовій механіці (таблиця 4.5).

За твердженням Д. Еліот та П. Добера, «більшість фізиків зазначає, що, незважаючи на свою складність, у фізиці багато гармонії, витонченості, краси. І не остання роль у цьому належить симетрії. Симетрія не лише

посідає важливе місце у фізиці, але й має важливе значення в сучасних фізичних дослідженнях» [51, с. 11].

Таблиця 4.5

### Перетворення часу у фізиці

№ з/п	Розділ фізики
1	<p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;"><i>Класична механіка</i></p> <p>Вираз <math>\bar{R}</math> перетворення часу в класичній механіці визначається правилами [27]: <math>\bar{x}^R = \bar{x}</math>, <math>\bar{p}^R = -\bar{p}</math>, де <math>\bar{x}</math> – координата, <math>\bar{p}</math> – імпульс частинки.</p> <p>Фізичні величини, що не є динамічними змінними (маса, заряд і т.д.), не змінюються внаслідок перетворення часу.</p> <p>Для будь-якої функції <math>\bar{F}</math> динамічних змінних <math>A, B, \dots</math> справедливий вираз <math>\bar{F}(A, B, \dots)^R = \bar{F}(A^R, B^R, \dots)</math>.</p> <p>Гамільтоніан <math>\bar{H}</math> і просторові координати <math>x</math> інваріантні відносно перетворення часу <math>\bar{H}^R = \bar{H}</math>, <math>\bar{x}^R = \bar{x}</math>.</p> <p><i>Властивості перетворення часу в класичній механіці:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Якщо <math>\bar{Q}</math> – довільна динамічна змінна, <math>\bar{H}</math> – Гамільтоніан, то справедлива рівність <math>(\bar{Q}, \bar{H})^R + (\bar{Q}^R, \bar{H}) = 0</math> [27].</li> <li>2. <math>\bar{p}</math> – імпульс фізичної системи. Тоді <math>\bar{p}^R = -\bar{p}</math> [28].</li> <li>3. <math>\bar{F}, \bar{G}</math> – довільні динамічні змінні. Тоді справедлива рівність <math>(\bar{F}, \bar{G})^R + (\bar{F}^R, \bar{G}^R) = 0</math>.</li> <li>4. <math>\bar{Q}</math> – довільна динамічна змінна. Тоді <math>\left(\frac{dQ}{dt}\right)^R = -\frac{dQ^R}{dt}</math> [29].</li> <li>5. <math>\bar{L}</math> – лагранжіан фізичної системи. Тоді <math>\bar{L}^R = \bar{L}</math> [29].</li> </ol>
2.	<p style="text-align: center;"><i>Електродинаміка</i></p> <p>Гамільтоніан за наявності електромагнітного поля має вид <math>\bar{H} = \bar{H}_0(\bar{p} - e\bar{A}(x), x + e\bar{\phi}(x))</math>. <math>\bar{A}, \bar{\phi}</math> – векторний та скалярний потенціали електромагнітного поля. Стосовно вимоги інваріантності повного гамільтона відносно перетворення часу слідує: <math>\bar{A}^R = -\bar{A}</math>, <math>\bar{\phi}^R = \bar{\phi}</math>.</p> <p><i>Властивості перетворення часу в класичній електродинаміці:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\bar{E}</math> – напруженість електричного поля, <math>\bar{H}</math> – напруженість магнітного поля. Тоді <math>E^R = E</math>, <math>H^R = -H</math> [32].</li> <li>2. Сила Лоренця <math>\bar{F} = e(\bar{E} + \dot{x} \times \bar{H})</math> інваріантна внаслідок перетворення часу <math>\bar{F}^R = \bar{F}</math> [9].</li> <li>3. Вектор Умова–Пойтінга <math>\bar{E} \times \bar{H}</math>, унаслідок перетворення часу змінює знак <math>\bar{S}^R = -\bar{S}</math> [32].</li> <li>4. Коли перетворюється час, напрям поширення електромагнітної хвилі змінюється на протилежний, але її поляризація не змінюється [23].</li> </ol> <p>З інваріантності рівнянь Максвела внаслідок перетворення часу впливає: <math>\bar{J}^R = -\bar{J}</math>, <math>\rho^R = \rho</math> [23].</p>
3.	<p style="text-align: center;"><i>Квантова механіка</i></p> <p>У квантовій теорії характеристикою стану фізичної системи є вектор стану в</p>

1	2
	<p>гільбертовому просторі. У квантовій механіці інваріантність унаслідок перетворення часу в уявленні Шредінгера означає, що від відображення <math>\psi_i = \psi_f</math> випливає, що <math>\psi_f^R = \psi_i^R</math> [23]. Вираз <math>\bar{R}</math> перетворення часу в квантовій механіці задається такими постулатами [42]:</p> <p>1) <math>\psi^R = U^T \psi^*</math>, де <math>\psi</math> – вектор стану системи, індекс <math>T</math> – означає операцію транспонування, знак <math>*</math> – операція комплексного спряження;</p> <p>2) принцип відповідності між класичними і квантовими динамічними змінними <math>Q_c^R = {}_{\mathcal{Q}}Q_c</math>. <math>(\psi^R, Q\psi^R) = {}_{\mathcal{Q}}(\psi, Q\psi)</math>, <math>{}_{\mathcal{Q}} = \pm 1</math>.</p>

Безумовно, принципи симетрії є визначальними, вони відчутно полегшують розуміння складних фізичних і технічних процесів, дозволяючи об'єднати різні, здавалося б несумісні теорії.

Підтвердженням цього є думка Д. Еліот: «Ми розглядаємо їх поведінку в різних перетвореннях, наприклад, якщо частинка рухається прямолінійно в полі з потенціалом  $v(x)$ , то цей потенціал може мати дзеркальну симетрію відносно початку координат, тобто задовольняти рівності  $v(x) = -v(x)$ . У такому разі говорять, що потенціал інваріантний відносно перетворення, яке змінює  $x$  на  $-x$ . Коли ж частинка рухається в трьох вимірах, можемо записати вираз у сферичних полярних координатах:  $v(r)$ . Такий потенціал інваріантний відносно будь-якого перетворення, що полягає в повороті на довільний кут довкола довільної осі, що проходить через початок координат» [51, с. 12]. Математичну компоненту STEM-освіти, яку використовують науковці в процесі вивчення симетрії, розглядають у теорії груп [32; 117]. Симетрія фізичних систем розглядає їхню поведінку під час перетворень, які продовжують спостерігатися в процесі навчання технічних дисциплін з упровадженням технологій STEM-освіти.

Отже, принцип симетрії, який ми розглядаємо в методиці навчання фізики на основі STEM-технологій [74; 75; 76; 77; 78; 79; 80; 81–90], є основою фізичних теорій, оскільки визначає структурну організацію сучасної фізичної теорії як цілого.

У працях С. Ілларіонова і Е. Мамчур указано такі функції принципів симетрії у фізичному пізнанні [49]:

1. Організаційна функція виокремлює «включення менш загальних структурних відношень у більш загальні» [49, с. 174].

2. Обмежувальна функція розглядає два аспекти: гносеологічний та онтологічний. «З гносеологічного погляду принципи симетрії є своєрідними правилами відбору рівнянь та гіпотез, які висуваються» [49, с. 174]. «З онтологічної позиції обмежувальна функція принципів інваріантності полягає в тому, що принципи виокремлюють такі стани, які фізично можуть реалізуватися зі всіх логічно можливих станів: фізично реалізуватися можуть стани, інваріантні відносно групи перетворень, яка є основою теорій» [49, с. 174].

3. Уніфікаційну функцію пов'язано з тим, «що принципи симетрії виконують роль однієї з основних тенденцій розгляду фізичного знання до єдності» [49, с. 177]. «Уніфікаційна функція принципів симетрії особливо очевидна, якщо порівняти її з тією роллю, яку виконують у фізичному пізнанні порушення симетрії. Порушення симетрії має самостійну роль у теоретичній перебудові світу елементарних частинок, оскільки на противагу симетриям, які є підґрунтям для пошуку єдності в різноманітті частинок, порушення симетрії відповідають саме за різноманіття» [49, с. 178].

Принцип симетрії є важливим методологічним аспектом у навчанні фізики на основі використання технологій STEM-освіти, оскільки він здатний забезпечити надіндивідуальний сенс вивчення фізики студентами технічних ЗВО внаслідок розкриття математичного та інженерного складників STEM-освіти, тому принцип симетрії невіддільно взаємопов'язаний з фізикою та професійно зорієнтованими дисциплінами, що дозволяє використовувати його для формування в студентів наукового знання.



#### **4.2. Особливості методики навчання понять простору й часу та законів збереження в курсі фізики технічних ЗВО**

Проблеми методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін у ЗВО досліджували К. Альбін [2], П. Атаманчук [3; 4], О. Бугайов [16], Г. Бушок [20], С. Величко [24; 25], В. Вовкотруб [25; 30; 31], С. Гончаренко [34; 35; 36], І. Кучерук [98], Л. Осадчук [123], В. Разумовський [128], М. Садовий [145; 147; 148], В. Сергієнко [149], Б. Сусь [160], О. Трифонова [147], В. Шарко [173], М. Шут [177; 178] та ін.

Згідно з аналізом фундаментальних наскрізних генеруючих понять (таблиця 4.1) та праць науковців другу сходинку в ієрархії за оціночним коефіцієнтом та коефіцієнтом інтегративності посідають поняття система відліку, простір і час, енергія, закони збереження. На нашу думку, актуальним завданням сучасної дидактики фізики як педагогічної науки є пошук шляхів і засобів, ефективних для практичного формування змісту визначених понять у навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі STEM-технологій (таблиця 4.1) [77].

Під час опрацювання освітніх програм технічних ЗВО ми з'ясували, що курс фізики (таблиця 4.2), є базовим для підготовки студентів та для засвоєння таких навчальних дисциплін: «Основи аеродинаміки», «Основи радіоелектроніки», «Теоретична механіка», «Основи електротехніки», «Авіоніка», «Опір матеріалів», «Безпека польотів» та ін.

У процесі навчання фізики виявлено взаємозв'язок принципів симетрії [76; 80; 84; 89; 92; 96] з поняттям системи відліку та законами збереження, які використовують у технічних ЗВО в контексті STEM-освіти. Поняття симетрії у фізиці пов'язано з однорідністю й неоднорідністю, ізотропією та анізотропією, збереженням і зміною, рівномірністю та нерівномірністю, спокоєм та рухом, порядком і хаосом та ін., що передбачено науковим складником STEM-освіти.

Фізика та професійно зорієнтовані предмети в технічних ЗВО вивчають об'ємні, протяжні об'єкти, які описуються поняттями, законами, теоріями,

тобто перебувають у просторі. Відповідно до уявлень про простір розвивались також ідеї часу (рис. 4.3). У курсі фізики та професійно зорієнтованих дисциплін домініє класична ньютонівська фізика. Унаслідок цього виникла суперечність між ньютонівською відриваністю простору від матерії і руху від часу. Для подолання такої суперечності ми окреслили простір та час як фундаментальні, наскрізні, генеруючі поняття, проте у відмінній від ньютонівської інтерпретації.

Простір ми розглянули як форму існування матерії в її протяжності, структурності, взаємодії структурних елементів у всіх матеріальних системах. У процесі дослідження поняття часу (рис. 4.3), встановлено його одномірність, асиметричність, незворотність, спрямованість завжди до майбутнього. Зростання ентропії та зміна кількісних законів руху тіл у різних фізичних процесах характеризують незворотність часу. Фіксація певних змін тіл відносно інших або частини деталей рухомої установки під час переходу до якісно нових положень характеризується властивостями часу: одночасність, ритм процесів, темпи розвитку, швидкість змін у структурі систем та ін.

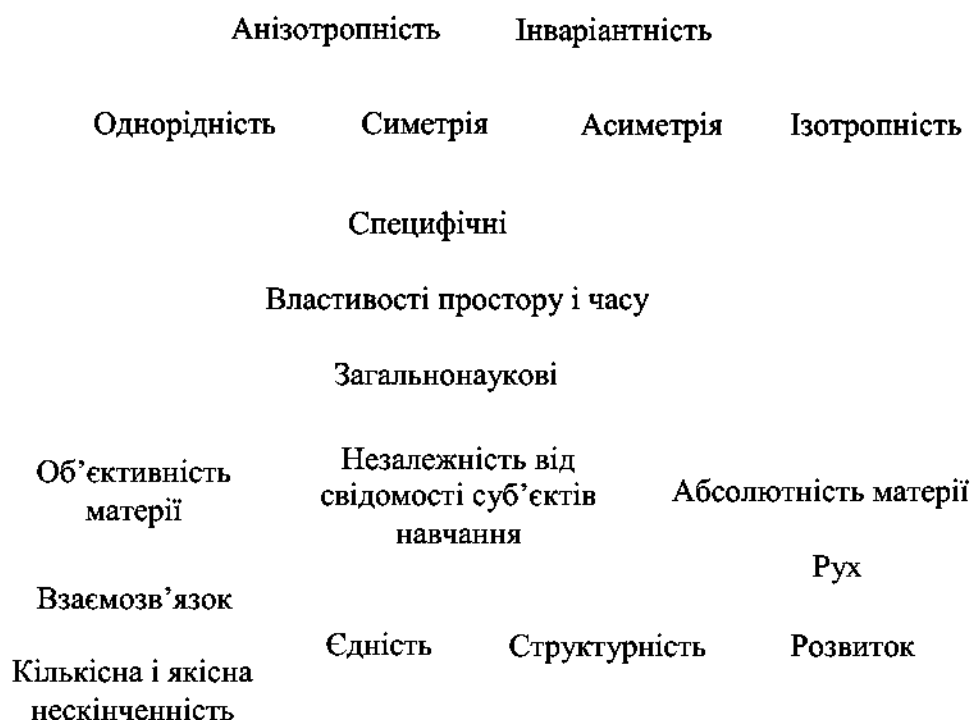


Рис. 4.3. Властивості простору та часу

У СТВ доведено, що простір та час є невіддільними складниками цілого, вони не є самостійними субстанціями. За великих швидкостей системи час у рухомій системі уповільнюється, а позовжні розміри скорочуються в напрямі руху тіла. На відміну від ньютонівських уявлень у СТВ простір і час є відносними, у той самий час, коли швидкість світла стає абсолютною.

Прикладом реалізації STEM є СТВ та загальна теорія відносності (ЗТВ) А. Ейнштейна (1916 р.) про зв'язок простору й часу, де інтегруються знання з нелінійної математики, фізики, інженерії, технологій. Учений довів, що поблизу великих мас час уповільнюється, а просторові розміри матеріальних мас в напрямі до центру мас скорочуються. Продемонстровано, що гравітація впливає на геометрію простору й цим відрізняє його від евклідової геометрії [134]. Відсутність матеріальних тіл спричиняє зникнення простору та часу.

У квантовій механіці за слабких взаємодій виявляється просторова асиметрія розпаду ряду мезонів. З огляду на це виникла ідея квантування простору й часу. Зникає не простір і час, а межа знань про них.

Час також є формою існування матерії, сутність якої полягає в тривалості її існування, розвитку, зміни станів систем, тому поняття часу є невіддільною характеристикою руху матерії.

Як бачимо, простір та час є формою існування та розвитку матерії, тому вони невіддільні один від одного і їх потрібно розглядати одночасно. На рис. 4.3 окреслено властивості простору та часу, які є фундаментальними, наскрізними генеруючими.

*Ізотропність* характеризує незалежність її властивостей, незалежність фізичної величини від напрямку вияву властивостей у просторі, тому її описують скалярними величинами, зокрема в рідинах, газах та аморфних тілах регулярної системи. Фізичними властивостями речовини є теплопровідність, електропровідність, пружність, оптичні характеристики в усіх напрямках.

*Анізотропія* виявляється в площинах ґратки кристалів, де атоми в просторі розміщено з різною густиною, тому механічні, електричні, оптичні властивості кристалів у різних напрямках є різними.

*Однорідність* характеризує властивості фізичної системи від точки до другої точки простору. Це означає, що не існує такої точки в просторі, відносно якої існувала б симетрія, тобто всі точки простору рівноправні, перебіг усіх явищ однаковий, результати фізичного чи технічного експерименту не залежать від місця в просторі: математичний маятник, закони електролізу, інтерференція світла та ін. Паралельне перенесення об'єкта в замкнутій системі не змінює механічних властивостей системи й не впливає на результат. Це є фундаментальною властивістю простору. Звідси впливає фундаментальний наскрізний генеруючий закон збереження імпульсу.

На підставі принципу дуалізму природи існує також поняття *ізотропності простору*, коли має місце неевклідовий простір, де він змінюється з часом залежно від величини енергії матерії.

*Інваріантність* означає, що під час переходу системи до нових умов за будь-яких перетворень система залишається незмінною й постійною: її елементи та логічні зв'язки між ними, структура є незмінними незалежно від зовнішніх умов. Звідси впливає особливість законів природи їх інваріантність, незалежність відносно до будь-яких перетворень. Для інваріантності властивий структурний підхід до навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін у технічних ЗВО, організації теоретичного знання.

*Ізоморфізм* загальнонаукових принципів та категорій, пов'язаних з дослідженням систем і структур, виражає однаковість будови систем із сукупностей елементів, незалежно від природи цих елементів. Зокрема ізоморфізм технічних графів виникає в процесі розв'язання проблем автоматизації проектування електронних схем, у явищах заміщення в

кристалічних ґратках одних атомів на інші, оптимізації програм у навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін у технічних ЗВО.

Симетрії, безпосередньо не пов'язані з властивостями *простору й часу*, які виражають властивості фізичних взаємодій, є динамічною формою симетрії. Прикладами динамічних симетрій є симетрії електричного заряду, спіну, ізотопічного спіну та ін. До динамічних симетрій належать симетрії внутрішніх властивостей об'єктів і процесів, тому геометричні й динамічні симетрії можна розглядати як внутрішні і зовнішні симетрії [88]. Форми симетрії водночас є також формами асиметрії. З огляду на це асиметрії властивостей простору та часу належать до геометричних, а асиметрії властивостей взаємодії, причинності та розвитку – до динамічних [88].

Специфічними властивостями простору є симетрія та асиметрія, конкретна форма й розміри, місце, відстань між тілами, просторовий розподіл речовини й поля, межі кожної системи. Простір кожної матеріальної системи принципово не замкнений, безперервно переходить у простір іншої системи, яка може відрізнятися за метричними та іншими локальними властивостями. Звідси походить багатозв'язність реального простору, його невичерпність у кількісному та якісному відношеннях.

Під час вивчення фізики в технічних ЗВО студентів ознайомлюють з експериментальним методом дослідження фізичних явищ і процесів природи на основі технологій STEM-освіти та аналізують, синтезують, систематизують спостереження за явищами фізичного експерименту для подальшого виокремлення компонент STEM-освіти [81; 82].

Поняття симетрії та асиметрії розглядали Г. Бір та Г. Пікус (симетрія і деформації в напівпровідниках) [152]; Е. Вігнер (природничі та філософські особливості симетрії) [28; 29]; В. Готт, Ф. Землянський (основні категорії симетрії та асиметрії) [40; 41]; Р. Ганієв (групова симетрія) [32]; І. Дмитрієв (симетрія у світі молекул) [43]; С. Іларіонов та Е. Мамчур (симетрія елементарних частинок) [49]; І. Ковальов (симетрія в курсі фізики середньої школи) [56; 57]; О. Компанієць (симетрія в мікро- та макросвіті) [59];

В. Мултановський (симетрія в класичній механіці) [114]; М. Мурач (геометричні перетворення симетрії) [115]; Д. Френсіс Мурнаган (теорія груп) [116]; А. Пуле та Ж. Матьє (симетрія кристалів) [136]; Ю. Урманцев (симетрія в природі) [167]; О. Шубніков (симетрія в науці та мистецтві) [176]; В. Ярош (симетрія в мікро- та макрокосмосі) [180].

На нашу думку, уявлення під час вивчення фізики потрібно сформувані в студентів цілісні про цю науку й на підставі засвоєння фундаментальних понять симетрії, асиметрії та їхнього взаємозв'язку, а також на основі принципів симетрії розробити методику навчання фізики на засадах STEM-технологій.

Симетрія та асиметрія взаємопов'язані. Наприклад, розглядаючи перетворення Галілея та Лоренца, зазначимо, що симетричними є всі стани спокою та рівнопрямолінійний прямолінійний рух, але асиметричні – стани спокою та прискорений рух [41].

Єдність симетрії та асиметрії в будь-яких явищах є накладанням таких операцій, у яких розкривається тотожність у різному і різне в тотожному. Спершу було встановлено асиметричність протонів і нейтронів стосовно електромагнітних взаємодій, а через деякий час – їх симетрію щодо сильних взаємодій [43; 75]. Асиметричними є частинки та античастинки, оскільки в протилежності між ними є тотожні моменти, тому вони є віддзеркаленням один одного. Отже, взаємодія симетрії та асиметрії полягає в тому, що вони передують одна одній та найяскравіше виявляються в розвитку нашого пізнання. Уже безпосередньо з понять симетрії та асиметрії констатуємо, що вони ґрунтуються на таких загальних категоріях, як тотожність, відмінність, зміна, становлення, тобто на загальних категоріях [41].

*Асиметрія* – це категорія, що означає існування та становлення в певних умовах відмінностей чи протилежностей усередині єдності, тотожності, цілісності явищ дійсності [41].

За результатами навчання студентів, а саме знання законів механіки Ньютона, з'ясовано, що вони усвідомили асиметричні ознаки щодо

перетворень Лоренца. У подальшому розглядаємо, що зростання ентропії асиметричне стосовно переходів різних видів енергії, що встановлює переважну тенденцію перетворення всіх видів енергії на теплову [43].

Представлення студентам наявності асиметрії в законах фізики не означає відсутності симетрії. Асиметрія є основою зв'язку між законами. Наприклад, існування таких фізичних величин, як термодинамічні потенціали, характеризується зв'язками закону зростання ентропії та закону збереження і перетворення енергії. Зазначимо, що закони збереження енергії та імпульсу містять взаємну асиметрію: енергія – скалярна величина, імпульс – векторна величина, однак між ними існує зв'язок, розкритий релятивістською теорією.

Наприклад, однорідність простору та часу, анізотропія простору асиметрії, які належать до геометричних; відповідно відмінність між протонами і нейтронами в електромагнітних взаємодіях, відмінності між частинками та античастинками за електричним, баріонним, лептонним зарядом – динамічні асиметрії [75; 88].

Із зазначеного вище випливає, що існує нерозривний зв'язок між геометричними та динамічними формами асиметрії, який виявляється в асиметричності простору–часу Рімана і є наслідком наявності сильних полів тяжіння або рівноправно великих мас матерії [49].

Безумовно одним з напрямів удосконалення методики навчання фундаментальних наскрізних генеруючих понять простору, часу, симетрії є посилення її методологічної спрямованості [80] з використанням STEM-технологій навчання. Студенти мають сприймати фізику не як перелік відкриттів чи наявності формул, а як фундамент для вивчення професійно зорієнтованих дисциплін, завдяки якому розвиватиметься критичне мислення та формуватиметься науковий світогляд. Рівень сформованості знань у студентів з фізики визначається засвоєнням фундаментальних фізичних понять, законів, теорії та принципів.

За висловлюванням Р. Фейнмана, існує «ритм і структури, що повторюються, в явищах природи, яких не видно під час простого спостереження, їх потрібно відкривати лише аналізом. Це ті ритми і структури, які ми називаємо *фізичними законами*. Основою всіх законів фізики є принципи симетрії, що тісно пов'язані зі зміною моментів», що зберігаються [198, с. 13]. *Симетрія* – це категорія, що означає єдність збереження і зміни, інваріантності та перетворення між різними і протилежними станами явищ світу [40].

Закон *збереження енергії* не можна однозначно пов'язувати з такою симетрією, як однорідність часу, а закон збереження імпульсу – з однорідністю простору. Істотний зв'язок між названими симетріями й законами збереження, звичайно, є, проте їх не можна вважати однозначними в тому сенсі, що ці симетрії визначають увесь зміст цих законів збереження. Потрібно звертати увагу на те, що в зміст кожного закону збереження входить і симетрія, й асиметрія.

У закон збереження й перетворення енергії входить асиметрія прямих та опосередкованих способів перетворення енергії, яка полягає в тому, що опосередковані способи перетворень через теплоту переважають над прямими способами перетворення будь-якої форми енергії в будь-яку іншу її форму.

Детальний аналіз руху з точки зору STEM в класичній механіці привів до висновку, що закон *збереження імпульсу* асиметричний відносно перетворень Лоренца. Ця асиметричність виражається в тому, що в розрахуванні кінцевої швидкості передачі взаємодії рівність дії і протидії порушується. Відтак, вивчаючи закони збереження потрібно розкривати в їхньому змісті як моменти симетрії, так і асиметрії.

Зазначене вище засвідчує, що спроби вивести закони збереження тільки з певних форм симетрії (закон збереження енергії – з однорідності часу, закон збереження імпульсу – з однорідності простору) можливі тільки за



умови одностороннього трактування цих законів, де не враховуються основи STEM.

Теорема Е. Нетер не виводить закон збереження енергії з однорідності часу, а розкриває зв'язок деяких його форм з симетрією часу.

Виведення та розгляд законів збереження стосовно геометричної симетрії не завжди можливі. Ці закони пов'язані також з динамічними симетріями. Наприклад, закон збереження повного моменту імпульсу електронів в атомах виводиться як з видокремленням геометричної симетрії, так і динамічної, що розкриває спінові та спін-орбітальні взаємодії. У цих взаємодіях внутрішні ступені свободи електронів, тобто динамічні симетрії пов'язані з їхнім рухом у просторі, а отже, й з геометричними симетріями [59; 75; 87].

Завдання теоретичного обґрунтування законів збереження не лише в тому, щоб розкрити взаємозв'язок з формами симетрії та асиметрії, але й у тому, щоб проаналізувати їхні зв'язки один з одним, із структурою полів, із загальними законами, наприклад, як закон збереження матерії і руху та закон едності матерії.

Закони збереження міцно пов'язані з властивостями симетрії фізичних систем. Вони спочатку були виявом філософської думки, що полягала в незмінності та стабільності у світі. Античні філософи розглядали матерію як незнищенну основу всього сущого. З іншого боку, спостереження за постійними змінами в природі спричинило виникнення дефініції вічного руху матерії, що є важливою її властивістю. Закони збереження з'явилися з виникненням матеріалістичного формулювання механіки.

Найважливішими законами збереження, справедливими для будь-яких ізольованих систем є закони збереження енергії; закони збереження імпульсу; закон збереження моменту імпульсу [77].

STEM-підхід до аналізу симетрії простору привів до висновку, що вона пов'язана із законами збереження. Цей взаємозв'язок установила в 1918 р. німецький математик Еммі Нетер. Учена сформулювала та довела

фундаментальну теорему математичної фізики, згідно з якою розглядала інваріантну систему щодо глобального перетворення [19].

У «Короткому Оксфордському словнику» [195] симетрію витлумачено як красу, що зумовлена пропорційністю частин тіла або рівновагою, гармонією та узгодженістю.

Наслідком трансляційної симетрії (однорідності часу) є закон збереження енергії. Унаслідок однорідності часу функція Лагранжа замкнутої системи від часу не залежить. Вона залежить від координат та імпульсів усіх елементів, що становлять цю систему. За допомогою математичних перетворень можна продемонструвати, що повна енергія системи в цьому процесі руху є постійною.

У різних розділах фізики закон збереження енергії сформульовано незалежно, унаслідок чого вивчають різні види енергії. Можливий перехід енергії з одного виду в інший, однак повна енергія системи, яка дорівнює сумі окремих видів енергій, зберігається. Через умовності поділу енергії на різні види, такий розподіл не завжди однозначний.

Закон збереження має своє формулювання для кожного виду енергії. Наприклад, у класичній механіці сформульовано закон збереження механічної енергії, а в термодинаміці – перше начало термодинаміки, в електродинаміці – теорема Пойтінга.

Закон збереження енергії з математичного погляду, що є математичним складником STEM-освіти, характеризується системою диференціальних рівнянь, яка описує динаміку фізичної системи та розв'язується за допомогою інтегралу руху, пов'язаного із симетричністю рівнянь щодо зміни в часі.

Фундаментальність закону збереження енергії визначає теорема Нетер, тому закон збереження енергії еквівалентний однорідності часу. Висновок цього твердження розглядаємо на основі лагранжевого формалізму [19; 101]. Якщо час однорідний, то функція Лагранжа не залежить від часу, а її повна похідна з часом має вигляд:

$$\frac{dL}{dt} = \sum_i \frac{\partial L}{\partial q_i} \dot{q}_i + \sum_i \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \ddot{q}_i, \quad (4.1)$$

де  $L(q_i, \dot{q}_i)$  – функція Лагранжа,  $q_i, \dot{q}_i, \ddot{q}_i$  – узагальнені координати, перша та друга похідні від часу.

Використовуючи рівняння Лагранжа, зробимо заміну похідної  $\frac{\partial L}{\partial q_i}$  на вираз  $\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}$ :

$$\frac{dL}{dt} = \sum_i \dot{q}_i \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} + \sum_i \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \ddot{q}_i = \sum_i \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \dot{q}_i \right); \quad (4.2)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \sum_i \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \dot{q}_i - L \right) = 0. \quad (4.3)$$

Сума, що стоїть у дужках, називається енергією системи, і повна похідна від неї за часом є інтегралом руху. Вияв закону збереження енергії в фізиці представлено в таблиці 4.6.

Закон збереження імпульсу є наслідком трансляційної інваріантності простору (однорідності простору). Якщо функція Лагранжа залишиться незмінною за будь-якого нескінченно малого перенесення замкнутої системи в просторі, то отримаємо закон збереження імпульсу.

Таблиця 4.6

### Вияв закону збереження енергії

№ з/п	Розділ фізики	Розгляд закону
1	2	3
1.	<b>Класична механіка</b>	У ньютонівській механіці формулюється окремий випадок закону збереження енергії – закон збереження механічної енергії [141]: повна механічна енергія замкнутої системи тіл, між якими діють лише консервативні сили, залишається постійною. Класичним прикладом справедливості цього твердження є пружинний або математичний маятники з незначним згасанням. Потенціальна енергія деформованої пружини пружинного маятника під час коливань переходить у кінетичну енергію вантажу та навпаки [142]. Аналогічно до математичного маятника [142] поводить потенціальна енергія вантажу, що знаходиться в полі сили тяжіння. Закон збереження механічної енергії виводиться з другого закону Ньютона [151], якщо врахувати, що в консервативній системі всі сили, що діють на тіло, потенціальні, тому, представлені у

1	2	3
		<p>вигляді <math>\vec{F} = -\nabla U(\vec{r})</math>, де <math>U(\vec{r})</math> – потенціальна енергія матеріальної точки, <math>\vec{r}</math> – радіус-вектор точки простору.</p> <p>У цьому разі другий закон Ньютона для одної частинки має вид <math>m \frac{d\vec{v}}{dt} = -\nabla U(\vec{r})</math>, де <math>m</math> – маса частинки, <math>\vec{v}</math> – вектор швидкості.</p> <p>Скалярний добуток двох частин рівнянь з урахуванням, що <math>\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}</math>, дає підстави отримати вираз</p> $m\vec{v} \frac{d\vec{v}}{dt} = -\nabla U(\vec{r}) \frac{d\vec{r}}{dt}.$ <p>Надаємо цьому виразу такого виду</p> $\frac{d}{dt} \left[ \frac{mv^2}{2} + U(\vec{r}) \right] = 0.$ <p>Отже, вираз, що стоїть під знаком диференціалу за часом, зберігається. Цей вираз називається механічною енергією матеріальної точки. Перший член у сумі відповідає кінетичній енергії, другий – потенціальній. Цей висновок узагальнено на систему матеріальних точок [141].</p>
2.	<b>Термодинаміка</b>	<p>У термодинаміці закон збереження формулюється як перший закон термодинаміки: зміна внутрішньої енергії термодинамічної системи при переході її з одного стану в інший дорівнює сумі роботи зовнішніх сил над системою і кількості теплоти, що передана системі й не залежить від способу, яким здійснюється цей перехід [151].</p> <p>У математичній формі це виражено так:  <math>Q = \Delta U + A</math>, де <math>Q</math> – кількість теплоти, отримана системою;  <math>\Delta U</math> – зміна внутрішньої енергії системи; <math>A</math> – робота, виконана системою.</p>
3.	<b>Гідродинаміка</b>	<p>У гідродинаміці ідеальної рідини закон збереження енергії формулюється як рівняння Бернуллі [102]:</p> $\frac{v^2}{2} + \omega + gz = const,$ <p>де <math>v</math> – швидкість потоку рідини; <math>\omega</math> – теплова функція рідини; <math>g</math> – прискорення вільного падіння; <math>z</math> – координата точки в напрямі сили тяжіння. Якщо внутрішня енергія рідини не змінюється, то рівняння Бернуллі запишемо так [112]:</p> $\frac{v^2}{2} + \int \frac{dp}{\rho(p)} + gz = const,$ <p>де <math>p</math> – тиск рідини, <math>\rho(p)</math> – густина рідини. Для нестисливої рідини щільність є постійною величиною, тому в останньому рівнянні виконано інтегрування [105]: <math>\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gz = const</math>.</p>
4.	<b>Електродинаміка</b>	<p>В електродинаміці закон збереження енергії формулюється як теорема Пойнтінга [163], яку ще називають теоремою Умова-Пойнтінга [103]. Ця теорема пов'язує щільність потоку</p>

1	2	3
		<p>електромагнітної енергії з щільністю електромагнітної енергії та щільністю джоулевих втрат. Теорема Пойтінга формулюється так: зміна електромагнітної енергії, що розглядається в будь-якому об'ємі, за деякий інтервал часу дорівнює потоку електромагнітної енергії, що проходить через поверхню, яка обмежує цей об'єм, і кількості теплової енергії, що виділилася в цьому об'ємі, узятій з протилежним знаком. Математично цей закон має такий запис:</p> $\frac{d}{dt} \int_V \omega_{em} dV = - \oint_{\partial V} \vec{S} d\vec{\sigma} - \int_V \vec{j} \cdot \vec{E} dV, \text{ де } V - \text{об'єм,}$ $\partial V - \text{поверхня, що обмежує об'єм,}$ $\omega_{em} = \frac{1}{8\pi} (\vec{E} \cdot \vec{D} + \vec{B} \cdot \vec{H}) - \text{густина електромагнітної енергії,}$ $\vec{S} = \frac{c}{4\pi} [\vec{E} \times \vec{H}] - \text{вектор Пойтінга, } \vec{j} - \text{густина струму, } \vec{E} - \text{напруженість електричного поля, } \vec{D} - \text{індукція електричного поля, } \vec{H} - \text{напруженість магнітного поля, } \vec{B} - \text{індукція магнітного поля. Цей закон можна записати в диференціальній формі: } \frac{\partial \omega_{em}}{\partial t} = -\text{div } \vec{S} - \vec{j} \cdot \vec{E}.$
5.	<b>Квантова механіка</b>	<p>У квантовій механіці розглядається закон збереження енергії для ізольованої системи. У шредінгеровському уявленні внаслідок відсутності зовнішніх змінних полів гамільтоніан системи не залежить від часу [12]. Хвильова функція, що відповідає розв'язуванню рівняння Шредінгера, записується так:</p> $\psi(x, t) = \sum_n c_n \psi_n(x) e^{-i \frac{E_n t}{\hbar}},$ <p>де <math>\psi(x, t)</math> – хвильова функція, <math>x</math> – сукупність змінних, від яких залежить стан системи <math>\psi(x, t)</math>, <math>E_n</math> – значення оператора Гамільтона, <math>\hbar</math> – постійна Планка, <math>c_n</math> – деякі постійні комплексні коефіцієнти, що характеризують стан системи. Середньою енергією квантової системи, що описується хвильовою функцією, називається інтеграл <math>E = \int \psi^*(x, t) \hat{H}(x) \psi(x, t) dx</math>, де <math>\hat{H}</math> – гамільтоніан системи. Цей інтеграл не залежить від часу:</p> $E = \int \sum_n c_n^* \psi_n^*(x) e^{i \frac{E_n t}{\hbar}} \hat{H}(x) \sum_m c_m \psi_m(x) e^{-i \frac{E_m t}{\hbar}} dx =$ $= \sum_n \int c_n^* \psi_n^*(x) \hat{H}(x) c_n \psi_n(x) dx = \sum_n  c_n ^2 E_n,$ <p>де використано властивість ортонормованості власних функцій гамільтоніана [103]. Отже, енергія замкнутої системи зберігається.</p>
6.	<b>Теорія відноснос-</b>	Закон збереження для тензора енергії-імпульсу системи в математичній формі має вид [103]:

1	2	3
	ті	$T_{\nu\mu}^{\mu} = 0$ , де крапка з комою висловлює коваріантну похідну. У теорії відносності закон збереження енергії діє тільки локально, оскільки зазначений закон є наслідком однорідності часу, у той час як у загальній теорії відносності час неоднорідний і зазнає змін залежно від наявності тіл і полів у просторі–часі. Зазначимо, що за певного псевдотензора енергії–імпульсу гравітаційного поля можна домогтися збереження повної енергії гравітаційно взаємодіючих тіл і полів, зокрема й гравітаційного, однак на сьогодні не існує загальновизнаного способу введення енергії гравітаційного поля, оскільки всі запропоновані варіанти мають ті чи ті недоліки. Наприклад, енергія гравітаційного поля не може визначатися як тензор щодо загальних перетворень координат [67].

У класичній механіці закон збереження імпульсу виводиться із законів Ньютона, що під час руху в просторі імпульс залишається постійним, а за наявності зовнішнього впливу швидкість зміни імпульсу визначається сумою прикладених сил.

Згідно з класичним другим законом Ньютона, для системи з  $N$  частинок діє співвідношення:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}, \quad (4.4)$$

де  $\vec{p}$  – імпульс системи  $\vec{p} = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i$ ,  $\vec{F}$  – рівнодійна всіх сил, прикладених до частинок системи.

$$\vec{F} = \sum_{k=1}^N \vec{F}_k^{pis.} + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N \vec{F}_{n,m}, \quad m \neq n, \quad (4.5)$$

де  $\vec{F}_{n,m}$  – сила, що діє на  $n$ -у частинку з боку  $m$ -ї;  $\vec{F}_k^{pis.}$  – рівнодійна всіх зовнішніх сил, прикладених до  $k$ -ї частинки.

Згідно з третім законом Ньютона, сили  $\vec{F}_{n,m}$  та  $\vec{F}_{m,n}$  рівні за абсолютним значенням і протилежні за напрямом, тобто  $\vec{F}_{n,m} = -\vec{F}_{m,n}$ . Отже, друга сума в правій частині виразу для  $\vec{F} = \sum_{k=1}^N \vec{F}_k^{pis.} + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N \vec{F}_{n,m}, \quad m \neq n$  буде дорівнювати нулю;

внутрішніми силами нехтуємо, а похідна імпульсу системи за часом рівна векторній сумі всіх зовнішніх сил, що діють на систему:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{k=1}^N \vec{F}_k^{p,m}. \quad (4.6)$$

Для системи з  $N$  частинок, у якій сума всіх зовнішніх сил дорівнює нулю:

$$\sum_{k=1}^N \vec{F}_k^{p,m} = 0, \quad (4.7)$$

тим більше для системи, на частинки якої не діють зовнішні сили (для всіх  $k$  від 1 до  $N$ ), маємо:

$$\frac{d}{dt} \sum_{n=1}^N \vec{p}_n = 0. \quad (4.8)$$

Похідна від виразу дорівнює нулю, тобто є постійною величиною щодо змінної диференціювання, а значить:

$$\sum_{n=1}^N \vec{p}_n = const, \quad (4.9)$$

тобто сумарний імпульс системи з  $N$  частинок є постійною величиною. При  $N = 1$  отримуємо вираз для випадку однієї частинки. З огляду на це робимо висновок [164]:

*Якщо векторна сума всіх зовнішніх сил, що діють на систему, дорівнює нулю, то імпульс системи зберігається, тобто не змінюється з часом.*

Закон збереження імпульсу виконується не тільки для систем, на які не діють зовнішні сили, він справедливий і в тих випадках, коли сума всіх зовнішніх сил, що діють на систему, дорівнює нулю.

Якщо проєкція суми зовнішніх сил на який-небудь напрям або координатну вісь дорівнює нулю, то в цьому випадку йдеться про закон збереження проєкції імпульсу на цей напрям або координатну вісь.

Розглянемо систему з декількох частинок, що співударяються пружно з масами  $m_i$  і швидкостями  $u_i$  до зіткнення та  $U_i$  після зіткнення. Закон збереження енергії має вигляд:

$$\frac{1}{2} \sum_i m_i u_i^2 = \frac{1}{2} \sum_i m_i U_i^2. \quad (4.10)$$

Розглянемо *систему відліку*, яка рівномірно та прямолінійно рухається зі швидкістю  $v$ . Швидкості частинок з позиції цієї системи відліку будуть  $u_i - v$  до зіткнень і  $U_i - v$  після зіткнення. Закон збереження енергії з погляду цієї системи запишемо:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \sum_i m_i (u_i - v)^2 &= \frac{1}{2} \sum_i m_i (U_i - v)^2, \text{ або} \\ \frac{1}{2} \sum_i m_i (u_i^2 - 2vu_i + v^2) &= \frac{1}{2} \sum_i m_i (U_i^2 - 2vU_i + v^2). \end{aligned} \quad (4.11)$$

Відповідно  $\sum_i m_i v u_i = \sum_i m_i v U_i$ , звідки  $v \sum_i m_i u_i = v \sum_i m_i U_i$ . Оскільки швидкість  $v$  довільна, то остання рівність буде справедлива тільки в тому разі, коли діє закон збереження імпульсу:

$$\sum_i m_i u_i = \sum_i m_i U_i \quad [69]. \quad (4.12)$$

Закон збереження імпульсу в квантовій механіці має свої особливості [176], де домінуючими є нерівноважні взаємоперетворювальні процеси, які характеризуються засобами STEM. У тих явищах, коли виявляються корпускулярні властивості частинок, їхній імпульс так само, як і в класичній механіці, розраховують за формулою  $p = mv$ , а коли виявляються хвильові властивості, то  $p = \frac{\hbar}{\lambda}$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі [169]. У квантовій механіці закон збереження імпульсу є наслідком симетрії щодо зрушень за координатами [171].

Закон збереження імпульсу своєрідно виявляється в теорії відносності. Розбіжність із класичною механікою полягає лише в тому, що в теорії відносності залежність імпульсу від швидкості має вигляд:

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad [169; 176]. \quad (4.13)$$

У загальній теорії відносності внаслідок переходу до викривленого простору–часу закон збереження імпульсу, який виражається просторовими



компонентами співвідношення для тензора енергії-імпульсу  $T_{\nu;\mu}^{\mu} = 0$ , зумовлює лише локальні величини, що зберігаються. Це пов'язано з відсутністю однорідності простору в просторі-часі загального вигляду.

Закон збереження моменту імпульсу є наслідком симетрії відносно поворотів у просторі та визначає ізотропність простору.

*Закон збереження моменту імпульсу*, або закон збереження кутового моменту, – один з фундаментальних законів збереження. Математично виражається векторною сумою всіх моментів імпульсу щодо обраної осі для замкнутої системи тіл, яка залишається постійною, поки на систему не діють зовнішні сили. Відповідно до цього момент імпульсу замкнутої системи в будь-якій системі координат не змінюється з часом.

Закон збереження моменту імпульсу визначає ізотропність простору щодо повороту.

Якщо механічна система перебуває в рівновазі, то закон збереження моменту імпульсу записується:

$$\sum_{i=0}^n \bar{L}_i = const, \quad (4.14)$$

де  $\bar{L}_i$  – момент імпульсу  $i$ -ї частинки.

*Закон збереження електричного заряду* – це закон фізики, який стверджує, що алгебраїчна сума зарядів електрично замкнутої системи зберігається:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = const. \quad (4.15)$$

Закон збереження заряду пояснюють наслідком принципу калібрувальної інваріантності [104; 180]. Вимога релятивістської інваріантності спричиняє локальність закону збереження заряду: зміна заряду в будь-якому наперед заданому об'ємі дорівнює потоку заряду через його границю. У початковому формулюванні: заряд зникає в одній точці простору і миттєво виникає в іншій, однак такий процес релятивістськи неінваріантний: через відносність одночасності в деяких системах відліку заряд з'явився б у новому місці до того, як зник в попередньому, а в деяких –

заряд з'явився в новому місці через деякий час після зникнення в попередньому, тобто був би відрізок часу, протягом якого заряд не зберігається. Вимога локальності дозволяє записати закон збереження заряду в диференціальній та інтегральній формі.

Закони збереження електричного, баріонного і лептонного зарядів пов'язано не з властивостями простору–часу, а із симетрією фізичних законів щодо фазових перетворень в абстрактному просторі квантово-механічних операторів та векторів станів. Заряджені поля в квантовій теорії поля описують комплексною хвильовою функцією  $\phi(x) = |\phi(x)|e^{i\psi(x)}$ , де  $x$  – просторово-часова координата. Частинкам з протилежними зарядами відповідають функції поля, що відрізняються знаком фази  $\psi$ , яку можна вважати кутовою координатою в деякому фіктивному двовимірному «зарядовому просторі».

Закон збереження заряду є наслідком інваріантності лагранжіана щодо глобального каліброваного перетворення типу  $\phi' = e^{i\alpha Q}\phi$ , де  $Q$  – заряд частинки, що описується полем  $\phi$ ,  $\alpha$  – довільне дійсне число, яке є параметром і не залежить від просторово-часових координат частинки [118]. Такі перетворення не змінюють модуля функції, тому вони називаються унітарними  $U(1)$  [123; 180].

Отже, особливість методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін полягає в тому, що система знань, умінь і навичок, форма їх застосування в практичній діяльності полягає у виокремленні невеликої кількості фундаментальних, наскрізних генеруючих понять, які доцільно покласти у основу змісту фізики, що вивчається в технічних ЗВО.

### **4.3. Методики застосування STEM-освіти у формуванні STEM-компетентності студентів технічних закладів вищої освіти**

Сучасна парадигма розвитку освіти спричинила швидкі зміни у системі вищої освіти, що має забезпечувати якісну підготовку компетентного

фахівця. Для технічного напрямку навчання ми вбачаємо резерви в застосуванні технології STEM-освіти. З огляду на окреслене завдання на підставі визначених у п. 4.1 фундаментальних наскрізних генеруючих понять: симетрія, система координат, матеріальна точка (система), швидкість, час, простір, закони збереження, енергія, поле, структура речовини та їх аналізу та представлених у таблицях 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, рис. 4.2 фізичних властивостей і характеристик понять, явищ, процесів ми розробили методику застосування STEM-освіти у формуванні STEM-компетентності студентів технічних ЗВО на прикладі розділів фізики та професійно зорієнтованих дисциплін визначених для аеродинаміки літальних апаратів.

Такий підхід обґрунтовано стрімким розвитком науки й техніки ХХ–початку ХХІ ст., що спричинило потребу в перебудові вищої освіти для розв'язання суперечностей між змістом вищої освіти й потребами суспільства. Окрім цього, виникають суперечності між методологією навчання фізики та професійно зорієнтованими дисциплінами. Задекларовані загальні й теоретичні напрацювання зі STEM-освіти практично натрапляють на відсутність методики такого навчання.

З огляду на це важливою є проблема виявлення інженерного та технічного складника STEM-освіти й розроблення методики вивчення професійно зорієнтованих дисциплін, передбачених для викладання студентам технічних ЗВО [93], з урахуванням засобів STEM-освіти. Створення технології STEM-освіти вимагає вдосконалення методики навчання фізики в умовах міждисциплінарного, інтеграційного, компетентісного, системного та професійно зорієнтованого підходів, що передбачає використання нових методів, прийомів, засобів навчання, спрямованих на розв'язання низки методичних завдань; застосування й упровадження в освітньому процесі з фізики наукових досягнень, а також посилення тих аспектів, які стимулюють та активізують самостійну пізнавально-пошукову діяльність студентів технічних ЗВО [80; 81; 82; 83; 94; 97].

Це виявляється у вивченні студентами понять курсу фізики на основі визначених у нашому дослідженні фундаментальних наскрізних генеруючих понять, зокрема в процесі опрацювання динаміки руху літальних апаратів, що ґрунтується на інтеграційному підході до навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін технічного ЗВО з урахуванням складників STEM-освіти. Виокремлений нами інтегративний розділ «Динаміка руху літальних апаратів» охоплює фундаментальні поняття класичної фізики й поняття професійно зорієнтованих дисциплін технічного ЗВО (див. таблиці 4.2, 4.3, 4.4, 4.5).

На основі висновку про важливість створення системи STEM-засобів для практичного застосування в навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін ми сформуваємо систему STEM-освітніх показників за визначеними компонентами (див. таблицю 4.7, додаток В.5).

У таблиці 4.7 визначено систему STEM-освітніх елементів емоційно-рефлексивного компонента. На підставі того, що STEM інтегрує науку, технології, інженерію, математику, ми конкретизували кожен її елемент з позиції визначених у дослідженні показників.

Елемент STEM – наука у визначеному компоненті виявляється завдяки застосуванню наукових понять, категорій, закономірностей з педагогіки, загальної та професійної (авіаційної) психології, теоретичних основ ІКТ.

Аналіз показників на предмет використання елементу STEM-технології окреслює такі складники: технічний (вивчення будови повітряного судна), авіаційну повітряну навігацію, авіоніку (аеродинамічні прилади та системи повітряних сигналів), застосування ІКТ, ППЗ, педагогічні методи, засоби, прийоми навчання для досягнення мети навчання.

Елемент STEM – математика у визначеному компоненті розглядається як використання програмного забезпечення обчислювальних систем, безпеки польотів з використанням елементів статистики та теорій ймовірностей для розрахунку причин виникнення проблем на авіаційному транспорті та обґрунтування потреби в їх розв'язанні.

Елемент STEM – інженерія виокремлює: авіаційний (вивчення будови конструкцій літальних апаратів); технічний (створення конструкцій машин, обладнання з використанням енергії, матерії, обладнання); педагогічний (теорія та методика проєктувальних, конструктивних, управлінських рішень) складники; теорію та методику навчання технічних, технологічних знань, формування вмінь, навиків, специфічних способів інженерної діяльності.

Аналіз таблиці 4.7 дає підстави стверджувати, що домінанти у цьому компоненті є елемент інженерія, який виявляється у 28 показниках з 35, що пояснюється потребою в застосуванні моделювання технічних об'єктів на наукових засадах. Показники елементу STEM-технології об'єднано у дві групи: педагогічні – 20 показників і технічні – 14 показників.

У показниках емоційно-рефлексивного компонента STEM-елемент – математика виявляється в 3 показниках, зокрема уміння ефективно організувати навчання засобами STEM, прогнозування ефективності обраного засобу на підставі мисленнєвого моделювання, освоєння STEM-інновацій та стану розвитку інтересу до планування самостійної навчальної діяльності.

Цілісний аналіз за всіма показниками досліджуваних компонентів елемент – наука є досить об'ємним. У дослідженні ми розрізняємо педагогічну (16 показників), психологічну (10 показників), професійно зорієнтовану (2), філософську (1), ІКТ (3). Це пояснюється різнорівневістю та якістю підбору навчального матеріалу для ефективного здобуття студентами ґрунтовних знань за професійним напрямом навчання на основі STEM-технологій.

У когнітивно-операційному компоненті STEM-елемент – наука є домінантним у 64 показниках із 88 і виявляється в навчанні фізики (класична, квантова), професійно зорієнтованих дисциплін (теоретична механіка, електротехніка, радіоелектроніка), технічних дисциплін (авіоніка, принципи польоту, повітряні перевення, аеронавігація) (див. додаток В.5, таблиця В.5.1).

Таблиця 4.7

## Система STEM-освітніх показників за емоційно-рефлексивним компонентом

№ з/п	ПОКАЗНИКИ ЗА ЕМОЦІЙНО-РЕФЛЕКСИВНИМ КОМПОНЕНТОМ	STEM-показники	R <sub>сфк</sub> , %	R <sub>сфе</sub> , %
1	2	3	4	5
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ</b>				
1.	Здатність до самоспостереження.	Наука (педагогіка, психологія)	49,5	70,6
2.	Самоаналіз та усвідомлення психоемоційного стану.	Наука (психологія)	57,1	88,6
3.	Самоусвідомлення особливостей емоційного реагування, поведінки.	Наука (педагогіка), технологія (педагогічна)	36,3	73,4
4.	Розуміння того, що відбувається в навколишньому світі.	Наука (філософія)	59,2	89,1
5.	Творче ставлення до вивчення фізики в технічних ЗВО.	Інженерія (педагогічна, технічна, авіаційна), технологія (педагогічна, технічні)	20,5	45,3
6.	Наявність власної позиції щодо прийнятих рішень у професійній діяльності.	Наука (психологія), інженерія (авіаційна, технічна, педагогічна)	47,6	76,4
7.	Здатність знаходити професійно та особистісно значущу інформацію для задоволення пізнавальних інтересів.	Наука (авіаційна психологія, ІКТ), інженерія (авіаційна, педагогічна, технічна), технологія (педагогічна)	42,9	67,8
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ</b>				
8.	Сформованість рефлексивної позиції в оцінюванні власної інноваційної діяльності.	Наука (психологія, педагогіка)	39,8	64,2
9.	Інтелектуальні вміння виокремлювати основне, аналізувати, співставляти свої дії щодо застосування STEM	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна, авіаційна, технічна), технологія (педагогічна, технічна)	15,2	39,1
10.	Уміння визначати переваги і недоліки власної компетентності у професійній галузі.	Інженерія (технічна, авіаційна), технологія (технічна)	34,7	62,7
11.	Готовність майбутніх фахівців технічних ЗВО до професійної	Наука (професійно зорієнтовані), інженерія	27,5	50,6

Продовження табл. 4.7

1	2	3	4	5
	діяльності.	(технічна, авіаційна), технологія (технічна)		
12.	Уміння генерувати нові ідеї й альтернативні рішення.	Інженерія (педагогічна, технічна) технологія (технічна, педагогічна)	15,8	35,3
13.	Наполегливість у досягненні цілей самоактуалізації та саморозвитку.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна)	19,3	39,5
14.	Вияв активності в навчанні фундаментальних понять з фізики.	Наука (педагогіка), технологія (педагогічна), інженерія (технічна, педагогічна)	33,9	58,4
15.	Здатність знаходити перспективу навчальних досліджень з фізики в професійно зорієнтованих дисциплінах.	Інженерія (технічна, педагогічна), технологія (технічна, авіаційна)	17,5	41,7
16.	Уміння ефективно організовувати навчання засобами STEM.	Наука (педагогіка, ІКТ), технологія (технічна, педагогічна), інженерія (педагогічна, технічна), математика	21,7	48,4
17.	Самостійність у навчанні фізики на основі технологій STEM-освіти.	Інженерія (педагогічна, технічна), наука (педагогіка)	23,6	50,2
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ</b>				
18.	Уміння мобілізувати навчальні ресурси на ефективне використання STEM-технологій навчання.	Інженерія (педагогічна, технічна), технологія (педагогічна)	17,3	38,4
19.	Уміння знаходити недоліки в авіаційних конструкціях літальних апаратів.	Інженерія (авіаційна), технологія (технічна, педагогічна), математика	19,4	41,7
20.	Навички підбору ППЗ для проведення фізичного експерименту із засвоєння фундаментальних наскрізних понять.	Наука (ІКТ), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	33,7	68,9
21.	Уміння швидко знаходити інформацію із застосування STEM у навчанні професійно	Технологія (технічна, педагогічна), інженерія (технічна, педагогічна), наука (ІКТ)	21,9	49,2

Продовження табл. 4.7

1	2	3	4	5
	зорієнтованих дисциплін.			
22.	Прогноз ефективності обраного засобу на підставі мисленнєвого моделювання.	Інженерія (технічна, педагогічна), математика	23,6	48,1
23.	Рівень формування рефлексивних умінь у розвитку рефлексивної компетентності студентів під час навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	Інженерія (педагогічна, технічна), наука (педагогіка)	15,3	37,4
24.	Уміння оцінювати й контролювати навчальні дії, виявляти суперечності в процесі навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	Інженерія (педагогічна, технічна), технологія (технічна)	20,2	46,3
25.	Усвідомлення своєї навчально-дослідницької діяльності і самого себе як суб'єкта в навчанні фізики.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	27,9	51,8
26.	Поняття оцінно-рефлексійного середовища навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	Інженерія (педагогічна, технічна), технологія (педагогічна, технічна), наука (педагогіка)	14,5	35,2
27.	Уміння створювати ефективні проблемно-конфліктні навчальні ситуації під час вивчення технічних дисциплін авіаційної галузі.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна, технічна), наука (педагогіка)	13,2	34,6
28.	Здатність аналізувати знання з фізики для одержання нового знання в технічній галузі.	Технологія (педагогічна), інженерія (технічна, педагогічна)	11,5	30,7
29.	Освоєння STEM-інновацій та стан розвитку інтересу до планування самостійної навчальної діяльності.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), наука (педагогіка, психологія), математика	22,8	44,9
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ</b>				
30.	Здатність реалізувати навчальні й професійні проекти на основі знань з фізики та професійно зорієнтованих	Наука (педагогіка, психологія, професійно зорієнтовані предмети), інженерія (педагогічна, технічна),	7,4	21,8



Продовження табл 4.7

1	2	3	4	5
	дисциплін.	технологія (педагогічна, технічна), математика		
31.	Розуміння диференційованого змісту аналітико-синтетичної діяльності мислення в навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	Інженерія (педагогічна, технічна), технологія (педагогічна), наука (авіаційна психологія, педагогіка)	5,3	19,5
32.	Уміння сприймати суперечність між актуалізованими потребами, прагненнями, психічними станами майбутніх фахівців технічної галузі і соціальним замовленням на конкурентоспроможного фахівця.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна, технічна)	10,8	29,7
33.	Співвідношення професійно-рефлексивної позиції майбутнього фахівця технічної галузі з його корпоративними цінностями (моральність, культура, конфіденційність, педагогічна етика).	Технологія (педагогічна), інженерія (технічна, педагогічна), наука (педагогіка, психологія)	6,7	18,3
34.	З'ясування структурно-функціональної моделі розвитку рефлексивного спілкування під час навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	Інженерія (авіаційна, педагогічна), технологія (педагогічна)	7,5	23,5
35.	Усвідомлення інтегральної характеристики гностичних, операційних, особистісних і професійних якостей майбутнього фахівця технічної галузі.	Інженерія (педагогічна, технічна, авіаційна), наука (педагогіка, психологія), технологія (педагогічна)	4,1	21,9

Технології у цьому компоненті виявляються більше в технічному напрямі ніж в авіаційному та педагогічному (див. додаток В.5, таблиця В.5.1).

STEM-елемент – математика в когнітивно-операційному компоненті передбачає використання в розрахунках професійно зорієнтованих дисциплін (див. додаток В.5, таблиця В.5.1) у 63 показниках. Це підтверджує важливість використання студентами математичного апарату для знаходження чи характеристики певного фізичного або технічного явища.

Елемент інженерії є технічним складником професійно зорієнтованих дисциплін технічних ЗВО (див. додаток В.5, таблиця В.5.1), який виявляється в 61 показнику. Найбільш часто його застосовують у диференціальних рівняннях руху центра мас механічної системи, педагогічна спрямованість у 18 показниках. Це пояснюється потребою студентів в оволодінні конструкторськими навиками, що відповідають запитам технічного прогресу.

Елемент технології в когнітивно-операційному компоненті розкриваються у 25 показниках через технічну, педагогічну та авіаційну галузі.

Складники STEM-технологій в мотиваційному компоненті представлено через елемент наука (інженерна механіка, професійно зорієнтовані дисципліни, педагогіка, інженерна психологія); технології (технічна та педагогічна); інженерію (технічна та педагогічна) та математику.

Таблиця В.5.2, додаток В.5 засвідчує, що для мотиваційного компонента важливим є технологічний складник, який віддзеркалено в 35 показниках, науковий складник – 31 показник, інженерна – 18 та математичний – 8 показників.

Орієнтаційно-контрольний та психофізіологічний компоненти також розкриваються через науковий, технічний, інженерний та математичний складники STEM-освіти (додаток В.5, таблиця В.5.3).

В орієнтаційно-контрольному компоненті важливу роль виконує елемент технології – 33 показники, наука – 33 показники, інженерія – 30 показників. Елемент математика охоплює 10 показників (додаток В.5).

Для психофізіологічного компонента ґрунтовними елементами є технологія – 36 показників, наука – 33 показники, інженерія – 25 показників, математика – 5 показників (додаток В.5, таблиця В.5.4).

Як бачимо, STEM-освіта базується на науково обґрунтованому поєднанні наукових досягнень сьогодення, новітніх технологій, інженерії та математики. На підставі цього ми формували методикау інтегрованого навчання визначених напрямів у єдності з конкретними фізико-технічними знаннями: фундаментальними наскрізними генеруючими поняттями, явищами та процесами.

Рух літального апарата, як твердого тіла, складається з двох рухів: руху центра мас і руху навколо центра мас [157]. У кожному із цих рухів літальний апарат має три ступені свободи, тому загалом його рух характеризується шістьма ступенями свободи. Під час великих швидкостей у межах атмосфери, коли літак піддається впливу множини сил, виникають їх моменти, що спричиняє найрізноманітніші деформації. Вони впливають на аеродинаміку й спричиняють зміни динамічних характеристик літака. Літальний апарат та розміщені в ньому тіла здійснюють заданий рух, тому літак ми розглядаємо як систему твердих матеріальних тіл (модельно матеріальних точок) у просторі та часі, що рухаються з різними швидкостями в інерційному та неінерційному полях, під дією множини сил, а відповідно енергій. Особливістю літальних апаратів є використання властивостей симетрії, асиметрії, однорідності, ізоморфії та ін. Звідси випливає, що в описі таких апаратів їхня дія та поведінка ґрунтується на визначених у п. 4.1 нашого дослідження фундаментальних наскрізних генеруючих поняттях.

Будь-який рух літального апарата розпочинається із залученням студентів до аналізу поняття *координати й математичного опису утвореної системи*, у якій визначається положення літального апарата в просторі. На

практиці пропонують кути Ейлера-Крилова, що обумовлюють орієнтацію пов'язаної з осями літака системи координат  $x_{yz}$  як базової системи координат. Для зручності опису використовують горизонтальну й швидкісну системи координат. Керованість руху літального апарата забезпечує вибір параметрів руху польоту шляхом вияву сил і їх моментів, що діють на літак, і оперативний постійний математичний обрахунок результатів таких впливів, зокрема й бортових комп'ютерних. Прийняття рішень є важливим елементом STEM-технології. Вплив на аеродинамічні сили й моменти здійснюють після прийняття рішення за допомогою керуючих поверхонь: кермо, елерони, елевони, щитки, стабілізатори й повітряні гальма. Силу тяги визначають інженерними рішеннями й змінюють за допомогою зміни режиму роботи двигуна. Зміна сили ваги в гравітаційному полі відбувається внаслідок зміни запасу палива на літальному апараті, звільнення від вантажів тощо. У цьому разі спостерігається поєднання дій управління процесом унаслідок використання STEM-технології через інженерні, математичні та технологічні складники.

Регулювальними факторами, що дозволяють впливати на літальний апарат для керування його рухом, уважаємо інтегративні STEM-освітні елементи: кути відхилення керма висоти  $\delta_a$  і напрямку  $\delta_r$ , елеронів  $\delta_e$ , стабілізатора  $\delta_{\text{st}}$ . Особливості такого інтегрування полягають у тому, що тут виявляється поєднання всіх складників STEM із суб'єктами навчання. Майбутнім фахівцям потрібно чітко визначати режим польоту за системою взаємозалежних параметрів обрахунку та конструкційних можливостей. Між цими параметрами спостерігаються однозначні зв'язки, обумовлені математичними моделями у вигляді рівнянь руху літака, тому доцільно обирати невелике, проте нелінійне число параметрів, що характеризують режим польоту. Ці параметри можна обрати як регульовані. Рух, наприклад літака є єдиним інтегрованим процесом, що описується складною системою диференціальних рівнянь. Поєднання математичних обрахунків, властивостей речовин літального апарата, інженерного складника та

управлінського морально-вольового рішення фахівця в обґрунтованих випадках можуть розкласти складний рух літального апарата на простіші його види (кутові рухи, рух центра мас, подовжній і боковий рух), що значно спрощує й полегшує виконання завдання. Важливо звернути увагу студентів на похибки, що можуть допускатися за такого наближеного розгляду, проте вони мають бути максимально малими. Допустимість таких припущень і ступінь збереження при цьому основних рис руху літального апарата є істотними й складними задачами динаміки польоту, де STEM-підхід є обов'язковим. Якщо маневри відбуваються у вертикальній площині, що збігається з площиною симетрії літака, а гіроскопічними моментами обертових частин можна знехтувати, то можна розглядати рухи в площині симетрії (подовжній рух) і щодо площини симетрії (боковий рух) як незалежні і так визначати основні компоненти STEM-освіти.

Один з прийомів спрощення, часто вживаний, полягає в тому, що рівняння руху літального апарата складають відповідно до деякого певного незбуреного режиму польоту (розглядають математичний складник STEM-освіти). Важливо звернути увагу майбутніх фахівців на задання незбуреного руху й, припускаючи малі відхилення дійсного збуреного руху, можна додатковими спрощеннями одержати простіші наближені рівняння, що характеризують рух літака. На нашу думку, межі спрощень потрібно у кожному окремому випадку визначати STEM-технологіями в процесі руху апарата.

Плоский рух літака, за якого вектор швидкості центра мас збігається з площиною симетрії (для літакових схем) чи з вертикальною площиною симетрії (для ракетних схем) називається *поздовжнім*. Тоді для виведення рівнянь поздовжнього руху вводять такі позначення:  $V$  – швидкість польоту, спрямована по дотичній до траєкторії;  $Y$  – підйомна сила;  $X$  – сила опору;  $G$  – сила тяжіння;  $\vartheta$  – кут тангажа;  $\theta$  – кут нахилу траєкторії;  $\alpha$  – кут атаки;  $m = G/g$  – маса літального апарата;  $P$  – сила тяги, що збігається за напрямом

з поздовжньою віссю літального апарата;  $\tau_a = m/(\rho V S)$  – аеродинамічна постійна часу, де  $\rho$  – щільність повітря,  $S$  – площа крил (рис.4.4).

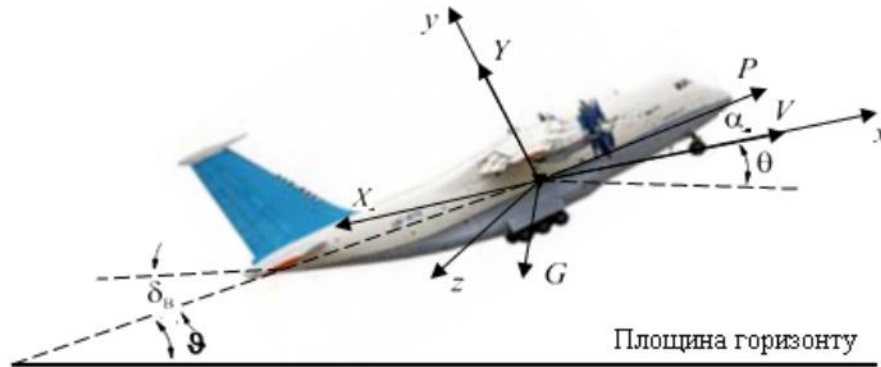


Рис. 4.4. Розгляд руху літака в атмосфері

Студентам пропонують розглянути вісь  $x$  по дотичній до траєкторії руху літального апарата, а вісь  $y$  – по нормалі. Наступні дії суб'єктів навчання потрібно інтегрувати в STEM-технології. Проектування сил, що діють на літальний апарат, виконують за допомогою осі координат  $xu$ , одержимо:

$$m \frac{dV}{dt} = P \cos \alpha - X - G \sin \theta; \quad (4.16)$$

$$mV \frac{d\theta}{dt} = P \sin \alpha + Y - G \cos \theta. \quad (4.17)$$

Позначимо через  $M_z$  і  $J_z$  сумарний момент аеродинамічних сил, що діє відносно поперечної осі, яка проходить через центр мас, і момент інерції відносно тієї самої осі. Рівняння моментів відносно поперечної осі літального апарата розраховують за формулою:

$$J_z \frac{d^2 \vartheta}{dt^2} = M_z. \quad (4.18)$$

Якщо  $M_{uv}$  і  $J_v$  – шарнірний момент і момент інерції керма висоти відносно його осі обертання,  $M_v$  – керувальний момент, що створюється системою керування, то рівняння руху керма висоти розраховують за формулою:

$$J_s \frac{d^2 \delta_a}{dt^2} = M_s + M_{us}. \quad (4.19)$$

У чотирьох рівняннях невідомими є п'ять величин  $\vartheta, \theta, \alpha, V, \delta_y$ .

Логічно з математичного погляду запропонувати студентам самостійно визначити п'яте рівняння, проте STEM-вимоги передбачають урахування інженерного, технологічного, математичного складників. У такому разі відсутнє п'яте рівняння обирають як кінематичне рівняння, що пов'язує величини  $\vartheta, \theta, \alpha$ , проте вже з урахуванням застережень:

$$\vartheta = \theta + \alpha. \quad (4.20)$$

Рівняння руху (4.17) – (4.19) описують поведінку літального апарата в координатній системі, зв'язаній з літальним апаратом. Для визначення руху в системі координат, зв'язаній із Землею, до цих рівнянь потрібно додати рівняння руху центра мас відносно цієї системи (визначення наукового складника STEM-освіти).

Аналіз указаних рівнянь та умов у вигляді таких рівнянь дозволяє одержувати такі вирази:

$$\frac{dH}{dt} = V \sin \theta + U_y; \quad (4.21)$$

$$\frac{dL}{dt} = V \cos \theta + U_x, \quad (4.22)$$

де  $H$  і  $L$  – висота польоту й пройдена відстань,  $U_y, U_x$  – складники швидкості вітру за відповідними напрямками. Розгляд указаних рівнянь за традиційного навчання та за STEM-технологіями дає змогу виявити розбіжність, яка полягає у тому, що STEM передбачає застосування не лише «сухої» математики, а також і її інтеграцію з іншими складниками STEM. У цьому разі формується компетентний фахівець.

Студентам важливо усвідомити, що рівняння (4.16) – (4.21), які становлять повну систему диференціальних рівнянь поздовжнього руху літального апарата, де враховують властивості простору та часу (рис. 4.3) потрібно розглядати з такої позиції: чи враховують вони й інші складники STEM, чим гарантується безпека? Тоді рівняння можна використати в

процесі дослідження динаміки керування й у разі великих відхилень від сталого руху, але обґрунтованих STEM-технологіями.

На підставі із визначених рівнянь у поздовжньому русі суб'єктам навчання потрібно обрати кути тангажа  $\vartheta$ , нахилу траєкторії  $\theta$ , атаки  $\alpha$ , швидкість польоту  $V$ , вертикальну швидкість  $dH/dt$ , а також висоту польоту  $H$  і дальність  $L$ . Як основні регулювальні органи використовують кермо висоти й тягу двигуна. Студенти використовують визначені поняття для прийняття рішень інтуїтивно або STEM обґрунтовано. Для одержання лінеаризованих рівнянь руху після встановлення залежності сил і їх моментів від величин  $\vartheta, \theta, \alpha, V$ , а також від регулювальних факторів зазвичай використовують методи теорії збурень, тобто Т-парні й Т-непарні фізичні величини (таблиця 4.4).

Збурений рух літака складається з незбуреного руху й руху, що характеризується малими симетричними відхиленнями. Таке трактування збуреного руху доцільне доти, поки відхилення  $\Delta V, \Delta \vartheta$  і т.д., залишаються малими, що виявляється в стійких системах. Одним з основних призначень системи керування є забезпечення стійкості режиму польоту (студенти виокремлюють елементи STEM-освіти), тому обґрунтовність використання лінеаризованих рівнянь можна вважати забезпеченою.

У разі бокового руху в просторі й часі за малих відхилень потрібно враховувати такі STEM-умови: а) вихідний незбурений рух є поздовжнім; б) знехтування аеродинамічними й гіроскопічними зв'язками між поздовжнім і боковим рухами через те, що вони малі. У боковому русі регульованими величинами розглядають кути крену  $\gamma$ , курсу  $\psi$ , ковзання  $\beta$ . Як основні регулювальні органи використовують кермо повороту й елерони.

Боковий рух літального апарата є складнішим, ніж поздовжній, оскільки складається з двох взаємозалежних швидкостей курсового і кренового рухів. Основним завданням керування швидкістю кутового руху в цьому разі є витримування заданого курсу, що обґрунтовується STEM-



обрахунками й аналізом. Що стосується крену, то в прямолінійному польоті стабілізація цього руху становить інтерес, оскільки крен літака може порушувати його курсовий рух (ураховується інженерний та математичний складники STEM-освіти). Традиційний підхід ураховує не всі кінематичні наскрізні фундаментальні генеруючі параметри: система координат, швидкість, центр мас, закон збереження імпульсу, енергія, симетрія, що визначають боковий рух. STEM-технології дають змогу вимірювати вказані параметри з досить високою точністю, що полегшує прийняття рішення. З огляду на це студенти доходять висновку, що найбільш точно й порівняно просто можна виміряти величини  $\psi$  і  $\gamma$ , які вибирають основними регульованими змінними кутового бокового руху. При цьому можливе роздільне керування кутами курсу й крену або одночасний вплив на кермо напрямку й елерони.

Для аналізу лінеаризованих рівнянь руху після встановлення залежності сил і моментів від величин  $\vartheta, \theta, \alpha, V$  та регульовальних факторів традиційно використовують методи теорії збурень (розглядають математичний, науковий та інженерний складники STEM-освіти). При цьому припускають, що незбурений рух літального апарата характеризується параметрами  $\vartheta_0, \theta_0, \alpha_0, V_0, H_0$ , що не залежать від часу, а у деякий момент часу внаслідок збурень, що діють на літак, з'являються малі прирости  $\Delta\vartheta, \Delta\theta, \Delta\alpha, \Delta V, \Delta H$ , тобто:

$$V = V_0 + \Delta V, \quad \alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha, \quad \vartheta = \vartheta_0 + \Delta\vartheta, \quad \theta = \theta_0 + \Delta\theta, \quad H = H_0 + \Delta H. \quad (4.23)$$

Отже, збурений рух літального апарата складається з незбуреного руху й руху, що характеризується малими відхиленнями. Таке трактування збуреного руху доцільне доти, поки відхилення  $\Delta V, \Delta\vartheta \dots$  залишаються малими, що виявляється в стійких системах. Одним з основних призначень системи керування є забезпечення стійкості режиму польоту, тому обґрунтованість використання лінеаризованих рівнянь вважатимемо забезпеченою за їх інтегрованого аналізу засобами STEM. Тоді сили  $P, X, Y$  і

їх моменти  $M_z$ ,  $M_{шв}$  обґрунтовано розкладаються в ряди з малими приростами (визначається науковий, математичний STEM-складники), обмежуючись лінійними членами приростів. Рівняння (4.16) – (4.21) без урахування рівняння руху керувальної поверхні мають вигляд:

$$\begin{aligned} (p + n_{11})v + n_{12}\alpha + n_{13}\vartheta + n_{14}h &= n_p \delta_p + f_1; \\ -n_{21}v + (p + n_{22})\alpha - (p + n_{23})\vartheta + n_{24}h &= f_2; \\ n_{31}v + (n_0 p + n_{32})\alpha + (p^2 + n_{33}p)\vartheta + n_{34}h &= -n_a \delta_a + f_3; \\ \alpha - \vartheta + ph &= v_y, \end{aligned} \quad (4.24)$$

де  $n_{ij}$  – коефіцієнти, що залежать від параметрів руху й параметрів літака;

$\delta_p$  – координата, що характеризує положення керувального пристрою двигуна;  $v = \frac{\Delta V}{V}$ .

Висококваліфікованим фахівцям технічної галузі потрібно добре орієнтуватися в методиці використання приростів, виконаних на основі обраних фундаментальних наскрізних генеруючих понять (див. таблицю 4.1), де  $\Delta\vartheta$ ,  $\Delta\theta$ ,  $\Delta\alpha$ ,  $\Delta h$  у цих рівняннях можна зобразити як  $\vartheta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $h$ , додаючи цим величинам зміст тих самих приростів.

Рівняння (4.24), що встановлюють зв'язок між регульованими величинами  $\vartheta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $h$  та регульовальними факторами  $\delta_p$  та  $\delta_b$  і характеризують динамічно-енергетичні властивості літального апарата в його поздовжньому русі, називаються диференціальними рівняннями поздовжнього руху літального апарата як керованого об'єкту.

Коефіцієнти  $n_{ik}$  рівнянь (4.24) за короткий проміжок часу, що не перевищують аеродинамічну постійну часу, а  $\tau$  більш ніж на один порядок, приймемо сталими. Загалом вони залежать від режимів польоту й значно змінюються за зміни висоти й швидкості польоту. Рівняння (4.24) є основою для дослідження поздовжнього руху літака.

Ми пропонуємо систему STEM-вправ для аналізу бокового руху за малих відхилень, проте в кожному разі важливо враховувати такі умови:

а) вихідний просторовий незбурений рух є подовжнім; б) випадки, коли можна знехтувати аеродинамічними й гіроскопічними зв'язками між подовжнім і боковим рухами через те, що зв'язки малі (таблиця 4.4). У боковому русі регульованими величинами є кути крену  $\gamma$ , курсу  $\psi$ , ковзання  $\beta$  (рис. 4.4). Основними регулювальними пристроями є кермо повороту й елерони. Методика отримання рівнянь бокового руху літака на основі фундаментальних наскрізних генеруючих понять така: у разі польоту, близького до горизонтального з урахуванням нехтування  $\psi$  одержимо:

$$\begin{aligned}(p + n_{11})\beta + n_{12}\gamma + n_{13}\psi &= f_1; \\ n_{21}\beta + (p + n_{22})p\gamma + n_{23}p\psi &= -n_{2e}\delta_e + f_2; \\ n_{31}\beta + n_{32}p\gamma + (p + n_{33})p\psi &= n_{3a}\delta_a - n_{3n}\delta_n + f_3,\end{aligned}\tag{4.25}$$

де  $n_{ij}$  – коефіцієнти, що залежать від параметрів руху й параметрів літака;  $f_1, f_2, f_3$  – збурення;  $\delta_i, \delta_e$  – кути відхилення керма повороту й елеронів відповідно.

Рівняння (4.25) є основою для дослідження бокового руху літака. Їх використання потрібно обґрунтувати всіма складниками STEM.

Важливим є використання STEM в автоматичній стабілізації літального апарата, яка здійснюється засобом автопілота (рис. 4.5), на певні органи керування (визначається технічний складник STEM-освіти). З динамічного погляду автопілот – це сукупність елементів, призначення яких полягає в певному перетворенні інформації про рух апарата й сигналів керування у відповідні відхилення органів керування, тому незалежно від внутрішньої структури автопілота, його слід розглядати загалом як динамічну енергетичну ланку, для якої зазначені параметри руху й керувальні сигнали є вхідними змінними, а відхилення органів керування – вихідними. Вхідними змінними є ті параметри руху (рис. 4.5), зміна яких за певними законами становить задачу цієї системи STEM-автоматизації. Окрім того, у багатьох випадках потрібно вводити параметри, що сприяють підвищенню якості

роботи системи. Наприклад, в процесі керування кутом тангажу корисно ввести кут атаки, під час стабілізації курсу – сигнали, що залежать від крену.

Рівняння, що пов'язує вихідні змінні автопілота з вхідними параметрами руху й сигналами управління, називається рівнянням автопілота (виділяється математичний та науковий STEM-складники). Загалом це рівняння можна записати так:

$$\Phi(\delta_1, \delta_2) = F(\vartheta, \alpha, \theta, V \dots). \quad (4.26)$$

Наприклад, для автомата стабілізації поздовжнього руху, якщо управління здійснюється тільки кермом висоти, можна записати:

$$D(p) = F(\vartheta, \theta, \alpha, V, H, \delta_a, y). \quad (4.27)$$

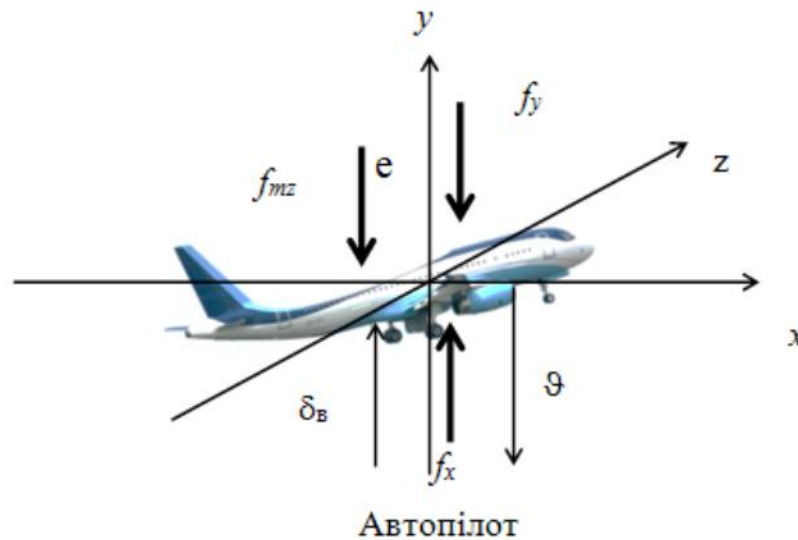


Рис. 4.5. Функціональна схема системи літак-автопілот

Якщо функція  $F$  нелінійна, автопілот називається нелінійним. У разі лінійності праву частину, як і ліву, представлено в операторній формі:

$$D_1(p) = m_\vartheta(p)\vartheta + m_\theta(p)\theta + m_V(p)V + m_H(p)H + m_{\delta_a}(p)\delta_e + m_y(p)y, \quad (4.28)$$

де  $m(p)$  – операторні багаточлени, зазвичай не вищі другого ступеня.

Аналогічно для автопілота бокового руху літака запишемо:

$$D_2(p)\delta_l = m_\psi(p)\psi + m_\gamma(p)\gamma + m_\beta(p)\beta + m_l(p)\Delta l + m_{\delta_H}(p)\delta_H + m_y(p)y; \quad (4.29)$$

$$D_3(p)\delta_a = m_\psi(p)\psi + m_\gamma(p)\gamma + m_\beta(p)\beta + m_l(p)\Delta l + m_{\delta_a}(p)\delta_a + m_y(p)y. \quad (4.30)$$

Зокрема, для автопілота, що здійснює роздільну стабілізацію рухів курсу й крену, відповідно будемо мати:

$$D_2(p)\delta_i = m_\psi(p)\psi + m_\beta(p)\beta + m_l(p)\Delta l + m_{\delta_H}(p)\delta_H + m_y(p)y; \quad (4.31)$$

$$D_3(p)\delta_a = m_\gamma(p)\gamma + m_{\delta_a}(p)\delta_a + m_y(p)y. \quad (4.32)$$

З огляду на те, що рівняння:

$$D_3(p)\delta = 0, \quad (4.33)$$

обумовлює власні рухи автопілота, зазначимо, що багаточлен  $D(p)\delta$  характеризує власні динамічні властивості автопілота, зокрема внесені ним динамічні похибки.

Після аналізу рівнянь студенти роблять висновок, що права частина рівняння автопілота – це закон регулювання; очевидно, що саме структура рівняння автопілота обумовлює його вплив на літальний апарат і, отже, поведження системи літака – автопілот.

Далі пропонується майбутнім фахівцям розглянути статичний стан автопілота, де кожному значенню вхідного сигналу відповідає одне певне значення вихідної змінної  $\delta$ . Особливістю оператора  $D(p)$  у цьому разі є наявність доданка, що не містить  $p$ . У задачах STEM-автоматичної стабілізації прийнято для спрощення обмежуватися у виразі  $D(p)$  другим або першим ступенем  $p$ , відповідно до чого  $D(p)$  може мати один з таких виглядів:

$$D(p) = T_p + 1; \quad (4.34)$$

$$D(p) = (T^2 p^2 + 2\xi T_p + 1). \quad (4.35)$$

При цьому залежно від порядку похідних, що вводяться, вираз для закону регулювання в задачах STEM-стабілізації обертового руху може мати одну з таких форм:

$$D_1(p)\delta_a = k_\vartheta \vartheta;$$

$$D_1(p)\delta_a = k_\vartheta \vartheta + k_\delta \dot{\vartheta}; \quad (4.36)$$

$$D_1(p)\delta_a = k_\vartheta \vartheta + k_\delta \dot{\vartheta} + k_{\delta\delta} \ddot{\vartheta}.$$

Боковий рух літака є складнішим, ніж поздовжній, тому що складається з двох взаємозалежних (курсого й кренового) рухів. Основним завданням керування кутовим рухом у цьому разі є витримування заданого курсу. Що

стосується крену, то в прямолінійному польоті стабілізація цього руху становить інтерес, оскільки крен літака може порушувати його курсовий рух.

Традиційні підходи враховують не всі кінематичні параметри, що визначають боковий рух з досить високою точністю. Найбільш точно й порівняно просто виміряти величини  $\psi$  і  $\gamma$ , які й вибирають основними регульованими змінними кутового бокового руху. При цьому можливе роздільне керування кутами курсу та крену і одночасний вплив на кермо напряду й елерони. За використання STEM можна охопити всю сукупність параметрів.

Отже, у процесі вивчення STEM-динаміки руху літака, використовують розглянуті нами фундаментальні наскрізні генеруючі поняття – простір, час, матеріальна точка (центр мас), швидкість, енергія, система координат, симетрія, закони збереження, гравітаційне поле. Із STEM-складників виявляються математика, інженерія, технології, наука. Визначені поняття входять у рівняння руху літака в польоті. Окрім цього використовують похідні від них поняття тяга, потужність, які вивчають у метрології, стандартизації та сертифікації (принципи та методи вимірювань, похибки), теоретичній механіці (сили, моменти сил відносно осі та точки), авіоніці (вивчення теорії гіроскопів та цифрового обладнання).

Уважаємо, що до фундаментальних належать поняття структури речовини, зокрема повітря як газової суміші, у якій здійснюється рух літальних апаратів.

Розглянуті рівняння руху літальних апаратів мають прикладне значення в двоопуклих сферичної форми об'єктах, які обтікаються повітрям (рис. 4.6). Такі профілі є симетричними відносно хорди. Якщо кут атаки визначається між вектором швидкості набігаючого потоку й хордою профілю.

На початку вивчення теми доцільно розглянути із студентами випадок, коли кут атаки рівний нулю, за якого виявляється інженерний складник STEM. На початку профілю в передній критичній точці простору  $A$

відбувається повне гальмування потоку (швидкість рівна нулю), статичний тиск у цій точці максимальний та дорівнює повному тиску. Потік розділяється на два: один обтікає верхню поверхню профілю, інший – нижню. Біля заднього краю профілю потоки знову зливаються в критичній точці  $B$ . У точці  $B$ , як і в точці  $A$ , швидкість потоку дорівнює нулю, тому що сходяться лінії струменя, що йдуть по верхній і нижній поверхнях профілю, а частка газу не може одночасно рухатися за двома напрямками.

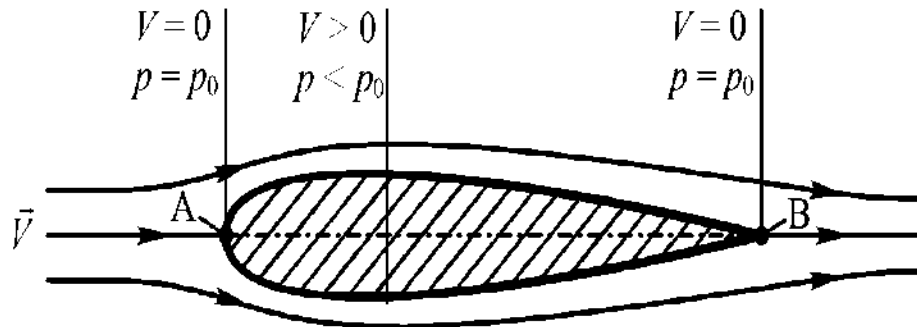


Рис. 4.6. Обтікання симетричного профілю, коли  $\alpha = 0^\circ$ , без виникнення підйомної сили

З огляду на це в точці  $B$  статичний тиск, як і в точці  $A$ , максимальний та дорівнює повному тиску, однак між точками  $A$  і  $B$  статичний тиск відрізняється від повного тиску. Це є наслідком того, що в процесі руху від точки  $A$  до точки  $B$  площі поперечних перерізів цівок спочатку зменшуються, а потім зростають. При цьому відповідно до рівняння нерозривності швидкість у цівках спочатку зростатиме, а потім зменшуватиметься. Із закону збереження енергії випливає, що за збільшення швидкості статичний тиск зменшується.

Студентам пропонують розглянути точку  $A$  та точку  $B$ . На верхній і нижній поверхнях профілю будуть розташовуватися зони відносного розрідження. Оскільки виявляється симетричний профіль, то величини падіння статичного тиску в цих зонах будуть однаковими. Це означає, що в напрямі, перпендикулярному вектору швидкості набігаючого потоку, на профіль не буде впливати складник підйомної сили.

Для введення поняття підйомна сила крила літака ми пропонуємо студентам виконати практичні дослідження з аеродинамічною трубою (рис. 4.7) для визнаення взаємозв'язку профіля крила (рис. 4.8, 4.9), та відповідних сил реакції – інженерний складник STEM. Розглянемо фізику повітряних потоків у випадках різних профілів крила, коли кут атаки рівний нулю (рис. 4.8).

Принципову схему аеродинамічної труби зображено на рис. 4.7, де через сопло 1, корпусу 2 та решітку вирівнювання 3, потік повітря створюється в дифузній камері 5, вентилятором 4, з'єднаним з електродвигуном 6. Досліджувану модель 7 розміщено в корпусі труби.

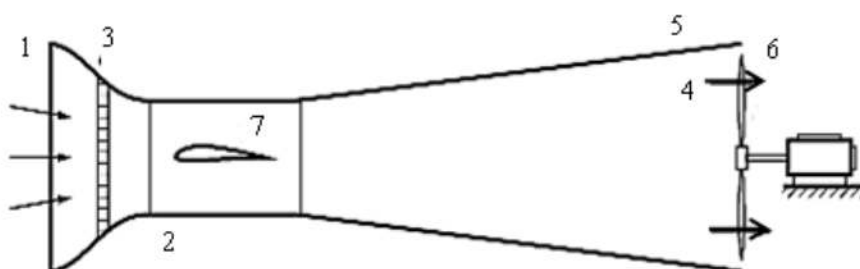


Рис. 4.7. Аеродинамічна труба

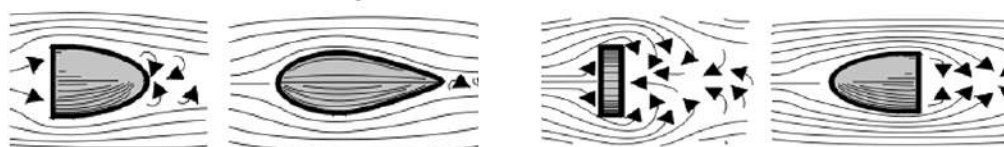


Рис. 4.8. Рух повітряних потоків на перешкодах

Унаслідок зміни профілю нижньої та верхньої частин крила (рис. 4.9 та рис. 4.10) змінюється аеродинамічний тиск.



Рис. 4.9. Зміна верхньої (а) та нижньої (б) частини крила

У разі несиметричного профілю, коли кут атаки  $\alpha \neq 0^\circ$ , спостерігається зміна тиску над і під крилом (рис. 4.10). Унаслідок спостережень майбутні фахівці доходять висновку, що збільшення кута атаки або увігнутості



профілю зумовлює збільшенням підйомної сили. Наступне завдання полягає в розгляді параметрів впливу кута атаки на підйомну силу витягнуто-симетричного профілю. У формулі підйомної сили

$$Y_a = C_{ya} \frac{\rho V^2}{2} S_{\text{ед}}, \quad (4.37)$$

$\tilde{N}_{ya}$  – коефіцієнт підйомної сили, який залежить від кута атаки.

Студенти роблять висновок: якщо профіль має позитивну відносну увігнутість, то крива  $\tilde{N}_{ya} = f(\alpha)$  зміщується плоскопаралельно вгору. Кут атаки, за якого  $\tilde{N}_{ya} = 0$  позначається  $\alpha_0$ , у цьому випадку  $\alpha_0 < 0$ . Відповідно, за того самого кута атаки профіль, який має велику відносну увігнутість, матиме більший коефіцієнт підйомної сили.

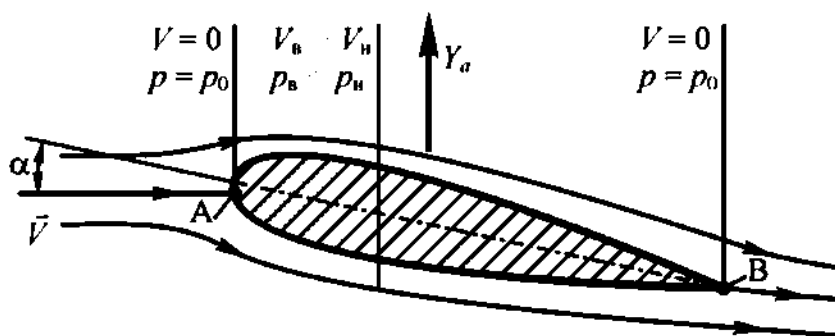


Рис. 4.10. Обтікання профілю літака внаслідок виникнення підйомної сили

Важливою характеристикою є графік залежності  $\tilde{N}_{ya}$  від  $\alpha$  для симетричного й несиметричного профілів. Для цього студенти виконують дослідження обраних профілів в аеродинамічній трубі (рис. 4.11). За малих кутів атаки коефіцієнт підйомної сили залежить від  $\alpha$  лінійно.

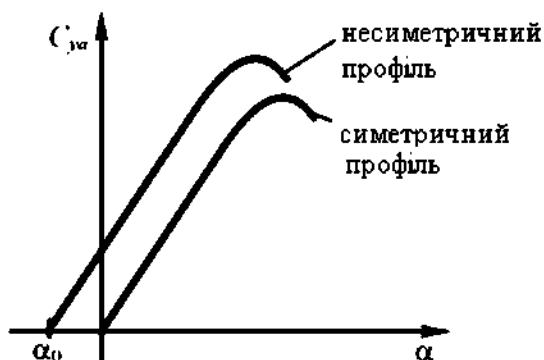


Рис. 4.11. Залежність коефіцієнта підйомної сили від кута атаки

За великих кутів атаки порушується плавне обтікання профілю. Це відбувається через вплив в'язкості на рух частинок у прилягаючому шарі. У процесі руху вздовж верхньої поверхні профілю частки повітря будуть втрачати швидкість. На якомусь етапі їм не вистачить кінетичної енергії, щоб рухатися далі вздовж поверхні. Унаслідок цього на деякій ділянці верхньої поверхні профілю відбудеться відрив прилягаючого шару.

Це явище спричиняє порушення лінійної залежності. За умови збільшення кута атаки зона відриву також збільшується, але коефіцієнт підйомної сили  $\tilde{N}_{ya}$  при цьому продовжує зростати й досягає свого максимального значення  $\tilde{N}_{ya \max}$ . Кут атаки, який відповідає значенню  $\tilde{N}_{ya \max}$ , називається *критичним кутом атаки*  $\alpha_{кр}$  (рис. 4.12).

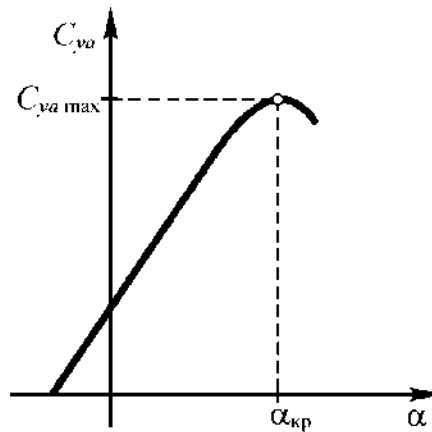


Рис. 4.12. Відповідність максимального значення коефіцієнта підйомної сили критичному куту атаки

Величина критичного кута атаки не перевищує  $20^\circ$ . Унаслідок подальшого збільшення кута атаки відрив потоку досягне інтенсивності, за якої коефіцієнт підйомної сили зменшиться.

Студенти технічних ЗВО виконують наступне завдання, що полягає у визначенні сили лобового опору, яка виникає на крилі літака. Характерною площею пропонують використовувати площу крила. Сила лобового опору крила складається із сил різної природи. Загалом силу лобового опору знаходимо у вигляді суми:

$$X_a = X_{амт} + X_{ат} + X_{аі} + X_{ахв}, \quad (4.38)$$

де  $X_{амт}$  – сила опору тертя;  $X_{ат}$  – сила опору тиску;  $X_{аі}$  – сила індуктивного опору;  $X_{ахв}$  – сила хвильового опору.

Сила опору тертя виникає через в'язкість повітря. У поверхні обтічного тіла утворюється тонкий прикордонний шар, у якому виникають дотичні напруження тертя. Через дії цих напруг і виникає сила опору тертя.

Коефіцієнт опору тертя дорівнює:

$$C_{ха тр} = \frac{X_{амт}}{\frac{\rho V^2}{2} S_{кр}}. \quad (4.39)$$

Сила опору тиску виникає через різницю тисків, що діють на носову й хвостову частини обтічного тіла, де важливу роль має в'язкість. У процесі обтікання профілю крила (рис. 4.13) товщина прикордонного шару поступово наростає від нуля (у передній критичній точці  $A$ ) до деякого значення біля задньої частини крила. У точці  $B$  швидкість потоку на задньому краї не дорівнює нулю, як це має бути в разі ідеального газу.

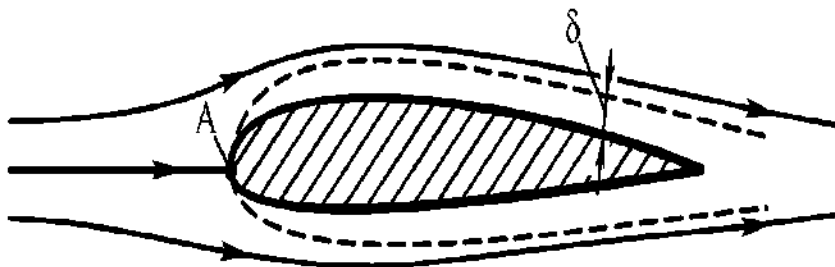


Рис. 4.13. Обтікання крила літака в'язким газом

Унаслідок цього статичний тиск буде меншим повного тиску в точці  $A$ . Виникне перепад тисків, що діють на носову й хвостову частини профілю. Результуючу силу спрямовано вбік хвостової частини, а значить вона створюватиме опір руху літака.

Для визначення коефіцієнта опору тиску рекомендують виконати лабораторну роботу [39; 55]:

$$C_{ха Т} = \frac{X_{ат}}{\frac{\rho V^2}{2} S_{кр}} \quad (4.40)$$

Сила індуктивного опору з'являється, коли на крилі літака виникає підйомна сила. Реальне крило літака має кінцевий розмах, тому під час

виникнення перепаду тисків над крилом і під ним частинки повітря із зони підвищеного тиску під крилом перетікають через бічні краї в зону зниженого тиску над крилом (рис. 4.14). Важливо звернути увагу студентів на механізм виникнення вихорів. Окрім зменшення підйомної сили, ці вихори створюють додатковий лобовий опір, тобто з'являється індукована підйомна сила. У цьому разі STEM-технології дають змогу розрахувати безпечні умови польоту.



Рис. 4.14. Виникнення вихорів на крилі кінцевого розмаху

Зрозуміти природу виникнення сили індуктивного опору студенти зможуть завдяки використанню енергетичного підходу. Рухаючись уперед, крило віддає повітрю частину своєї кінетичної енергії, здійснюючи роботу над закручуванням мас повітря. Це еквівалентно впливу на крило деякої сили, яка здійснює рівну за величиною роботу, створюючи опір руху крила. Коефіцієнт індуктивного опору в першому наближенні розраховують за формулою:

$$C_{xai} = \frac{1}{\pi\lambda} C_{ya}^2. \quad (4.41)$$

Сила хвильового опору виникає під час польотів літаків на близьких до звукових і надзвукових швидкостях. У курсі фізики не приводить математичний вивід сили хвильового опору, а пропонують лише формулу розрахунку коефіцієнта сили хвильового опору [55]:

$$C_{xавл} = \frac{X_{авл}}{\frac{\rho V^2}{2} S_{кр}}. \quad (4.42)$$

STEM освітній аналіз формули (4.39) за дозвукових швидкостей засвідчує відсутність сили хвильового опору:

$$C_{xa} = C_{xa\text{ mp}} + C_{xa\text{ m}} + C_{xa\text{ i}} \quad (4.43)$$

Сума перших двох доданків називається коефіцієнтом профільного опору й позначається  $C_{xa}$ . Тоді вираз (4.43) з огляду на формулу для коефіцієнта індуктивного опору (4.41) має вигляд:

$$C_{xa} = C_{x\text{ amp}} + \frac{1}{\pi\lambda} C_{ya}^2 \quad (4.44)$$

Студентам пропонується скласти графік залежності  $C_{xa}$  від  $\alpha$  для симетричного й несиметричного профілів (рис. 4.15). Кут атаки, за якого коефіцієнт сили лобового опору мінімальний, позначають  $\alpha_{C_{xa}\text{ min}}$ . Коефіцієнти профільного та індуктивного опорів залежать від кута атаки, тому й коефіцієнт сили лобового опору також залежить від кута атаки.

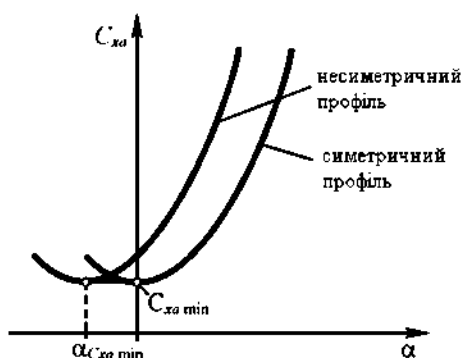


Рис. 4.15. Залежність коефіцієнта сили лобового опору від кута атаки

Отже, вивчення студентами поняття симетрії в процесі виникнення підйомної сили та сили лобового опору літака дозволяє довести їм фундаментальність фізики та визначити технічний складник STEM-освіти, що забезпечуватиме подальший інтерес до вивчення фізики та їх становлення як висококваліфікованих фахівців у технічній галузі.

У цьому разі важливим є стан симетрії досліджуваного тіла й відповідно інженерних та математичних особливостей. Окрім симетричних, існують не цілком симетричні системи, які можна розглядати як симетричні. Наприклад, якщо студенти аналізують схему рами, яка є не повністю

симетричною, оскільки має ліворуч шарнірно-нерухому опору, а праворуч – шарнірно-рухому, при дії вертикального навантаження її можна розглядати як симетричну, тому що горизонтальна реакція лівої опори дорівнює нулю. Цю опору можна трактувати як шарнірно-рухому. Системи такого типу називають *умовно симетричними*.

Система називається *симетричною стосовно осі*, якщо за допомогою прямої, яка збігається з віссю симетрії, вона розділяється на дві частини та є віддзеркаленням іншої (рис. 4.16).

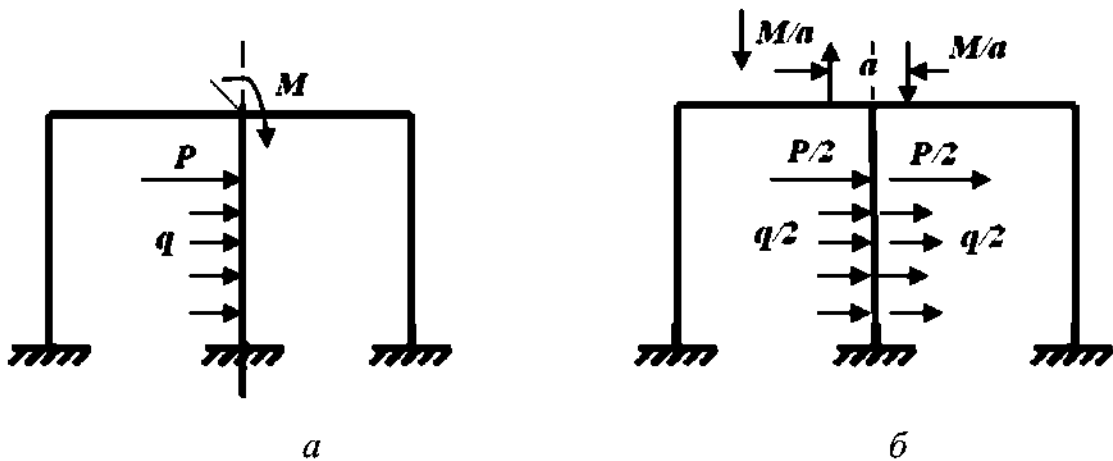


Рис. 4.16. Розгляд симетричної системи: *а* – розгляд навантаження стосовно зосередженого моменту; *б* – розгляд навантаження через силу величиною  $P/2$  та інтенсивністю  $q/2$

Поняття симетрії залежить від навантаження, дії температури, зміщення опору, проте дію вважають симетричною, якщо вона на одній половині конструкції є віддзеркаленням дії на другій половині. Якщо ж дія виконується симетрично стосовно до осі симетрії в протилежних напрямках, то таку дію називають *кососиметричною* або *оберненосиметричною*.

Відповідно зосереджена сила  $P$ , лінія дії якої збігається з віссю симетрії, є симетричною, а зосереджена сила або розподілене навантаження, які прикладені до осі симетрії й спрямовані перпендикулярно до неї, є кососиметричними. Так само можна розглядати (рис. 4.16, *а*), відносно зосередженого моменту.

Це пов'язано з тим, що зосереджену силу  $P$  можна подати як дві зосереджені сили величиною  $P/2$ , розподілене навантаження відносно  $q$  – як два навантаження з інтенсивністю  $q/2$  кожне, а зосереджений момент  $M$  замінити парою сил (рис.4.16, б).

Студентам пропонуємо роглянути будь-яку дію загального вигляду, яку можна представити як суму двох дій, одна з яких є симетричною, а друга – косиметричною або оберненосиметричною. Наприклад, зосереджену силу  $P_1$  (рис. 4.17, а) замінюють двома симетричними й двома косиметричними зосередженими силами  $P_1/2$ , рівномірно розподілене навантаження  $q$  – двома симетричними (рис. 4.17, б) і двома косиметричними (рис. 4.17, в) навантаженнями інтенсивністю  $q/2$ . Якщо дія початково є симетричною (сила  $P_2$ ) або косиметричною, то розкладення її не здійснюється.

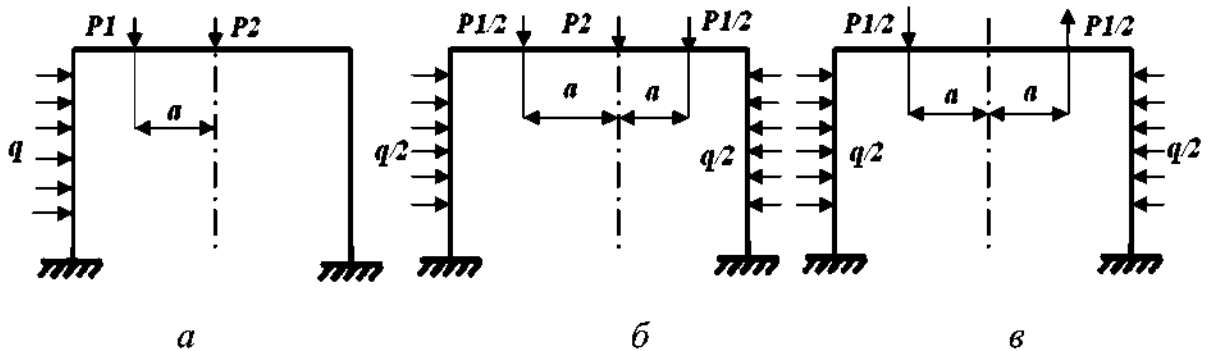


Рис. 4.17. Розкладання дії навантаження загального вигляду на симетричну та косиметричну: а – розгляд навантаження при силі  $P_1$ ; б – розгляд навантаження з двома симетричними навантаженнями інтенсивністю  $q/2$ ; в – розгляд навантаження з двома косиметричними навантаженнями інтенсивністю  $q/2$

На симетричне й косиметричне можна розкласти навантаження, яке прикладається в симетричних перерізах, але має різні величини. Якщо розглядати два зосереджених моменти,  $M_1$  і  $M_2$  (рис. 4.18, а) замінюються двома парами зосереджених моментів. Моменти першої пари дорівнюють  $(M_1+M_2)/2$  (рис. 4.18,б) і спрямовані симетрично.

Величини моментів другої пари, які спрямовані кососиметрично, становлять  $(M_1 - M_2)/2$  (рис. 4.18, в). При цьому первісно кососиметрична сила  $P$  не розкладається.

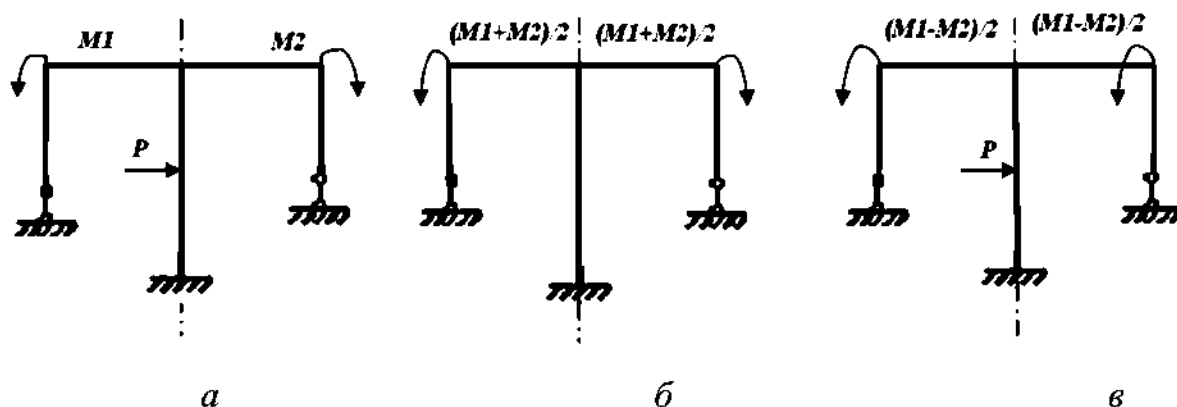


Рис. 4.18. Розгляд навантаження в симетричних перерізах: а – розглядаються два зосереджених моменти  $M_1$  і  $M_2$ ; б – розглядаються моменти першої пари, спрямовані симетрично; в – моменти другої пари спрямовані кососиметрично

Отже, особливості застосування STEM-освіти у формуванні STEM-компетентності студентів технічних ЗВО полягають в інтеграції фундаментальних наскрізних генеруючих понять та складників STEM, що сприяє мотивації майбутніх фахівців технічної галузі до вироблення його компетентності. Досягається це використанням STEM-технологій, а саме: цифрового обладнання, система Super Pulley/Photogate для вимірювання часу польоту, Smart Cart для вивчення фізичних явищ, елементів Arduino, використання платформи AutoCAD. Ці методики описані нами в [13; 92].

#### **4.4. Методика формування системи задач курсу фізики технічних ЗВО засобами STEM-освіти**

Особливе значення на сучасному етапі реформування фізичної освіти має питання самостійного здобування знань студентами, розвитку в них творчих здібностей у процесі навчання фізики в технічних ЗВО засобами STEM-освіти. На нашу думку, розв'язанню проблеми сприятиме створення системи задач, розгляд яких ґрунтується на фундаментальних наскрізних генеруючих поняттях. Розв'язування таких задач студентами на практичних



заняттях та в процесі самостійного навчання в технічних ЗВО забезпечуватимуть засоби STEM-освіти.

Традиційну методику розв'язування фізичних задач досліджували П. Атаманчук [5], О. Бугайов [16], С. Величко [24], В. Вовкотруб, Н. Подопрігора, О. Трифонова [31], С. Гончаренко [35], Є. Коршак [60; 138], І. Кучерук [98], Л. Осадчук [123], А. Павленко [129], М. Садовий [31; 147], Б. Сусь [160], М. Шут [178] та ін.

З огляду на тему дослідження поняття *фізичної задачі* тлумачать як деяку проблему, що розв'язується за допомогою математичних дій, експерименту на основі фізичних знань та логічних умовиводів.

У методичній літературі [16; 128; 129; 138] задачами вважають підібрані різні вправи, що відрізняються за своєю складністю. Основним призначенням задач є вивчення фізичних явищ, формування понять, розвиток логічного мислення в студентів та використання набутих умінь на практиці.

Розв'язування задач є невіддільним складником освітнього процесу з фізики, тому дозволяє формувати й збагачувати фізичні поняття, розвиває фізичне мислення студентів, навички застосування знань на практиці [86; 96; 97]. Розв'язування фізичних задач, особливо з вивчення поняття фундаментальних наскрізних понять на основі STEM-технологій, є способом перевірки та систематизації знань, дає змогу раціонально організувати повторення, розширювати й поглиблювати знання, сприяє формуванню світогляду, ознайомлює з досягненнями науки, техніки тощо [89; 94].

Такі задачі дозволяють студентам виявити творчу самостійність і привчають кожного з них під час розв'язання конкретних питань урахувати невіддільний зв'язок теорії та практики. Ці задачі сприяють поглибленню й закріпленню знань студентів з фізики, стимулюють інтерес до питань, що є предметом вивчення, розвивають самостійність та ініціативу, формують потрібні для практичної діяльності вміння й навички в процесі навчання фізики в технічних ЗВО.

Уважаємо, що процес розв'язування фізичних задач є однією з активних форм освітнього процесу, важливим компонентом якої є самостійна робота суб'єктів навчання. Фізичні задачі доцільно розв'язувати під час вивчення студентами нового матеріалу; у процесі закріплення знань і формування практичних умінь; під час узагальнення й поглиблення знань; для контролю та обліку знань, умінь і навичок [48, с. 6]. При цьому роль, місце та складність фізичних задач визначають структурою практичного заняття та його дидактичними цілями, а також використанням STEM-технологій.

На підставі основних дидактичних принципів у методиці розв'язування фізичних задач під час навчання загального курсу фізики із застосуванням STEM-технологій обґрунтовано такі вимоги:

1. Кожна фізична задача відповідає змісту навчального матеріалу, концентрує увагу на тих основних знаннях і вміннях, які потрібно засвоїти й сформувати студентів з використанням наукового, інженерного, технічного та математичного складників STEM-освіти.

2. Фізичні задачі повинні відповідати принципам науковості, систематичності й послідовності та враховувати освітній процес на основі технологій STEM-освіти.

3. У процесі розроблення фізичних задач слід брати до уваги свідоме ставлення студентів до розв'язування задач під час розгляду фундаментальних, наскрізних понять, визначати прикладний характер вивчення фізичного матеріалу з використанням засобів STEM-освіти, сприяти розумінню суті основних явищ і процесів та активізації їхньої розумової діяльності. У керівництві пізнавальною діяльністю студентів викладач повинен урахувати співвідношення понять образного й уявного, конкретного та абстрактного.

Розуміння та свідоме розв'язування фізичних задач на основі технологій STEM-освіти спирається на вміння студентів вільно оперувати фізичними поняттями, зокрема поняттям симетрії в технічних ЗВО, а також

мобілізувати свою діяльність на розв'язання певних проблем, а в разі потреби – переключитися з одного кола питань на інше, що міцно пов'язані між собою.

4. Методика розв'язування задач з виокремленням основних елементів STEM-освіти в процесі навчання фізики передбачає глибоке розуміння та знання студентами основних фізичних явищ, законів і теорій. Психологічною основою глибоких і міцних знань є пам'ять. Закономірності процесів розвитку пам'яті такі, що потребують повторення й закріплення навчального матеріалу, повернення до раніше вивченого й відновлення вже забутого.

5. Оптимально підібрані фізичні задачі з інженерним та технічним складником STEM-освіти в процесі вивчення загального курсу фізики в технічних ЗВО повинні спиратися на надбаний студентами досвід та стимулювати його постійний розвиток, поступово ускладнюючи навчальну, трудову й розумову діяльність, беручи до уваги рівень стилю мислення, здібності студентів та фахову технічну підготовку.

Основні методичні вимоги до розв'язування фізичних задач у процесі вивчення фундаментальних наскрізних генеруючих понять представлено в таблиці 4.8.

*Таблиця 4.8*

**Методичні вимоги до розв'язування фізичних задач у процесі вивчення фундаментальних наскрізних генеруючих понять в умовах STEM-освіти**

Дидактичні принципи	Методичні вимоги до розв'язування фізичних задач у процесі вивчення фундаментальних наскрізних генеруючих понять
1	2
Науковість	Ознайомлення студентів з науковими фактами, поняттями, закономірностями, методами наукового пізнання з використанням STEM-технологій.
Достовірність	Робота з конкретними об'єктами та явищами природи з використанням моделей, 3 D-принтерів, елементів прототипування; однозначність вихідних й одержаних величин, питань та відповідей на поставлені питання.
Доступність	Інформація в задачі, а також процес її розв'язання повинні ґрунтуватися на знаннях наукового, інженерного, технічного та математичного складників STEM-освіти, які студенти вже мають, і відповідати їх розумовим здібностям.
Оптимізація	Підібрані задачі повинні враховувати здібності студентів, наявність STEM-обладнання фізичного кабінету, місцеві

1	2
	економічні, соціальні та кліматичні умови.
Зв'язок навчання з життям	Зміст задач має розкривати зв'язки між явищами природи, між ними й людиною, природою й технікою, технікою й людиною в контексті STEM-освіти.
Систематичність і послідовність навчання	Задачі, що пропонуються студентам для розв'язання в аудиторії, для самостійних робіт з використанням технологій STEM-освіти, повинні створювати певну систему, спрямовану на підготовку висококваліфікованого фахівця з технічного напрямку.
Свідомість та активність студентів	Студенти повинні розуміти зміст задачі, завдання, що спонукатиме їх до пошуку розв'язування задачі з використанням сучасних STEM-засобів.
Поєднання різних методів і форм навчання	Різноманітні види фізичних задач (текстові, якісні, творчі, розрахункові, графічні, експериментальні) повинні доповнювати одна одну та розкривати компоненти STEM-освіти.
Дидактичні принципи	Методичні вимоги до розв'язування фізичних задач у процесі вивчення поняття симетрії.
Створення потрібних і достатніх умов для навчання	Наявність потрібного фізичного STEM-обладнання в лабораторіях технічних ЗВО для розв'язування задач; створення на практичному занятті доброзичливих відносин, надання потрібної методичної допомоги.

У технічних пристроях нерідко виявляються оборотні рухи, де діє принцип оборотності механічного руху в процесі. У методиці навчання фізики цей принцип слід розглядати як специфічну симетрію, що з'являється при заміні знака часу, тобто при перетворенні  $t \rightarrow -t$ .

Закони механіки Ньютона мають властивість не змінюватися при зміні знака часу. Це означає, що коли тіло проходить деяку послідовність станів відповідно до рівнянь механіки, за II законом Ньютона, то завжди можливий зворотний рух, за якого тіло буде проходити ті самі стани, але в зворотній послідовності. Справді, при заміні  $t \rightarrow -t$  величини, що входять у рівняння  $\vec{F} = m\vec{a}$ , перетворюються так:

1.  $\vec{F} = -\vec{F}$ , тому що сила залежить від відстаней між взаємодіючими тілами, що не змінюються при зміні знака часу.

2. Згідно з означенням  $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ . При  $t \rightarrow -t$  маємо, що  $\Delta t \rightarrow -\Delta t$ , а  $\Delta \vec{r} \rightarrow \Delta \vec{r}$ .

Тому  $\frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \rightarrow -\frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ ; а значить  $\vec{v} = -\vec{v}$ .

3. Згідно з означенням маси, а також відповідно до характеру маси як фізичної величини, маємо, що  $m \rightarrow m$ , тому що маса – це характеристика тіла.

4. Згідно з означенням прискорення  $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ . Але, оскільки  $\vec{v} = -\vec{v}$ , то

$\Delta \vec{v} = -\Delta \vec{v}$  при заміні знака часу. Водночас маємо, що при  $\Delta t \rightarrow -\Delta t$ . Через це  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{-\Delta \vec{v}}{-\Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ . Отже,  $\vec{a} \rightarrow \vec{a}$ .

Отже, при заміні часу маємо:  $\vec{F} \rightarrow m\vec{a} \rightarrow \vec{F} \rightarrow m\vec{a}$ . Якщо початкові умови одного руху збігаються з кінцевими умовами другого руху, то при зміні знака часу тіло проходить ті самі стани, що й за прямого руху, але в зворотній послідовності. Це можливо лише за відсутності тертя.

Як приклад симетрії оборотності механічного руху студентам слід показати рух тіла, кинутого вгору з певною початковою швидкістю з поверхні землі в однорідному полі тяжіння, коли не враховується опір атмосфери.

Принцип симетрії можна застосовувати до розв'язання деяких задач з механіки, якщо разом з принципом оборотності врахувати й геометричні елементи симетрії.

*Задача 4.1.* Кулька радіусом  $r$  та повітряна бульбашка такого самого радіусу знаходяться у воді. З якою силою взаємодіють кулька та бульбашка, коли відстань між їхніми центрами рівна  $L$ . Масою повітря в бульбашках знехтувати. Чи відбудуться зміни, якщо сталю кульку замінити повітряною бульбашкою, яка має той самий радіус?

Для відшукування центру маси різних тіл потрібно врахувати принцип симетрії. Центр маси тіла – це точка прикладання сили тяжіння даного тіла.

Якщо розглянути однорідне тіло, що має центр симетрії, то центр маси збігається з центром симетрії. Сферичне симетричне тіло має сферичну симетрію в розподілі маси тіла. Центр маси однорідних фігур, які мають центр симетрії збігається з їхніми геометричними центрами. Трапляються випадки, коли центр маси обчислити складно або зовсім не можливо, якщо тіло неоднорідне чи не має центра симетрії.

Якщо в задачі потрібно відшукати центр маси симетричної фігури, тоді цю задачу студентам потрібно розв'язати так: 1) виконати мисленнєву операцію над тілом, що відтворює порушену симетрію тіла; 2) вирізати симетричну порожнину та зняти прикріплені частини; 3) уважати ці додані частини реально існуючими та уявно розмістити за правилом моментів центр маси цієї фігури. Центри мас лежать в центрах симетрії даних фігур. У цьому випадку студенти повинні знати, що застосовувати поняття від'ємної маси немає смислу, використання якої дає однаковий результат.

Звернемо увагу студентів на те, що складні електричні кола, коли резистори з'єднані в складний каркас, загалом розраховують за допомогою правил Кірхгофа чи інших методів розрахунку (метод контурних струмів, метод вузлових потенціалів, метод перетворення еквівалентних кіл), однак спершу потрібно навчити студентів обчислювати опори лише найпростіших кіл. До таких кіл належать передовсім такі контури, які володіють якою-небудь симетрією. У цьому разі для розрахунку найпростіше застосовувати принцип симетрії, який особливо ефективний та дозволяє зробити прості висновки, що легко запам'ятати й зрозуміти.

Усі штучні прийоми розрахунку симетричних електричних кіл базуються на відшукуванні точок кола, тобто вузлів кола, що мають однакові потенціали.

Розглядаючи симетричність електричних кіл та застосовуючи до них принцип симетрії, легко дійти висновку: симетрія сполучення провідників, симетрія величин їх опорів, симетрія способу підведення напруги (симетрія причин) виявляються в симетрії струмів і симетрії потенціалів вузлових точок кола (симетрія наслідків). Наприклад, коли ми маємо симетричну систему резисторів, а напругу підведено до вузлів, що знаходяться в площині або на осі симетрії, одержимо: потенціали вузлів, які симетричні відносно площини, або осі симетрії рівні, а струми, які протікають симетрично розміщеними резисторами, однакові (резистори, звичайно, повинні бути також рівними).

У процесі відшукування площин та осей симетрії слід урахувати розміщення опорів, характер їх з'єднання, а також їхню величину. У цьому разі ми маємо справу з повною еквівалентністю (тотожністю) симетричних резисторів, оскільки по них протікають однакові струми, а потенціали їхніх кінців однакові.

Отже, у цьому разі виявляється фізична еквівалентність, а тому відповідну площину чи вісь симетрії можна умовно назвати фізичною площиною чи віссю симетрії (у симетричних елементах відбуваються однакові фізичні процеси).

Якщо система резисторів має площину симетрії або вісь симетрії, а напругу від джерела підведено до точок, симетричних відносно цієї площини чи осі симетрії, то з принципу симетрії випливає, що всі вузли й точки, які лежать у площині симетрії чи на осі симетрії, мають однакові потенціали. У цьому разі гілки кола не будуть повністю еквівалентними, а тому відповідну площину чи вісь симетрії можна умовно назвати геометричною.

Розв'язання задач на відшукування величин опорів симетричних електричних кіл, як уже зазначено вище, зводиться до відшукування еквіпотенціальних вузлів. Сам процес відшукування еквіпотенціальних вузлів зводиться до відшукування фізичних і геометричних елементів симетрії кола. Тоді запропонуємо сам процес розв'язування задачі, що передбачає виконання таких операцій [57]:

1. Установити симетрію кола (наявність центра симетрії, площини чи осі симетрії) і її характер (геометрична чи фізична).

2. На основі симетрії кола відшукати точки з однаковими потенціалами.

3. Побудувати еквівалентну схему електричного кола, для чого виконують над нею перетворення: з'єднують еквіпотенціальні вузли в один вузол, унаслідок чого коло значно спрощується; розглядають у колі ті ділянки, які з'єднують вузли з однаковими потенціалами; розводять вузли, тобто замінюють їх кількома вузлами, які мають той самий потенціал, що й

вихідний вузол; розбивають гілки схеми, замінюючи їх переважно двома симетричними гілками; виконують кілька із цих операцій.

4. Користуючись формулами для послідовного й паралельного з'єднання резисторів, розраховують опір еквівалентної схеми. Це й буде значення опору електричного кола, яке шукали.

Методика застосування поняття симетрії до розв'язання задач на обчислення опору складного електричного кола має специфіку. Наприклад, *задача 4.2*. Знайти  $R$  ділянки кола, зображеної на рис. 4.19. Усі опори на схемі однакові та рівні  $r$ .

Методика розв'язування передбачає таке. Куб симетричний відносно повороту навколо діагоналі на кут  $120^\circ$ . Це легко продемонструвати за допомогою дротяного кубічного каркасу. Оскільки напруга до кола підводиться до точок  $A$  і  $B$ , що лежать на осі симетрії  $AB$ , то ця вісь є фізичною віссю симетрії, тому всі вузли кола, симетричні відносно осі  $AB$ , будуть еквіпотенціальними. Тоді вузли 1, 2, 3 і вузли 4, 5, 6 еквіпотенціальні, а тому  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3$ ,  $\varphi_4 = \varphi_5 = \varphi_6$ .

Об'єднаємо вузли 1, 2 і 3 в один вузол, а вузли 4, 5 і 6 – в другий (вузли  $M$  і  $N$  рис. 4.19). Одержимо еквівалентну схему кола, зображену на рис. 4.20.

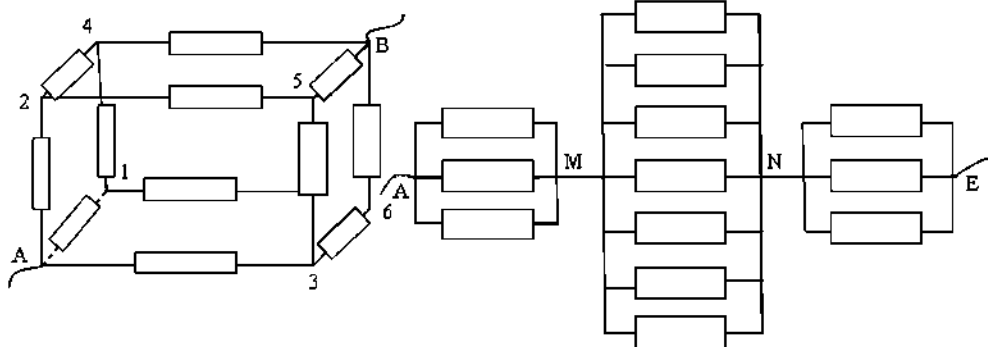


Рис. 4.19.Схема кола

Рис. 4.20. Еквівалентна схема кола

Справді,  $R_{AB} = \frac{1}{3}r$ ,  $R_{NB} = \frac{1}{3}r$ ,  $R_{MN} = \frac{1}{6}r$ ,  $R = \frac{5}{6}r$ . Аналогічно розв'язують

схожі задачі.

Розглянемо фізичні задачі, що віддзеркалюють низку засадничих дисциплін STEM-освіти, а саме знання з фізики (науковий метод пізнання),



використання цифрових вимірювальних комплексів (сучасні технології дослідження), навички практичного експериментального характеру (інженерний метод пізнання світу) та опис математичними методами реальних процесів, де враховуються інструментальні, методичні й випадкові похибки.

Висвітливо основні складники STEM-освіти, а саме науковість через міждисциплінарні зв'язки фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, технології – використання комп'ютерного забезпечення, інженерії – оволодіння програмуванням та математики.

Розглянемо задачу за допомогою програмного середовища Delphi.

*Задача 4.3.* Визначити центрування порожнього спорядженого літака (рис. 4.21) і його центрування злету, якщо відомі маси  $m_i$  та координати  $x_i$  агрегатів літака і його спорядження (таблиця 4.8), що становлять експлуатаційну масу літака (таблиця 4.9), а також довжина  $b_a$  і координата носа  $x_a$  середньої аеродинамічної хорди (САХ) :  $b_a = 2,97$  м,  $x_a = 8,75$  м.

*Розв'язання.* За допомогою інтегрованого середовища Delphi студенти зуміли зобразити схеми літаків, використовуючи кодування визначити координату  $x_c$  центру мас літака (рис.4.21), розрахувати центрування порожнього спорядженого літака та центрування літака на злеті. Студентам надано дані стосовно літаків, що містяться в таблиці 4.9. та 4.10 та поставлено завдання одній частині групи розв'язувати задачу за допомогою *Excel*, іншим – програмування в Delphi.

Подальші обчислення одні студенти виконують за допомогою програми *Excel* та заповнюють таблицю 4.10, інші програмують розв'язок задачі (рис. 4.22).

Узагальнюючи свої знання з фізики, математики, інженерії, технічних дисциплін студенти набувають STEM-компетентностей.

У процесі розв'язування задачі студенти аналізують, як відбувається центрування літака, що залежить від заправки паливом і завантаження, та

змінюється впродовж одного польоту з огляду на витрачання пального (науковий складник STEM-освіти).

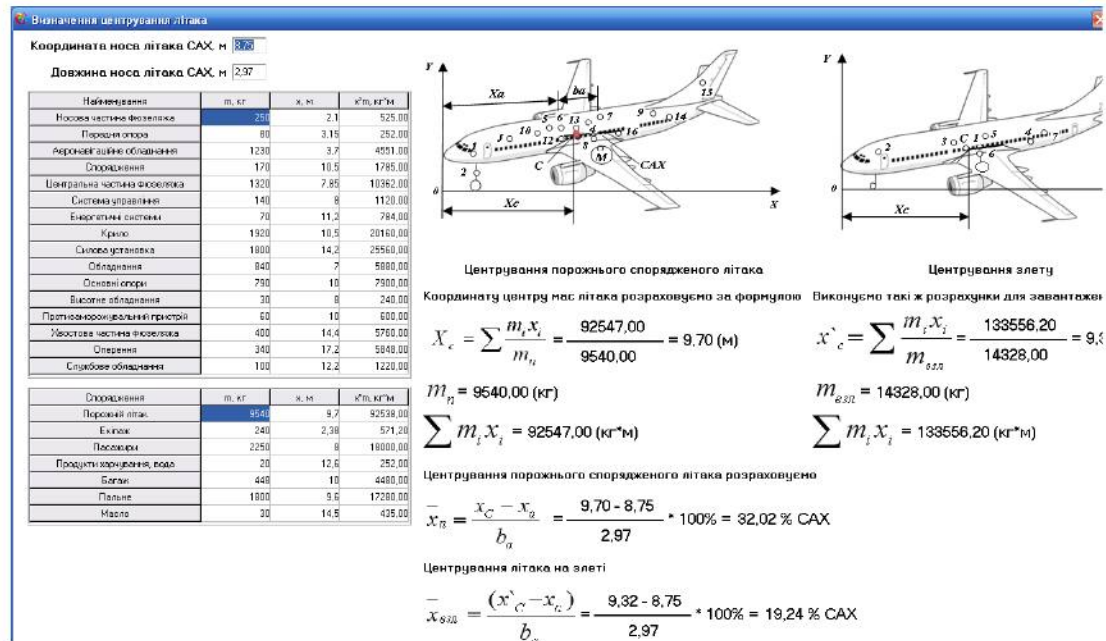


Рис. 4.21. Робоча область програми центрування літака

Таблиця 4.9

### Визначення $m_i x_i$ для порожнього літака

Найменування	т, кг	х, м	х*т, кг*м
Носова частина фюзеляжа	250	2,1	525
Передня опора	80	3,15	252
Аеронавігаційне обладнання	1230	3,7	4551
Спорядження	170	10,5	1785
Центральна частина фюзеляжа	1320	7,85	10362
Система управління	140	8	1120
Енергетичні системи	70	11,2	784
Крило	1920	10,5	20160
Силовa установка	1800	14,2	25560
Обладнання	840	7	5880
Основні опори	790	10	7900
Висотне обладнання	30	8	240
Протизаморожувальний пристрій	60	10	600
Хвостова частина фюзеляжа	400	14,4	5760
Оперення	340	17,2	5848
Службове обладнання	100	12,2	1220

Звертаємо увагу на те, що центрування визначають перед кожним рейсом літака. Для цього використовують центрові графіки, що дозволяють швидко знайти центрування літака залежно від кількості заправленого

пального, чисельності пасажирів, маси багажу та вантажу (інженерний складник STEM-освіти). Є спеціальні автоматичні пристрої (зокрема й бортові), які визначають центрування літака на землі та його зміни в польоті (використання сучасних цифрових вимірювальних комплексів, що розкривають такий складник STEM-освіти, як технології). Для розв'язання задачі та виконання відповідних розрахунків за допомогою програми Excel, студентам потрібно використати математичний STEM-складник.

Таблиця 4.10

Визначення  $m_i, x_i$  для завантаженого літака

Спорядження	$m$ , кг	$x$ , м	$x \cdot m$ , кг·м
Порожній літак	9540	9,7	92538
Екіпаж	240	2,38	571,2
Пасажири	2250	8	18000
Продукти харчування, вода	20	12,6	252
Багаж	448	10	4480
Пальне	1800	9,6	17280
Масло	30	14,5	435

```
s := FormatFloat('#.00', SumLoadData);
lSumLoadData.Caption := s;
lSumLoadData1.Caption := s + ' (кг*м)';

s := FormatFloat('#.00', SumLoadM);
lSumLoadM.Caption := s;
lLoadM.Caption := s + ' (кг)';

s := FormatFloat('#.00', Xc);
lXc.Caption := s + ' - ' + laXa.Text;
lBa.Caption := laBa.Text;

Xn := (Xc - StrToFloat(laXa.Text)) / StrToFloat(laBa.Text) * 100;
s := FormatFloat('#.00', Xn);
lXn.Caption := s + ' % САН';
```

Рис. 4.22. Фрагмент програмування задачі щодо центрування літака

У процесі розв'язування задачі залучаються такі STEM-дисципліни, що розкривають міждисциплінарні зв'язки основних понять, які використовуються в цій задачі: фізика (поняття маси, центру мас, координати, довжини); повітряні перевезення; маса порожнього літака; маса спорядженого літака; маса екіпажу; маса бортпроводників; маса продуктів харчування; максимальна маса комерційного завантаження; гранична маса

комерційного завантаження. До центрувальних характеристик літака належать такі: центрування порожнього літака, центрування порожнього спорядженого літака, центрування літака без пального, злітне центрування літака, посадкове центрування літака, польотне центрування літака, гранично припустимі польотні центрування літака, діапазон гранично припустимих польотних центрувань літака, центрування перекидання літака на хвіст, гранично припустиме центрування літака на землі та ін.); хімія та паливно-мастильні матеріали (основні експлуатаційні властивості авіаційного палива); динаміка польоту (балансування літака, експлуатаційний діапазон центрівок).

*Задача 4.4.* Вертоліт розвертається в режимі висіння, роблячи півоберт за 10 с. Визначити сумарний гіроскопічний момент обох двигунів і сили тиску ротора кожного двигуна на підшипники, якщо частота обертання ротора  $n = 13\,000$  об/хв, його момент інерції  $I = 0,21$  кг·м<sup>2</sup>, відстань між підшипниками  $b = 0,4$  м.

Розв'язання. Цю ж задачу студенти також розв'язують в середовищі Delphi. У цьому випадку, студенти визначають основні фізичні формули, які кодують та виносять на екран програми (рис 4.23).

Звертаємо увагу студентів, що сили  $\vec{N}$  і  $\vec{N}'$  спрямовано за правилом Жуковського, тобто вони повертають вертоліт так, щоб сумістився напрям векторів  $\vec{\Omega}$  і  $\vec{\omega}$ .

Елемент програмування цієї задачі наведено на рис. 4.24.

Розв'язавши задачу, важливо проаналізувати основні поняття гіроскопічних явищ. Гіроскопічний момент виникає тоді, коли тіло, яке швидко обертається навколо осі, що не збігається з його віссю обертання (науковий складник STEM-освіти). Наприклад, гіроскопічний момент діє на ротор двигуна літака, що здійснює маневр у повітрі за керування на аеродромі, викликаючи додаткове навантаження на підшипники ротора. За різкого повороту легкого літака гіроскопічний момент повітряного гвинта й обертових частин двигуна може викликати капотування машини (інженерний складник STEM-освіти).

Визначення сумарного гіроскопічного моменту

Час півобертв, с:

Частота обертання ротора, об/хв:

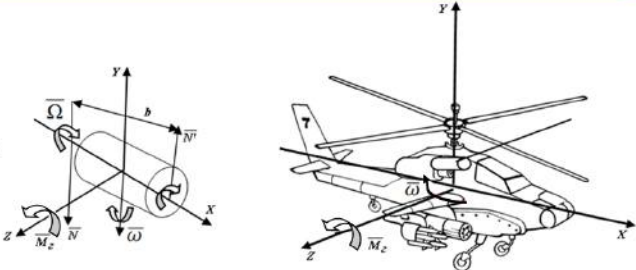
Момент інерції, кг\*м<sup>2</sup>:

Відстань між підшипниками, м:

Гіроскопічний момент

$$M_z = 2I \frac{\pi n}{30} \cdot \frac{\pi}{t} = \frac{53888,04}{300,00} = 179,63 \text{ (Н*м)}$$

Сила тиску ротора кожного двигуна на підшипники

$$N = \frac{0,5 \cdot M_z}{b} = \frac{89,81}{0,40} = 224,53 \text{ (Н)}$$


Зображення вертольота, що робить розворот

У цьому випадку, коли вектори  $\Omega$  і  $\bar{\omega}$  перпендикулярні, гіроскопічний момент визначається за формулою:

$$M_z = I \cdot \omega \cdot \Omega,$$

де  $\Omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$  рад/с – кутова швидкість ротора;

$\omega = \frac{\pi}{t}$  рад/с – кутова швидкість розвороту вертольота.

Гіроскопічний момент одного ротора дорівнює моменту пари сил  $\bar{N}$  і  $\bar{N}'$ , з якими він діє на підшипники:

$$N \cdot b = 0,5 M_z.$$

Рис. 4.23. Зображення програми визначення сумарного гіроскопічного моменту

```

procedure TForm1.CalcAll;
var
  s: string;

  Mg, N, Chast, t, I, Dist: double;
begin
  Mg := 0;
  N := 0;
  Chast := StrToFloat(lChast.Text);
  I := StrToFloat(lIn.Text);
  t := StrToFloat(lt.Text);
  Dist := StrToFloat(lDist.Text);
  Mg := 2 * I * (pi * pi * Chast) / (30 * t);

  s := FormatFloat('#.00', Mg);
  lMg.Caption := s + ' (Н * м)';

  s := FormatFloat('#0.00', 2 * I * (pi * pi * Chast));
  lSumData.Caption := s;
  s := FormatFloat('#0.00', (30 * t));
  lSumM.Caption := s;

  N := 0.5 * Mg / Dist;
  s := FormatFloat('#0.00', N);
  lN.Caption := s + ' (Н)';
  s := FormatFloat('#0.00', 0.5 * Mg);
  lSumLoadData.Caption := s;
  s := FormatFloat('#0.00', Dist);
  lSumLoadM.Caption := s;
end;

```

Рис.4.24. Елемент програмування задачі на визначення гіроскопічного моменту та сили тиску ротора

Унаслідок розрахунку основних фізичних характеристик, що діють на ротори двигунів, повітряних гвинтів та їх підшипники, обов'язково враховують додаткові навантаження, спричинені гіроскопічними моментами

(математичний складник STEM-освіти). З цієї причини обмежують кутові швидкості розворотів вертольотів у повітрі і літаків під час керування.

Звертаємо увагу студентів на основні властивості гіроскопа:

– прикладання зовнішньої сили до головної осі гіроскопа викликає її прецесію в напрямі, перпендикулярному напрямку сили; короткочасні силові дії не викликають прецесії;

– за вимушеної прецесії основна вісь гіроскопа створює на опорах гіроскопічний момент, який прагне поєднати цю вісь з віссю прецесії.

До розв'язування цієї задачі залучено комбінацію таких STEM-дисциплін: фізика (кутова швидкість, частота обертання, обертовий рух); теоретична механіка (обертовий рух твердого тіла; рівняння обертового руху твердого тіла, кутова швидкість і кутове прискорення тіла); авіоніка (елементи прикладної теорії гіроскопів); основи електротехніки (електровимірювальні прилади і методи вимірювань, електростатистичні прилади).

*Задача 4.5.* Затягування сталевого стяжного гвинта авіаційного двигуна (рис. 4.25) контролюють, вимірюючи його видовження. Знайти силу затяжки  $P$ , напруженість  $\sigma$  у його поперечному перерізі та зміну діаметра  $\Delta D$ , якщо видовження гвинта  $\Delta l = 0,25$  мм.

*Розв'язання.* Для розрахунку приймаємо тільки ділянку гвинта довжиною  $l$ , виключивши головку й нарізаний кінець гвинта, у якому немає отвору.

Площу перетину гвинта розраховують за формулою:

$$F = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4}(24^2 - 12^2) = 339 \text{ мм}^2.$$

За формулою  $\Delta l = \frac{Pl}{EF}$  визначимо силу розтягу  $P$ , врахувавши, що модуль пружності  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа:

$$P = \frac{\Delta l EF}{l} = \frac{0,25 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 339}{90} = 188 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

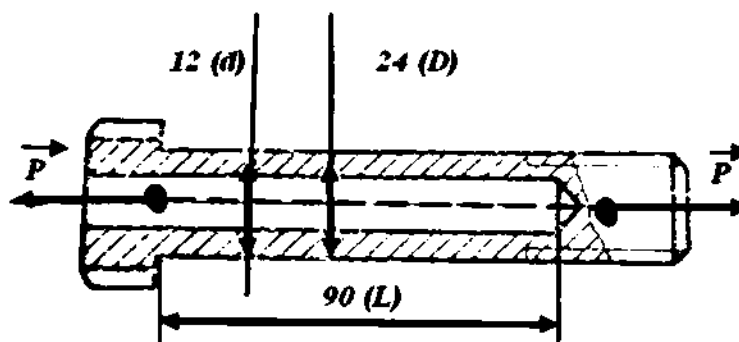


Рис. 4.25. Розріз сталевго гвинта авіаційного двигуна

Напруженість у перерізі гвинта визначимо за формулою  $\sigma = \frac{N}{F}$ .

Нормальна сила  $N = P$ . Тоді:

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{188 \cdot 10^3}{339} = 555 \text{ МПа.}$$

Відносну поперечну деформації гвинта  $\varepsilon' = \frac{\Delta D}{D}$  відповідно до формули

$\varepsilon' = -\mu \frac{\sigma}{E}$  розраховують:

$$\frac{\Delta D}{D} = -\mu \frac{\sigma}{E},$$

де  $\mu = 0,3$ . Тоді отримаємо формулу для зміни діаметра:

$$\Delta D = -\mu D \frac{\sigma}{E} = -0,3 \cdot 24 \frac{555}{2 \cdot 10^5} = -0,02 \text{ мм.}$$

Знак «мінус» указує на те, що діаметр гвинта зменшується. Звідси випливає, що внаслідок значної напруженості зміна діаметра гвинта дуже мала (виконуючи розрахунки, нехтують поперечною деформацією).

Розв'язавши задачу із студентами, робимо висновок про те, що деталі всіх машин і споруд, зокрема й авіаційних двигунів, повинні мати достатню міцність і твердість, тобто під дією експлуатаційних навантажень не повинні руйнуватися або деформуватися більше, ніж допустимо (розглядуємо технологічний складник STEM-освіти).

Розрахункову схему деталей потрібно складати, приймаючи припущення, вплив яких на результат розрахунку зазвичай перевіряють експериментами (інженерний та математичний складник STEM-освіти).

У процесі розрахунку приймають такі припущення:

- матеріал вважають однорідним, ізотропним, ідеально пружним;
- за відсутності навантаження матеріал вважають ненапруженим, тобто не враховують напружень, які виникають унаслідок виготовлення деталей, наприклад, під час зварювання тощо;

- застосовують принцип незалежності дії сил (науковий складник STEM-освіти);

- використовують принцип початкових розмірів, тобто вважають, що деформації тіла й пов'язані з ними переміщення точок малі порівняно з розмірами тіла, а отже, нехтують змінами в розташуванні діючих сил, що відбуваються внаслідок деформації (науковий складник STEM-освіти);

- спрощують геометричну форму деталей, що розраховуються, тобто розглядають їх як брус, пластину або оболонку (інженерний та математичний складники STEM-освіти).

Для цієї задачі залучають таку комбінацію STEM-дисциплін: фізика (поняття розтягу та стиснення, закон Гука, пружна деформація, жорсткість); опір матеріалів (розтяг (стиск) прямого стержня, деформації поздовжні та поперечні, закон Гука за лінійного напруженого стану, модуль пружності, зсув та кручення прямого стержня, закон Гука для зсуву, напруження й деформації); конструкція та міцність літальних апаратів (міцність матеріалів).

Отже, доречним є той факт, що виокремлення основних компонентів із STEM-освіти (наукового, інженерного, технологічного та математичного) у процесі розв'язування задач розкриватиме в студентів доцільність прикладного характеру дисциплін природничо-математичного циклу, зокрема фізики, яка є фундаментальною наукою для вивчення професійно



зорієнтованих дисциплін у технічних ЗВО та формування STEM-компетентностей.

У законі про «Вищу освіту» передбачено, що одним з провідних напрямів оновлення змісту вищої освіти є забезпечення її якості на основі сучасних досягнень у науці, культурі й соціальній практиці [47]. Цей документ засвідчує, що освітня галузь «технології» визначає та втілює функції забезпечення технічної й технологічної освіти, спираючись на закони та закономірності природи, суспільства, культури й виробництва, які вивчаються в навчальних предметах з основ наук.

У системі природничих наук провідна роль належить фізиці, оскільки вона як наука має вагомe значення в розвитку продуктивних сил суспільства. Сучасний освітній процес навчання курсу фізики ґрунтується на експериментальній основі, що поєднується з теоретичним методом. Незалежно від методу пізнання, покладеного в основу процесу навчання фізики, фізичний експеримент є невіддільним складником та обов'язковим елементом фізики як наукової дисципліни, здатної забезпечити ефективно засвоєння знань суб'єктами навчання.

Удосконалення методики навчання фізики з використанням STEM-технологій передбачає використання нових методів, прийомів, засобів навчання, які допоможуть розв'язувати низку методичних завдань з усіх розділів фізики; застосування й упровадження в освітній процес з фізики важливих і цікавих наукових досягнень, а також посилення тих аспектів, які стимулюють та активізують самостійну пізнавальну діяльність.

Отже, для формування переконливих уявлень про фізику, потрібно створити й відпрацювати відповідну методику навчання фізики, яка покращить рівень знань та вмінь і стимулюватиме до активної пізнавально-пошукової та самостійної роботи студентів під час вивчення фізики в умовах розвитку STEM-навчання.

На основі визначених фундаментальних наскрізних генеруючих понять (таблиця 4.1), ми розробили систему лабораторних робіт, демонстрацій з

дослідження обтікання повітрям тіл різної форми на основі узагальнення досліджень вчених [3; 6; 8; 11; 30; 45; 58] та власного дослідження [72; 92] (див. таблиця 4.11).

Таблиця 4.11

**Зміст дослідів та лабораторних робіт з використанням фундаментальних генеруючих понять**

№ з/п	Зміст дослідів та лабораторних робіт	Використано фундаментальні наскрізні генеруючі поняття	Джерела інформації
1	2	3	4
1.	Визначення сили лобового опору тіл різної форми.	Симетрія, простір, система координат, енергія, закони збереження, швидкість, час.	[6; 110; 130; 157; 172]
2.	Дослідження підйомної сили крила літального апарата.	Простір, час, симетрія, енергія, імпульс, швидкість, матеріальна точка, поле тяжіння.	[58; 120; 130; 133; 157]
3.	Вимірювання довжини світлової хвилі.	Система координат, простір, структура речовини, енергія, швидкість.	[108; 149]
4.	Вивчення закону збереження імпульсу.	Простір, час, симетрія, енергія, закони збереження, система координат, швидкість.	[12; 33; 39; 45; 46; 68; 99; 134]
5.	Дослідження коливального руху.	Простір, час, енергія, закон збереження енергії, матеріальна точка, симетрія, швидкість, поле тяжіння.	[64; 112; 135; 136; 174]
6.	Статика твердого тіла.	Простір, час, енергія, закон збереження енергії, матеріальна точка, симетрія, поле тяжіння.	[103; 114; 135; 163; 164]
7.	Динаміка механічної системи.	Простір, час, енергія, закон збереження енергії, матеріальна точка.	[14; 110; 156; 172]
8.	Види рівноваги.	симетрія, швидкість, поле тяжіння. Простір, час, енергія, закон збереження енергії, матеріальна точка, симетрія, поле тяжіння.	[53; 144]
9.	Процедура визначення маси літака.	Простір, час, енергія, закон збереження енергії, матеріальна точка, симетрія.	[119; 133; 135; 157]

У другому розділі доведено, що для розвитку STEM-навчання та мотивації студентів до науково-дослідної діяльності під час засвоєння природничо-наукових дисциплін викладачам потрібно використовувати науково-педагогічні напрацювання дослідників, з-поміж яких Н. Гончарова [37], Н. Морел [188], Н. Морзе [113], Е. Петерс-Бартон та

С. Лінч [191], С. Кальний [54], О. Патрикеева [131; 132], М. Ростока [139], І. Сліпухіна [154; 155], О. Стрижак [159], І. Чернецький [171], М. Харрісон [183], у частині використання експериментального методу засвоєння знань.

Проблему розвитку фізичного експерименту викладено в працях В. Вовкотруба [31], Л. Калапуші [52], Б. Миргородського [111], В. Нижника [118], Д. Костюкевича [61], С. Величка [24; 25; 99], Є. Клоса [64], І. Ковальова [56; 57], В. Савченка [144], М. Садового [145; 147], О. Бугайова [16], С. Гончаренка [34], М. Молоткова [112], В. Шарко [173], М. Шахмаєва [174] та ін., що забезпечило розвиток теорії й практики демонстраційного експерименту.

Важливість фізичного експерименту в освітньому процесі в умовах розвитку STEM-освіти в технічних ЗВО впливає також з того, що під час психологічного розвитку студентів висхідною є їхня практична діяльність.

У системі навчального фізичного експерименту особливе місце належить лабораторним роботам, які забезпечують практичну підготовку студентів технічних ЗВО до діяльності в процесі навчання фізики як фундаментальної науки.

Основна мета виконання лабораторних робіт – ознайомлення студентів з експериментальним методом дослідження фізичних явищ, формування розуміння принципів вимірювання фізичних величин, оволодіння способами й технікою вимірювань, а також методами аналізу похибок.

Можливість навчального експерименту в сукупності із STEM-технологіями та матеріальною комплектацією фізичного кабінету є необмеженою, тому розв'язання проблеми модернізації сучасних фізичних кабінетів відповідно до тенденцій розвитку STEM-освіти є актуальним. З огляду на це важливими є сформульовані нами пропозиції щодо вдосконалення матеріального забезпечення фізичного експерименту:

– забезпечення універсальності використання фізичного STEM-обладнання в технічних ЗВО;

– забезпечення виконання завдань з експерименту без додаткового налаштування, юстування та ін.;

– розширення варіативності робіт фізичного практикуму через забезпечення відповідності сучасним вимогам STEM-освіти, що підвищить у студентів мотиваційний аспект, практичну спрямованість та інтеграцію змісту навчального матеріалу;

– забезпечення читабельності експериментальних установок, що уможлиблюється впровадженням лабораторних полів і полігонів;

– залучення до лабораторних навчальних установок сучасних вимірювальних приладів, цифрових комплектів, ППЗ та засобів навчання нового покоління;

– дотримання співвідношення та гармонії перерізів приладів, їхніх геометричних розмірів і форм. Середовище і навколишні предмети мають позитивно впливати на психологічний стан студентів з фізики.

Роботи фізичного практикуму [12; 70] апробовані в технічних ЗВО та заплановані в робочих навчальних програмах для професійного спрямування «Аварійне обслуговування та безпека на авіаційному транспорті», «Обслуговування повітряного руху» й «Організаційне забезпечення та управління авіаційним транспортом».

Для прикладу розглянемо роботу фізичного практикуму на тему: **«Вивчення закону збереження імпульсу за допомогою балістичного маятника».**

**Мета роботи** полягає у вивченні закону збереження імпульсу для визначення швидкості польоту кульки за допомогою балістичного маятника.

**Обладнання:** 1) балістичний маятник; 2) металевий пристрій; 3) металева кулька; 4) штатив універсальний; 4) датчик кута повороту; 5) вимірювальний блок «L-мікро»; 6) лінійка.

Короткі теоретичні відомості описано в навчальному посібнику [12].

### Опис лабораторного обладнання

Балістичний маятник являє собою масивне тіло, закріплене таким чином, що воно може здійснювати коливання. Тіло, швидкість якого потрібно виміряти, непружно стикається з маятником, який знаходиться в стані спокою та застрягає в ньому. Після цього маятник відхиляється від положення рівноваги і починає здійснювати коливання.

У бічну поверхню циліндра балістичного маятника (рис. 4.26) (1) масою  $M$  вгвинчена тонка спиця (2). Інший кінець спиці закріплений в муфті (3) датчика кута повороту (4). Датчик кута повороту знаходиться на вертикальній стійці штатива (5). Циліндр (1), забезпечений пластмасовою вставкою (6) для уловлювання кульки, налітає уздовж вісі циліндра.

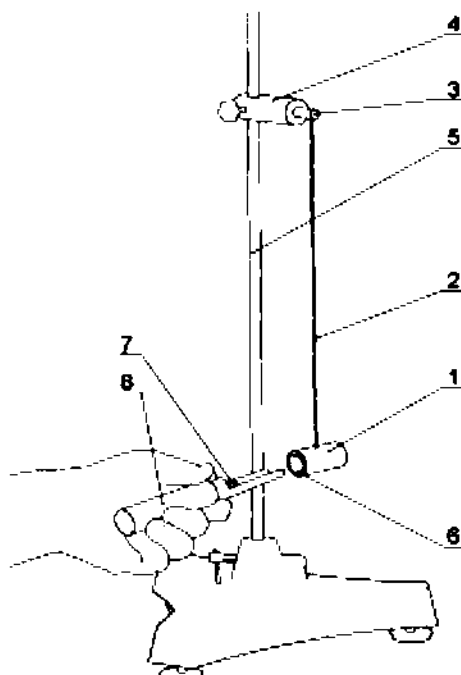


Рис.4.26. Балістичний маятник [12]

Вставка (6) виконана у вигляді конуса з малим кутом так, щоб кулька (7), застрягла в циліндрі приблизно в його центрі мас. Кулька вистрілюється пружинним матеріальним пристроєм (8).

### Хід роботи

1. Збираємо установку як показано на рис. 4.26 вертикальною стійкою (5), у верхній частині якої закріплюємо датчик кута повороту (4) з муфтою (3). Вісь обертання датчика повинна бути горизонтальною. У муфту

вкручуємо до упору довгу спицю (2), на кінці якої кріпимо циліндр балістичного маятника (1). Вісь циліндра повинна розташовуватися в площині коливань маятника. Цей напрямок фіксуємо за допомогою контргайки, яка знаходиться на спиці з боку циліндра.

2. Вимірюємо відстань від вісі циліндра балістичного маятника до вісі обертання датчика кута повороту. Отриману величину записуємо в таблицю 4.13.

3. Підключаємо вимірювальний блок «L-мікро» до гнізда послідовного порту комп'ютера. Після цього під'єднуємо його до мережі (220 В, 50 Гц) та вмикаємо. Роз'єм датчика кута повороту приєднуємо до першого каналу вимірювального блоку (рис. 4.27).

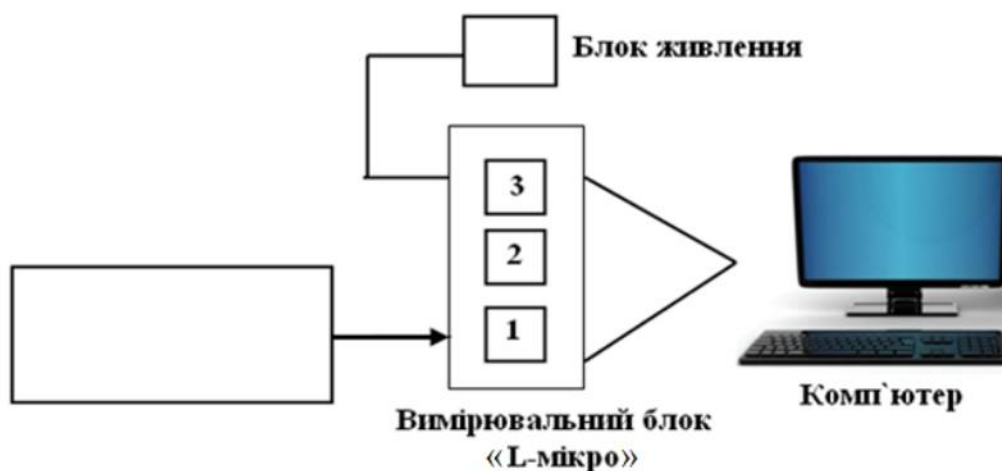


Рис. 4.27. Схема з'єднання лабораторного обладнання [12]

4. Запускаємо програму – phys.exe та вибираємо пункт «Список дослідів». Із цього списку вибираємо лабораторну роботу «Вимірювання швидкості тіла методом балістичного маятника».

5. Вал датчика кута повороту може робити 10 обертів навколо вісі. У даній роботі використовується частина робочого діапазону датчика, що знаходиться на однаковій відстані (приблизно 4 обороти) від кордонів обертання. Для установки маятника в правильне вихідне положення натискаємо екранну кнопку «Налаштування». На екрані з'являться показання датчика в градусах. Якщо вимірювані значення знаходяться в середині діапазону від  $-410^0$  до  $+410^0$ , то, керуючись цими цифрами, встановлюємо

маятник таким чином, щоб при відхиленні його від положення рівноваги на  $90^\circ$  вимірюваний кут не виходив за вказані межі. Одночасно перевіряємо правильність установки пастки.

Відхилення маятника після застрявання в ньому кульки повинно приводити до зростання значення кута на екрані. Після виконання цих дій встановлюємо маятник в положення рівноваги і натискаємо кнопку «Далі». Це призведе до того, що відлік кутів у програмі буде проводитися від цього значення. (Воно буде прийнято за нульове положення датчика.) Цифровий індикатор значення кута відхилення на екрані покаже нульове значення.

6. Натискаємо на екранну кнопку «Проведення вимірювань».

7. Заряджаємо металевий пристрій. Втоптуємо шток, що штовхає кульку, всередину циліндричної частини корпусу. При цьому стискаємо пружину, яка знаходиться всередині корпусу. Після цього вкладаємо кульку в жолоб так, щоб вона торкнулася кінця штока.

8. Натискаємо кнопку «Пуск» в нижній частині екрана. Заряджений металевий пристрій розташовуємо впритул до циліндра балістичного маятника і робимо постріл (натискаємо кнопку на корпусі металевого пристрою).

9. Забираємо металевий пристрій, щоб маятник міг безперешкодно рухатися після повернення в стан рівноваги. Звертаємо увагу на те, що вісь симетрії металевого пристрою, яка визначає напрямок швидкості руху кульки, по-перше, повинна бути горизонтальною і, по-друге, перебувати в площині коливань балістичного маятника. Тільки при дотриманні зазначених умов удар буде прямим і центральним, тобто будуть справедливі співвідношення, використані вище при виведенні розрахункової формули.

10. Натискаємо кнопку «Стоп» після здійснення маятником декількох коливань.

11. Після припинення запису даних на екрані комп'ютера з'являється графік залежності кута відхилення від часу. Визначаємо кут максимального відхилення. Для цього, користуючись мишею, переміщуємо курсор

(вертикальну риску на екрані) до потрібної точки графіка і записуємо числове значення кута, яке висвічується у верхній правій частині екрана.

12. Експеримент і попередню обробку даних, які описані в пп. 5 – 10, повтворюємо 5 разів і заповнюємо таблицю 4.12.

13. Розраховуємо середнє значення кута відхилення ( $\alpha_{cp}$ ) і на підставі розрахункової формули визначаємо швидкість польоту кульки (таблиця 4.12). Необхідні для розрахунку значення маси маятника і кульки наведено в таблиці 4.13. Вимірюємо довжину підвісу маятника. Робимо висновок про те, чи достатньо малі втрати енергії при русі маятника.

Таблиця 4.12

#### Експериментальні дані кута відхилення маятника

	$a$ , град.	$a'$ , град.
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

Позначення, прийняті в таблиці 4.12:  $\alpha$  – кут, що відповідає першому відхиленню маятника;  $\alpha'$  – кут, другого відхилення маятника.

Таблиця 4.13

#### Визначення швидкості польоту кульки

$M$ , кг	$m$ , кг	$l$ , м	$\alpha_{\text{ср}}$	$v$ , м/с	$\Delta v$ , м/с
0,034	0,016				

Позначення, прийняті в таблиці 4.13:  $M$  – маса балістичного маятника (циліндра);  $m$  – маса кульки;  $l$  – відстань від вісі циліндра до вісі датчика обертання;  $\alpha_{cp}$  – середнє значення кута відхилення;  $v$  – швидкість польоту кульки;  $\Delta v$  – похибка визначення швидкості.

14. Оцінюємо похибку визначення швидкості кульки.

#### Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняття імпульсу тіла та імпульсу механічної системи?

2. Дайте визначення поняття замкненої та консервативної системи?



3. Дайте визначення поняття внутрішніх і зовнішніх сил?
4. Сформулюйте закон збереження імпульсу.
5. Які ще закони збереження в механіці Ви знаєте? Сформулюйте їх.
6. Що таке удар? Які типи ударів існують?
7. Чому в лабораторній роботі використовується непружний удар?
8. У чому відмінності і подібності абсолютно пружного і абсолютно непружного ударів?
9. Опишіть експериментальну установку.

Доцільність використання STEM-технологій слід розглянути під час виконання студентами робіт фізичного практикуму з розділів механіки та молекулярної фізики [12].

На підставі зазначеного, вважаємо, що методику навчання фізики в умовах розвитку STEM-освіти потрібно узгоджувати з використанням STEM-обладнання, технічними засобами навчання, представляти в ній сучасний рівень наукових досягнень з фізики, особливо прикладного характеру, урахувати індивідуальні особливості студентів для покращення знань, умінь та навичок під час виконання різного рівня складності завдань з фізики в технічних ЗВО і належним чином розв'язувати завдання формування й розвитку особистості кожного студента.

### **Висновки до четвертого розділу**

У розділі *окреслено* категорію поняття, що є результатом чуттєвого віддзеркалення узагальнень частини навколишнього середовища або галузі техніки, який виражається словесно або в інший спосіб через думку. У всій системі понять *виокремлено 10* фундаментальних генеруючих понять, які є наскрізними: симетрія, система координат, матеріальна точка, швидкість, час, простір, закон збереження енергії, енергія, поля, структура речовини.

*Визначено* систему STEM-елементів наукового, інженерного, технологічного, математичного спрямування, яку віддзеркалено в сформованих мотиваційному, емоційно-рефлексивному, когнітивно-

операційному, орієнтаційно-контрольному та психофізіологічному компонентах. На основі визначених 233 показників *проаналізовано* курс фізики (6 розділів) та професійно зорієнтованих дисциплін технічних ЗВО (13 розділів) і *визначено* їх відповідність вимогам STEM з оцінкою коефіцієнта інтегративності за кожним складником: наука, технологія, інженерія, математика.

В умовах реформування фізичної освіти *визначено* технологію самостійного здобування знань студентами, розвитку в них творчих здібностей у процесі навчання фізики в технічних ЗВО засобами STEM-освіти, що сприяє створенню системи навчальних завдань, розгляд яких ґрунтується на фундаментальних наскрізних генеруючих поняттях. Розв'язуванню таких задач на практичних заняттях та в процесі самостійного навчання в технічних ЗВО сприяють засоби STEM-освіти.

*Розроблено й упроваджено* в практику технічних ЗВО експериментальні, дослідницькі роботи на основі технологій STEM-освіти, які представлено в апробованих посібниках з фізики.

*Установлено*, що підвищення якості навчання фізики в майбутніх фахівців технічного профілю залежить від систематичного вдосконалення методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі інноваційних методів навчання, до яких належать сучасні STEM-технології, що значно підвищує продуктивність розумової й практичної діяльності студентів у процесі опрацювання навчального матеріалу в технічних ЗВО.

Основні положення четвертого розділу дисертації викладено автором у публікаціях [12; 13; 70; 71; 72–79; 80; 81; 82–86; 87; 88; 89; 90–96; 97; 117; 182].

#### **Список використаних джерел до четвертого розділу**

1. Аэродинамика самолёта. Под ред. Г. Н. Котельникова. Москва : Воениздат, 1974. 297 с.
2. Альбін К. В. Методика викладання фізики. Київ : Вища школа, 1970. 300 с.

3. Атаманчук П. С., Семерня О. М. Методичні основи управління навчанням фізики: монографія. Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський державний університет, інформаційно-видавничий відділ, 2005. 196 с.

4. Атаманчук П. С., Семерня О. М., Поведа Т. П. Дидактичне забезпечення семінарських занять з курсу «Методика навчання фізики» (загальні питання): навчально-методичний посібник. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2010. 384 с.

5. Атаманчук П. С., Сергєєв О. В., Волошина А. К. Історико-методичний аналіз розвитку методики розв'язування фізичних задач. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педуніверситету. Дидактика природничо-математичних дисциплін та освітніх технологій: Серія фізико-математична*. Кам'янець-Подільський, 1998. Вип. 4. С. 11–16.

6. Аэромеханика самолета: Динамика полета: Учебник для авиационных вузов / А. Ф. Бочкарев, В. В. Андреевский, В. М. Белоконов и др. ; под ред. А. Ф. Бочкарева и В. В. Андреевского. 2-е изд. перераб. и доп. Москва : Машиностроение, 1985. 360 с.

7. Алякринский Б. С. Основы авиационной психологии. Москва : Воздушный транспорт, 1985. 315 с.

8. Бахман Ф. Построение геометрии на основе понятия симметрии / под ред. И. М. Яглома (перевод с нем. Р. И. Пименова). Москва : Наука, 1969. 379 с.

9. Берестецкий В. Б., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Теоретическая физика. 4-е изд., исправленное. Москва : Физматлит, 2002. Т. IV. Квантовая электродинамика. 720 с.

10. Бете Г., Моррисон Ф. Элементарная теория ядра. Москва : ИЛ., 1958. 374 с.

11. Боднер В. А. Теория автоматического управления полетом. Москва : Наука, 1964. 698 с.

12. Борота В. Г., Кузьменко О. С., Остапчук С. А. Механика и молекулярная физика. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-микро» для курсантов академии всех специальностей. 2-е изд., перераб. и доп. Кировоград : КЛА НАУ, 2012. 100 с.

13. Борота В. Г., Кузьменко О. С. Фізика. Методичні вказівки по виконанню розрахунково-графічної роботи з фізики (робота № 1). Кіровоград : КЛА НАУ, 2014. 48 с.

14. Боровий М. О., Лисов В. І., Козаченко В. В., Цареградська Т. Л., Овсієнко І. В., Жабітенко О. М. Фізичний практикум: Навчальний посібник. Ч. І. Механіка, молекулярна фізика, електрика та магнетизм. Київ, 2012. 289 с.

15. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики. 7-е изд., стер. СПб. : Лань, 2004. 672 с.

16. Бугаев А. И. Методика преподавания физики. Теоретические основы Москва : Просвещение, 1981. 288 с.

17. Бурак В. І. Генералізація електромагнетизму в загальноосвітніх закладах. *Наукові записки. Серія : Педагогічні науки*. Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2004. Вип. 55. С. 26–32.

18. Будний Б. Є. Теоретичні основи формування в учнів системи фундаментальних фізичних понять: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук: 13.00.02 / Б. Є. Будний. Київ, 1997. 51 с.

19. Бутенин Н. В. Введение в аналитическую механику. Москва : Наука, 1971. 264 с.

20. Бушок Г. Ф. Дидактичні основи викладання фізики в педвузах. Київ : Вища шк., 1978. 231 с.

21. Вартофский М. Эвристическая роль метафизики в науке. Структура и развитие науки. Из Бостонских исследований по философии науки. Сб. переводов. Москва : Прогресс, 1978. 486 с.

22. Вахштайн В. В. Салоны и клубы. Междисциплинарность как идеология академического мира [Электронный ресурс]. *Всероссийская конференция Междисциплинарность в современном социально-гуманитарном знании*, (Ростов-на-Дону, 22-23 июня 2016 г.). URL: [http://msgi.sfedu.ru/conference2016\\_ru](http://msgi.sfedu.ru/conference2016_ru) (дата обращения: 11.07.2017).

23. Вейль Г. К. Х. Классические группы. Их инварианты и представления [пер. с англ. Д.А. Райков]. Изд. 3-е, стер. Москва : URSS; КомКнига, 2007. 406 с.

24. Величко С. П., Костенко Л. Д. Вивчення основ квантової фізики : навчальний посібник. Кіровоград, 2002. 274 с.

25. Величко С. П., Вовкотруб В. П. Педагогічні принципи та ергономічні вимоги до шкільного фізичного експерименту: монографія. Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2007. 128 с.

26. Веракіс А. І., Завалевський Ю. І., Левківський К. М. Основи психології : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів. Харків–Київ : Р. И.Ф., 2005. 416 с.

27. Винберг Э. Б. Симметрия многочленов. Москва : Издательство Московского центра непрерывного математического образования, 2001. 24 с.

28. Вигнер Е. Этюды о симметрии [пер. с англ. Ю.А. Данилов]. Москва : МИР, 1971. 318 с.

29. Вигнер Э. И. Инвариантность и законы сохранения. Этюды о симметрии. Москва : Едиториал УРСС, 2002. С. 17–18.

30. Вовкотруб В. П. Ергономіка навчального експерименту. Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2005. 308 с.

31. Вовкотруб В. П., Садовий М. І., Подопрігора Н. В., Трифонова О. М. Вибрані задачі з фізики та варіанти їх розв'язків: [навч. пос. для студ. ф.-м. фак. вищ. пед. навч. закл. та учнів загальноосв. шк.]. Кіровоград : Ексклюзив-Систем, 2011. 175 с.

32. Ганиев Р. М. Групповая симметрия в множестве мировоззренческих высказываний. Владикавказ: Северо-Осетинский гос. ун-т им. К. Л. Хетагурова, 2001. 108 с.
33. Гельфер Я. М. Законы сохранения. Москва : Наука, 1967. 264 с.
34. Гончаренко С. У. Методика як наука. Київ–Хмельницький : ХГПК, 2000. 30 с.
35. Гончаренко С. У. [та ін.]. Розв'язування навчальних задач з фізики : питання теорії і методики. Київ : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2004. 185 с.
36. Гончаренко С. У. Фізика. Основні закони і формули. Київ : Либідь, 1993. 44 с.
37. Гончарова Н. О., Патрикеева О. О. Впровадження STEM-освіти в навчальних закладах (за результатами опитування науково-педагогічних працівників ОППО). *Наукові записки Малої академії наук України : зб. наук. праць*. Київ, 2016. Вип.8. С. 215–223.
38. Гончаренко С. У., Фролова Т. М. Багаторівневе структурування і методичні особливості його застосування в навчанні фізики. *Педагогіка і психологія*. 1996. № 2. С. 41–51.
39. Горбачук І. Т. Загальна фізика: Лабораторний практикум : Навч. посібник. Київ : Вища школа, 1992. 509 с.
40. Готт В. С. Философские вопросы современной физики : учеб. пособие для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. Москва : Высшая школа, 1988. 343 с.
41. Готт В. С. Симметрия и асимметрия. Москва : Знание, 1965. 31 с.
42. Грин Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории [пер. с : англ.]. Москва : URSS; КомКнига, 2007. 286 с.
43. Дмитриев И. С. Симметрия в мире молекул. Ленинград : Химия, 1976. 128 с.
44. Делокаров К. Х. Философия и современная физика (Анализ методических принципов). Москва : Знание, 1975. 63 с.

45. Дущенко В. П. та ін. Фізичний практикум. Київ : Радянська школа, 1980. Ч.1. 144 с.
46. Зайцев Г. Ф., Костюк В. И., Чинаев П. И. Основы автоматического управления и регулирования. Киев : Техніка, 1975. 496 с.
47. Закон України «Про Вищу освіту» [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1556-18> (дата звернення: 09.06.2018).
48. Іваненко О. Ф., Махнай В. П., Богатирьов О. І. Експериментальні та якісні задачі з фізики: [посібник для вчителів]. Київ : Рад. шк., 1987. 144 с.
49. Илларионов С. В., Мамчур Е. А. Принципы симметрии в физике элементарных частиц. Философские проблемы физики элементарных частиц (тридцать лет спустя) / Отв. ред. Ю. Б. Молчанов. Москва : РАН, 1994. 217 с.
50. Іщенко С. О., Трюхан О. М., Жила В. Г. Аерогідрогазодинаміка (лабораторний практикум): навчальний посібник. Київ : НАУ. 2013, 159 с.
51. Элиот Дж., Добер П. Симметрия в физике. Соч. в 2-х т. Москва : Мир, 1983. Т. 1. 364 с.
52. Калапуша Л. Р., Мартинюк О. С., Мірошніченко І. Г. Навчальний фізичний експеримент у системі сучасних педагогічних технологій: навч. посібник. Луцьк : Вежа Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2002. 204 с.
53. Каленков С. Г., Соломаха Г. И. Практикум по физике. Механика. Москва : Высш. школа, 1990. 112 с.
54. Кальной С. Концептуальна модель організації корпоративної бази знань як засобу інформаційної підтримки STEM-освіти. *Наукові записки Малої академії наук України : зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 10. С. 68–75.
55. Касьяненко А. Б, Андрущенко Н. А., Кулешов В. И., Чмовж В. В. Методика определения коэффициента донного сопротивления при выполнении экспериментальных исследований в аэродинамической трубе «Т-6» ХАИ. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. 2014. Вип. 3. С. 40–44.

56. Ковалев И. З. Учение о симметрии в курсе физики средней школы : автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. пед. наук: 13.00.02 / И. З. Ковалев. Киев, 1976. 24 с.

57. Ковальов І. З. Застосування принципу симетрії при розв'язуванні задач з фізики [методичні рекомендації]. Кіровоград : Кабінет фізики обласного інституту удосконалення вчителів, 1973. 63 с.

58. Кокунина Л. Х. Основы аэродинамики. Москва : Транспорт, 1982. 197 с.

59. Компанеец А. С. Симметрия в микро- и макромире. Москва : Наука, 1978. 207 с.

60. Коршак Є. В., Гончаренко С. У., Коршак Н. М. Методика розв'язування задач з фізики. Практикум. Київ : Вища школа, 1976. 240 с.

61. Костюкевич Д. Я. Роль шкільного фізичного експерименту в нових підручниках з фізики. Інтегративний підхід. *Проблеми сучасного підручника: зб. наук. праць*. Київ : Пед. думка, 2010. Вип. 1(10). С. 309–312.

62. Котик М. А. Курс инженерной психологии. 2-е изд., испр. и доп. Таллин : Валгус, 1978. 364 с.

63. Клейнер Г. Б. О границах междисциплинарности в современном социально-гуманитарном знании [Электронный ресурс]. Материалы научного семинара, (Ростов-на-Дону, 16 декабря 2015 г.). URL: <http://msgi.sfedu.ru/events>. (дата обращения: 11.02.2016).

64. Клос Є. С., Печений М. В., Савчин Л. С. Лабораторний практикум з фізики [текст] : навч. посібник. Львів : Львівський ун-т, 1973. 166 с.

65. Кравчук О. М. Геометричні перетворення. Ортогональні перетворення: методичні рекомендації до вивчення вибіркової навчальної дисципліни «Геометричні перетворення». Луцьк, 2018. Ч. I. 73 с.

66. Крымов Б. Г. Исполнительные устройства систем управления летательными аппаратами. Москва : Машиностроение, 1987. 264 с.

67. Кудрявцев П. С. Курс истории физики. Москва : Просвещение, 1974. Т. I (глава VI). С. 148.



68. Кудрявцев П. С. Открытие закона сохранения и превращения энергии. Курс истории физики. 2-е изд., испр. и доп. Москва : Просвещение, 1982. 448 с.

69. Кузнецов Б. Г. Принципы классической физики. М. : АН СССР, 1958. 321 с.

70. Кузьменко О. С., Садовий М. І., Вовкотруб В. П. Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Кіровоград : КЛА НАУ, 2015. 204 с.

71. Кузьменко О. С., Величко С. П. Розвиток навчального експерименту на основі сучасного обладнання з фізики. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти: зб. наук. праць*. Кіровоград, 2013. Вип. 4. Ч. 1. С. 159–165.

72. Кузьменко О. С. Сучасні підходи до постановки фізичних експериментів для студентів нефізичних спеціальностей. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2013. № 6 (32). С. 351–359.

73. Кузьменко О. С. Використання інтерферометрів при виконанні фізичного експерименту. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: зб. наук. праць*. Кривий Ріг, 2013. Вип. X. Т. 2. С. 124–129.

74. Кузьменко О. С. Поняття симетрії та асиметрії у процесі навчання фізики у вищих навчальних закладах. *Збірник наукових праць. Педагогічні науки*. Херсон, 2014. Вип. 66. С. 336–340.

75. Кузьменко О. С. Вивчення симетрії елементарних частинок. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти: зб. наук. праць*. Кіровоград, 2015. Вип. 7. Ч. 1. С. 132–135.

76. Кузьменко О. С. Використання нового обладнання у фізичному експерименті з оптики. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка : зб. наук. праць*. Чернігів, 2012. Вип. 99. С. 353–356.

77. Кузьменко О. С. Вивчення симетрії фізичних законів студентами вищих навчальних закладів авіаційного профілю. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка* : зб. наук. праць. Чернігів, 2015. Вип. 127. С. 86–89.

78. Кузьменко О. С. Вивчення поняття симетрії в процесі навчання фізики твердого тіла. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Педагогічні науки*: зб. наук. пр. Бердянськ, 2015. Вип. 3. С. 145–151.

79. Кузьменко О. С. Вивчення гіроскопів як симетричних тіл у процесі навчання фізики студентами вищих навчальних закладів авіаційного профілю. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кіровоград, 2015. Вип. 8. Ч. 1. С. 152–154.

80. Кузьменко О. С., Борота В. Г. Методика вивчення положень навчання про симетрію в загальному курсі фізики для студентів нефізичних спеціальностей у вищих навчальних закладах. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка*. Чернігів, 2016. Вип. 138. С. 80–84.

81. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Трансляція як елемент симетрії у процесі навчання фізики в технічних вузах в умовах розвитку STEM-освіти. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кропивницький, 2016. Вип. 10. Ч. 2. С. 65–68.

82. Кузьменко О. С. Деякі аспекти запровадження STEM-освіти при вивченні симетрії у процесі навчання фізики в технічних вузах [Електронний ресурс]. *Теорія і методика професійної освіти (електронне наукове фахове видання)*. Серія: педагогічні науки, 2016. Вип. №10 (2). URL: [ivetscienceto.wixsite.com/tmpto/kopiya-11-2016](http://ivetscienceto.wixsite.com/tmpto/kopiya-11-2016) (дата звернення: 04.04.2016).

83. Кузьменко О. С. Формування фундаментальних фізичних понять в студентів вищих навчальних закладів сучасними засобами навчання. *Science and Education a New Dimension. Pedagogy and Psychology*. Budapest, 2014. II (16), Issue: 33 p. 53–56.

84. Кузьменко О. С. Вивчення симетрії слабких взаємодій у процесі вивчення фізики студентами вищих навчальних закладів. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*, 2014. Вип. 20. С. 31–34.

85. Кузьменко О. С. Фізичні задачі як ефективний засіб стимулювання активності та самостійності студентів у процесі вивчення поняття симетрії. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2015. Вип. 21. С. 110–113.

86. Кузьменко О. С. Вивчення симетрії у процесі навчання з квантової механіки у вищих навчальних закладах. *Фізико-математична освіта. Науковий журнал*. 2015. Випуск № 2(5). С. 23–28.

87. Кузьменко О. С., Борота В. Г. Вивчення студентами динамічних симетрій у процесі навчання загального курсу фізики у вищих навчальних закладах. *Педагогічні науки : теорія, історія, інноваційні технології : наук. журнал*. Суми, 2015. № 7 (51). С. 102–109.

88. Кузьменко О. С. Методичні особливості вивчення поняття симетрії у процесі вивчення загального курсу фізики в вищих навчальних закладах авіаційного профілю в умовах розвитку STEM-освіти. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2016. Вип. 22. С. 89–91.

89. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Вивчення фундаментальних фізичних понять із використанням властивостей симетрії на основі фізичного та комп'ютерного моделювання в вищих навчальних закладах технічного профілю. *Scientific journal Innovation solutions in modern science*, Dubai, 2016. №5(5). P. 62–73.

90. Кузьменко О. С. Формування професійної компетентності студентів вищих навчальних закладів з позиції акмеологічного підходу. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені*

Івана Огієнка. Серія педагогічна. Кам'янець-Подільський, 2013. Вип. 19. С. 93–96.

91. Кузьменко О. С. Використання сучасних технологій під час проведення фізичного практикуму з оптики. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія №5. Педагогічні науки: реалії та перспективи: зб. наук. праць*. Київ, 2012. Вип. 33. С. 102–109.

92. Кузьменко О. С. Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти : монографія. Кропивницький : КОД, 2018. 624 с.

93. Кузьменко О. С. Використання поняття симетрії для формування наукового світогляду студентів у процесі навчання фізики в умовах розвитку STEM-освіти. *Науковий вісник Львівської академії. Серія : Педагогічні науки : зб. наук. пр.* Кропивницький : КЛА НАУ, 2017. Вип. 2. С. 173–179.

94. Кузьменко О. С. Формування фізичних компетентностей студентів у процесі навчання фізики у вищих навчальних закладах. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія №5. Педагогічні науки: реалії та перспективи*. Київ, 2016. Вип. 53: С. 109–113.

95. Кузьменко О. С. Использование симметрии при решении задач по физике. *Физическое образование: проблемы и перспективы развития: материалы XIII Междунар. науч.-метод. конф., 3–6 марта 2014 г.* Москва: МПГУ, 2014. Ч. 2. С. 135–137.

96. Кузьменко О. С. Использование современного оборудования при изучении физики в высшем учебном заведении. *Современный физический практикум : материалы XIII Междунар. учеб.-метод. конф. 23–25 сентября 2014 г.* Новосибирск: Издательский дом МФО, 2014. С. 150.

97. Кузьменко О. С., Шульгін В. А. Використання поняття симетрії в розрахункових схемах і навантаженнях через трансдисциплінарний підхід в контексті розвитку STEM-освіти. *Актуальні аспекти розвитку STEM-освіти*

у навчанні природничо-наукових дисциплін : матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф. 16–17 травня 2018 р. Кропивницький: Льотна академія НАУ, 2018. С. 86–89.

98. Кучерук І. М., Горбачук І. Т., Луцик П. П. Загальний курс фізики. Навч. посіб. для студ. вищ. тех. і пед. закладів освіти [за ред. Кучерука І. М.]. Київ : Техніка, 1999. Том 1: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. 536 с.; Том 2: Електрика і магнетизм. 452 с.; Том 3: Оптика. Квантова фізика. 520 с.

99. Лабораторний практикум з фізики : Методичні рекомендації для студентів кібернетико-технічного коледжу / за ред. С. П. Величка, Л. Д. Костенко, І. В. Сальник. Кіровоград, 1998. 34 с.

100. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика. Издание 4-е, исправленное. Москва : Наука, 1988. 215 с.

101. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. Москва, 1986. С. 24–25.

102. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. Издание 7-е, исправленное. Москва : Наука, 1988. С. 45–49.

103. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. [учебн. пособ. для вузов], в 10 т. Т.4: Квантовая электродинамика. 4-е изд., исправл. Москва : Физматлит, 2001. 720 с.

104. Ламб М. Гидродинамика. Москва, Ленинград: Гос. изд. технико-теоретической литературы, 1947. 928 с.

105. Ломоносов М. В. Избранные произведения в 2-х томах. Москва : Наука, 1986. Т.1. Естественные науки и философия. Москва : Наука, 1986. 382 с.; Т.2. История. Филология. Поэзия. Москва : Наука, 1986. 497 с.

106. Макаров Р. Н., Неделько С. Н., Бамбуркин А. П., Григореецкий В. А. Авиационная педагогика: [Учебник]. Москва–Кіровоград : МНАПЧАК, ГЛАУ, 2005. 433 с.

107. Междисциплинарность в современном социально-гуманитарном знании (Ростов-на-Дону, 22–23 июня 2016 г.). *Междисциплинарные*

*социально-гуманитарные исследования Южного федерального университета* [Электронный ресурс]. URL: [http://msgi.sfedu.ru/conference2016\\_ru](http://msgi.sfedu.ru/conference2016_ru) (дата обращения: 17.03.2017).

108. Методика і техніка експерименту з оптики: [посіб. для студ. фіз. спец. вищ. пед. навч. закл. та вчителів фізики] / Садовий М. І. [та ін.]. Луцьк : Гадяк Жанна Володимірівна, 2011. 290 с.

109. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Фізика» для студентів напрямів підготовки «Комп'ютерні науки», «Видавничо-поліграфічна справа» денної форми навчання / Укл. О. О. Бондаренко, А. Г. Баткрак, В. Ю. Вдовьонков, О. М. Гоксо, Є. А. Жидко. Харків : Вид. ХНЕУ, 2008. 212 с.

110. Механіка. Лабораторний практикум : навч. посіб. для студ. природничих спец. ун-тів. Київ : Четверта хвиля, 2015. 268 с.

111. Миргородський Б. Ю., Шабаль В. К. Демонстраційний експеримент з фізики. Молекулярна фізика. Посібник для вчителів. Київ : Радянська школа, 1982. 141 с.

112. Молотков Н. Я. Изучение колебаний на основе современного эксперимента: пособие для учителей. Київ : Рад. школа, 1988. 160 с.

113. Морзе Н. В., Варченко-Троценко Л. О., Гладун М. А. Основи робототехніки: навчальний посібник. Кам'янець-Подільський : ПП Буйницький О. А., 2016. 184 с.

114. Мултановский В. В. Курс теоретической физики. Москва : Просвещение, 1988. 304 с.

115. Мурач М. М. Геометричні перетворення і симетрія. Київ : Радянська школа, 1987. 178 с.

116. Мурнаган Д. Френсис. Теория представлений групп. [перевод с англ. А. М. Яглома]. Москва : Иностранной литературы, 1950. 485 с.

117. Неділько С. М., Кузьменко О. С. *Актуальність розвитку STEM-освіти в світі. STEM-освіта – проблеми та перспективи*: матеріали

І Міжнар. наук.-практ. семінару, 28–29 жовтня 2016 р. Кропивницький: КЛА НАУ, 2016. С. 34–35.

118. Нижник В. Г., Нижник О. Г. Вимірювання фізичних величин. Київ : Рад. шк., 1987. 121 с.

119. Никитин Г. А., Баканов Е. А. Основы авиации. Москва : Транспорт, 1984. 263 с.

120. Николаев Л. Ф. Аэродинамика и динамика полета транспортных самолетов : учеб. для вузов. Москва : Транспорт, 1990. 392 с.

121. Нишиджима К. Фундаментальные частицы. Москва : Мир, 1965. 462 с.

122. Окунь Л. Б. Лептоны и кварки. Изд 3-е, стереотипное. Москва : Едиториал УРСС, 2005. 352 с.

123. Осадчук Л. А. Методика преподавания физики. Киев : Вища школа, 1984. 352 с.

124. Освітньо-професійна програма «Прикладна фізика» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», галузь знань 10 «Природничі науки», освітня кваліфікація: бакалавр з прикладної фізики та наноматеріалів. Київ : НАУ, 2018. 16 с.

125. Освітньо-професійна програма «Двигуни та енергетичні установки літальних апаратів» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування», галузь знань 14 «Електрична інженерія», освітня кваліфікація: бакалавр з прикладної фізики та наноматеріалів. Київ : НАУ. 2018. 3 с.

126. Освітньо-професійна програма «Обладнання повітряних суден», за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», галузь знань 13 Механічна інженерія, освітня кваліфікація: бакалавр з авіаційної та ракетно-космічної техніки. Київ : НАУ. 2018. 19 с.

127. Освітня програма «Фізика», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика

та астрономія». Київ : Києво-Могилянська академія. URL: <https://www.ukma.edu.ua/ects/index.php/2011-11-13-16-43-44/147-2018-06-13-06-44-45/bpfizika/237-2018-11-01-08-34-57>. (дата звернення: 14.06.2017)

128. Основы методики преподавания физики / под ред А. В. Перышкина, В. Г. Разумовского и В. А. Фабриканта. Москва : Просвещение, 1983. 398 с.

129. Павленко А. І., Баштовий В. І. Історичне становлення та особливості сучасного етапу розвитку методики розв'язування і складання навчальних фізичних задач. *Методичні особливості викладання фізики на сучасному етапі*. Кіровоград, 1996. Ч. II. С. 112–113.

130. Павлов В. А., Понирко С. А. Стабилизация летательных аппаратов и автопилоты : учеб. пособие. Москва : Высшая школа, 1964. 483 с.

131. Патрикеева О. О., Лозова О. В., Горбенко С. Л. Новітні підходи щодо впровадження STEM-освіти в навчальних закладах України. *Наукові записки Малої академії наук України : зб. наук. праць*. Київ, 2016. Вип. 8. С. 260–267.

132. Патрикеева О. О., Гончарова Н. О. Зміст і завдання STEM-освіти. *STEM-освіта – проблеми та перспективи* : матеріали I Міжнар. наук.-прак. семінару 28–29 жовтня 2016 р. Кропивницький: КЛА НАУ, 2016. С. 70–73.

133. Пышнов В. С. Основные этапы развития самолёта. Москва : Машиностроение, 1984. 96 с.

134. Петров А. В. Законы сохранения в ОТО и их приложения. Конспект лекций [Электронный ресурс]. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1170672>. (дата обращения: 11.05.2017).

135. Практикум по общей физики. Под ред. В. Ф. Ноздрева. Москва : Просвещение, 1971. 311 с.

136. Пуле А., Матье Ж.-П. Колебательные спектры и симметрия кристаллов. Москва : Мир, 1973. 435 с.

137. Робоча програма з дисципліни «Фізика» для курсантів за напрямком підготовки 6.07102 «Аеронавігація», професійного спрямування



«Обслуговування повітряного руху» / укладач : В. В. Фоменко. Кіровоград : КЛА НАУ, 2013. 22 с.

138. Розв'язування задач з фізики. Практикум. за заг. ред. Є. В. Коршака. Київ : Вища школа, 1986. 132 с.

139. Ростока М. STEM-підхід у контексті формування інтелектуального потенціалу України. *Наукові записки Малої академії наук України. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Київ, 2017. Вип. 10. С. 60–67.

140. Савельєв И. В. Курс общей физики. Механика. Глава 3. Работа и энергия. 4-е изд. Москва : Наука, 1970. С. 89–99.

141. Савельєв И. В. Курс общей физики. Механика. Глава 9. Колебательное движение. 4-е изд. Москва : Наука, 1970. С. 228–229.

142. Савельєв И. В. Курс общей физики. Механика. Глава 9. Колебательное движение. 4-е изд. Москва : Наука, 1970. С. 234–235.

143. Савченко І., Савченко Я. STEM-освіта як ключовий фактор формування креативної особистості юного дослідника. *Наукові записки Малої академії наук України. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Київ, 2017. Вип. 10. С. 47–59.

144. Савченко В. Ф., Бойко М. П., Дідович М. М., Заколюжний В. М., Руденко М. П. Навчальний фізичний експеримент (методичний практикум) : навч. посіб. для студ. / заг. ред. В. Ф. Савченка. Ніжин : Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, 2011. 540 с.

145. Садовий М. І. Окремі питання сучасної та традиційної фізики: Навч. посіб. для студ. пед. навч. закл. освіти. Кіровоград : ПП Каліч О. Г., 2007. 138 с.

146. Садовий М. І., Кондратьєва Л. І., Гавриленко О. А. Нариси з еволюції основних фізичних ідей XIX-XX ст. Навч.-метод. посіб. для викладачів педагогічних ВУЗів та майбутніх учителів / за ред. М. І. Садового. Кіровоград : Ексклюзив-Систем, 2008. 337 с.

147. Садовий М. І., Вовкотруб В. П., Трифонова О. М. Вибрані питання загальної методики навчання фізики : навч. посіб. для студ. ф.-м. фак. вищ. пед. навч. закл. Кіровоград : Авангард, 2013. 252 с.

148. Садовий М. І., Трифонова О. М. Історія фізики з перших етапів становлення до початку ХХІ століття : навч. посіб. для студ. фіз.-мат. ф-тів вищ. пед. навч. закл. 2-ге вид., переробл., допов. Кіровоград : Авангард, 2013. 436 с.

149. Сергієнко В. П., Садовий М. І. Методика і техніка експерименту з оптики : навч. посіб. Луцьк : Волиньполіграф, 2011. 292 с.

150. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Москва : Наука, 1979. Т. I. Механика. 520 с.

151. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Москва : Наука, 1979. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. С. 37–41.

152. Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках: монография / Г. Л. Бир, Г. Е. Пикус. Москва : Наука, 1972. 584 с.

153. Сліпухіна І. А. Теоретико-методичні засади формування технологічної компетентності майбутніх інженерів з використанням комп'ютерно орієнтованої системи фізичного експерименту : дис. д.пед.н. : 13.00.02 / І. А. Сліпухіна. Київ, 2015. 472 с.

154. Сліпухіна І. А., Точиліна Т. М. Трансформація фундаментальних дисциплін в умовах стандартизації вищої технічної освіти [Електронний ресурс]. *Педагогічні науки: зб. наук. праць*. Херсон : ХДУ. 2014. Вип. 66. С. 392–397. URL: [http://www.ps.stateuniversity.ks.ua/file/issue\\_66/71.pdf](http://www.ps.stateuniversity.ks.ua/file/issue_66/71.pdf) (дата звернення: 16.03.2016).

155. Сліпухіна І. А., Мелешко М. А., Чернецький І. С., Кубай Ю. В. Особливості технології створення інтерактивного електронного документа для супроводу лабораторного практикуму з фізики [Електронний ресурс]. *Інформаційні технології і засоби навчання*. [Електронне наукове фахове видання]. Київ, 2014. Т. 39. № 1. С. 264–274. URL:

<https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1006/740#.U3SzdMVybwo>.

(дата звернення: 25.04.2018).

156. Сліпченко Н. В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Гідрогазодинаміка» для студентів денної та заочної форм навчання за напрямом 6.050601 «Теплоенергетика». Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2013р. 44с.

157. Степанковський Ю. В. Дослідження динаміки літака. Лабораторний практикум. Київ : КПІ, 2011. 101 с.

158. 100 великих научных открытий / Д. К. Самин. Москва : Вече, 2002. 480 с.

159. Стрижак О., Сліпучіна І., Поліхун Н., Чернецький І. Ключові поняття STEM-освіти. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 10. С. 89–103.

160. Сусь Б. Сучасний погляд на традиційні проблемні питання фізики: науково-методичне видання в мультимедійному предстваленні. Київ : Просвіта, 2013. 130 с.

161. STEM-освіта. Інститут модернізації змісту освіти [Електронний ресурс] / Інститут модернізації змісту освіти. URL: <http://www.imzo.gov.ua/stem-osvita/> (дата звернення: 21.01.2017).

162. Тамм И. Е. Теорема Пойнтинга. Поток энергии. Основы теории электричества. 10-е изд., испр. Москва : Наука. гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 504 с.

163. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. 5-е изд., стереотипное. Москва : Наука. гл. ред. физ.-мат. лит., 1967. 478 с.

164. Теоретична механіка (для факультетів радіофізичного профілю) : підручник для вищих навчальних закладів / С. М. Шульга, О. В. Багацька, О. Ю. Бутрим, М. М. Колчигін, О. О. Третьяков. Харків : Ранок, 2007. 208 с.

165. Трофімов Ю. Л., Рибалка В. В., Гончарук П. А. та ін. Психологія : підручник. 4-те вид., стереотип. Київ : Либідь, 2003. 560 с.

166. Узоры симметрии / под ред. М. Сенешаль и Дж. Флека (перевод с английского Ю. А. Данилова под ред. акад. Н. В. Белова и проф. Н. Н. Шефталя). Москва : Мир, 1980. 269 с.

167. Урманцев Ю. А. Симметрия природы и природа симметрии. Москва : Мысль, 1974. 229 с.

168. Фейнман Р. Ф. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 1 Современная наука о природе. Законы механики. Москва : Едиториал УРСС, 2004. 440 с.

169. Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. Москва : Наука, 1969. 455 с.

170. Хайкін С. С. Фізичні основи механіки. Київ : Радянська школа, 1966. 736 с.

171. Чернецький І., Поліхун Н., Сліпухіна І. Місце STEM-технології навчання в освітній парадигмі XXI століття. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 9. С. 50–62.

172. Чернов К. И. Основы технической механики. Москва : Машиностроение, 1986. 256 с.

173. Шарко В. Д. Методологічні засади сучасного уроку: Посібник для студентів, керівників шкіл, вчителів, працівників післядипломної освіти. Херсон : ХНТУ, 2009. 120 с.

174. Шахмаев Н. М. Демонстрационные опыты по разделу «Колебания и волны»: Пособие для учителей. Москва : Просвещение, 1974. 128 с.

175. Широков Ю. М., Юдин Н. П. Ядерная физика. Москва : Наука, 1972. 670 с.

176. Шубников А. В., Копчик В. А. Симметрия в науке и искусстве. Москва : Наука, 1972. 339 с.

177. Шут М. І., Сергієнко В. П. Науково-дослідна робота з фізики в середніх і вищих навчальних закладах: навч. посіб. Київ : Шкільний світ, 2004. 128 с.

178. Шут М. І., Возний П. О. Фізика. Методичні поради та контрольні роботи. Навчально-методичний посібник. Київ : НПУ, 2003. 101 с.

179. Яворский Б. М., Детлаф А. А., Лебедев А. К. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. 8-е изд. Москва : Оникс, Мир и образование, 2006. 952 с.

180. Ярош В. С. Единая симметрия микро- и макрокосмоса. Прогноз фундаментальных изменений в науке о физическом пространстве. Москва : Лев, 2001. 35 с.

181. Agostini M. Test of Electric Charge Conservation with Borexino [Electronic resource]. *Physical Review Letters*. 2015. 115 (23), 231802. URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.115.231802/> (last access: 03.04.2016).

182. Dembitska S. V., **Kuz'menko O. S. (Kuzmenko O. S.)** Organization of the self-employed work of students of technical universities at the study of physics. *Virtus: Scientific Journal* / Editor-in-chief M.A. Zhurba – March #22, 2018. Part 1. Canada. P. 94–98.

183. Harrison M. Supporting the T and the E in STEM: 2004-2010. *Design and Technology Education: An International Journal*, 2011. 16(1). PP. 17–25.

184. Hermann von Helmholtz. Über die Erhaltung der Kraft. Berlin: Druck und Verlag von G. Reimer, 1847. 72 p.

185. Erich Jantsch. Vers l'interdisciplinarite et la transdisciplinarite dans l'enseignement et l'innovation, in Léo Apostel et al. 1972.

186. 1st World Congress of Transdisciplinarity. Preamble. Convento da Arrábida [Electronic resource]. 1994. Portugal. URL:<http://perso.club-internet.fr/nicol/ciret/english/charten.htm/> (last access: 21.06.2015).

187. Mohapatra R. N. Possible Nonconservation of Electric Charge [Electronic resource]. *Physical Review Letters*. 1987. Letters 59(14). PP. 1510 – 1512. URL:<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.59.1510/> (last access: 10.04.2016).

188. Morel N. J. Setting the Stage for Collaboration: An Essential Skill for Professional Growth. *Delta Kappa Gamma Bulletin*. 2014. 81 (1). PP. 36–39.

189. Norman E. B., Bahcall J. N, Goldhaber M. Improved limit on charge conservation derived from  $^{71}\text{Ga}$  solar neutrino experiments [Electronic resource]. *Physical Review*. 1996. V. 53. Issue 7. PP. 4086–4088. URL:<https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.53.4086/> (last access: 10.11.2015).

190. Okun L. B. Comments on Testing Charge Conservation and Pauli Exclusion Principle. *Comments on Nuclear and Particle Physics*, 1989. 19 (3) PP. 99–116.

191. Peters-Burton E. E., Lynch S. J., Behrend T. S. & Means B. B. Inclusive STEM high school desing: 10 critical components. *Theory Into Practice*, 2014. 53(1). PP. 67–71.

192. Sadi Carnot. Reflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a developper cette puissance. 1824. 102 p.

193. Sadi Carnot. Reflexions sur la puissance motrice du feu, et sur les machines propres a developper cette puissance. Paris: Gauthier-Villars, Imprimeur-Libraire, 1878. 102 p.

194. STEM 2026. A Vision for Innovation in STEM Education [Electronic resource]. URL: [https://innovation.ed.gov/files/2016/09/AIRSTEM2026\\_Report\\_2016.pdf](https://innovation.ed.gov/files/2016/09/AIRSTEM2026_Report_2016.pdf) (last access: 14.08.2017).

195. The Concise Oxford Dictionary. United Kingdom: Oxford University Press, 2011. 1696 p.

196. Thomas Young. A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts: in two volumes. London: Joseph Johnson, 1807. T. Vol. 1. 796 p.

197. Thomas Young. A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts: in two volumes. London: Joseph Johnson, 1807. T. Vol. 2. 738 p.

198. Feynman R. The character of physical Law. London, 1965. 149 p.

## РОЗДІЛ 5

### УПРОВАДЖЕННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ НА ОСНОВІ STEM-ТЕХНОЛОГІЙ

#### **5.1. Організація педагогічного експерименту з перевірки ефективності методики навчання фізики на основі STEM-технологій**

Проблема якості науково-педагогічних досліджень – одна з кардинальних методологічних проблем педагогічної науки. У сучасних умовах вона набуває першорядного значення. Це пояснюється тим, що на сьогодні у вітчизняній педагогічній науці склалася низка суперечностей. З одного боку, формальні показники засвідчують поступальний розвиток наукового знання, а з іншого – діє зовсім інша тенденція. Із загальним підвищенням середнього рівня освіченості відчутно знижується культура наукового мислення й рівень компетентності майбутніх фахівців технічних галузей [45, с. 10]. Окрім того, інтелектуалізація знань та технологій мотивує молодь до оволодіння знаннями, більш актуальними для майбутньої діяльності фахівців, що потребує посилення розвитку науково-педагогічних досліджень з розв'язання визначених суперечностей шляхом удосконалення методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, ефективність якої визначається педагогічним експериментом.

Педагогічний експеримент є науково поставленим дослідом, у якому педагог-дослідник активно й цілеспрямовано втручається в процес навчання та виховання. «Суть експерименту полягає в тому, що він ставить виучувані явища в певні умови, створює планомірно організовані ситуації, виявляє факти, на основі яких встановлюється залежність між експериментальними впливами та їх об'єктивними результатами» [4, с. 30–38]. Він передбачає активний вплив на досліджувану методику навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін завдяки створенню нових умов навчання, що відповідають поставленій меті наукової розвідки. За таких умов створюють

та впроваджують нову методику й засоби навчання майбутніх фахівців технічної галузі.

Для виявлення ефективності розробленої теорії й методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін (у частині використання основ фізики) з упровадженням технологій STEM-освіти в технічних ЗВО проведено педагогічний експеримент, що здійснювався впродовж 2012–2018 рр.

Педагогічний експеримент охоплює в три етапи:

– *перший етап* (2012–2014 рр.) – констатувальний експеримент. Проаналізовано нормативне забезпечення технічних ЗВО посібниками і підручниками з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін (у частині використання основ фізики), науково-методичну літературу, дисертації; вивчено стан упровадження STEM-технологій освіти в навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін; рівень знань, умінь, навичок та їх практичного застосування в навчальній діяльності; відвідано заняття, проведено бесіди з науково-педагогічними працівниками щодо стану вивчення фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі STEM-технологій; розроблено та апробовано анкети, тести, завдання для контрольних робіт; визначено тенденції розвитку методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, методики упровадження STEM-технологій, досліджено стан матеріального забезпечення лабораторій фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, з'ясовано рівень компетентності майбутніх фахівців технічної галузі, зокрема авіаційної; опрацьовано нормативно-правову базу, що стосується розвитку STEM-освіти [13; 14; 15; 16; 38; 39; 42] та наукових публікацій [7; 8; 9; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 40; 41; 46; 48]. Організовано конференції, семінари та STEM-фестивалі провідними інституціями України та ЗВО (див. <https://www.facebook.com/groups/1026882964067345/>), на яких обговорено результати впровадження в практику вмінь і навичок студентів технічних ЗВО.



Для виконання завдань констатувального експерименту, зокрема для визначення рівня відповідності освітнього процесу з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін (у частині використання основ фізики) потребам фізичної освіти в контексті розвитку STEM-освіти, досліджено реальний сучасний стан розвитку методики навчання фізики. Для кількісної оцінки рівня сформованості показників уведено коефіцієнт сформованості  $R_{\text{сф}}$ , за яким визначають відношення кількості показників позитивної сформованості до загальної кількості показників кожного компонента та рівня  $R_{\text{сф}} = \frac{K_{\text{сф}}}{K_{\text{заг}}}$  у відсотках чи відносних величинах.

У дослідженні використано методику статистичної обробки, запропоновану П. Воловиком [5], М. Грабар та К. Краснянською [11]. Статистичну перевірку здійснено з використанням *критерію Стьюдента*. Об'єм вибірки обчислено за законом достатньо великих чисел [5]:  $n = \frac{t^2 pq}{\epsilon^2}$ , де  $n$  – об'єм вибірки,  $t$  – коефіцієнт Стьюдента,  $p$  – ймовірність правильних відповідей,  $q$  – ймовірність неправильних відповідей,  $\epsilon$  – гранична похибка. За граничної похибки  $\epsilon = 0,05$ , ймовірність  $P_1 = 0,95$ , коефіцієнт Стьюдента  $t = 1,96$ . Розрахунок засвідчує, що для одержання статистично значущих і достовірних результатів за умови  $p = q = 0,5$  потрібно не менше 384 відповідей. До констатувального експерименту залучено 345 студентів з таких ЗВО: Національного авіаційного університету, Вінницького національного технічного університету, Льотної академії Національного авіаційного університету, Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького.

Результати констатувального експерименту за кожним компонентом подано в таблицях, додатку В. 2, де визначено відносні коефіцієнти сформованості зацікавленості студентів фізикою за визначеними показниками на основі впровадження технологій STEM-освіти.

На цьому етапі експерименту проведено діагностування студентів щодо визначення показників мотиваційного, емоційно-рефлексивного, когнітивно-оперативного, орієнтаційно-контрольного, психофізіологічного компонентів для з'ясування їхнього рівня підготовки та зацікавленості у вивченні фізики на основі технологій STEM-освіти.

Для цього етапу експерименту розроблено 233 показники, на основі яких визначено коефіцієнти сформованості знань студентів з фізики засобами технологій STEM-освіти. Виявлені показники дали змогу сформувати компоненти: 36 становили мотиваційну компоненту (8 – початковий рівень, 10 – середній, 12 – достатній, 6 – високий); 88 представляють когнітивно-операційну компоненту (21 – початковий рівень, 26 – середній, 28 – достатній, 13 – високий); 36 – орієнтаційно-контрольну компоненту (8 – початковий рівень, 10 – середній, 12 – достатній, 6 – високий); 35 – емоційно-рефлексивну компоненту (7 – початковий рівень, 10 – середній, 12 – достатній, 6 – високий); 38 – психофізіологічну компоненту (8 – початковий рівень, 10 – середній, 14 – достатній, 6 – високий).

*Мотиваційна компонента* містить показники за 4 рівнями. За результатами контрольних зрізів, анкетування, співбесід, тестування ми визначили STEM-компетентність студентів за показниками мотиваційної компоненти, (див. таблиця 5.1).

Загальна кількість відповідей за 8 показниками початкового рівня мотиваційної компоненти 345 студентів, що брали участь в експерименті, становила 2760 елементів ( $345 \times 8 = 2760$ ). Показники визначено завдяки запропонованим анкетам, тестуванню, контрольним зрізам, співбесідам (див. додаток В). Експериментальні зрізи засвідчили, що позитивна сформованість компетентності студентів технічних ЗВО в навчанні фізики на основі використання STEM-технологій для початкового рівня виявилася 35,2%; коефіцієнт сформованості середнього рівня компетентності студентів мотиваційної компоненти – 27,8%, на достатньому рівні – 30,8%, на високому рівні – 16,7%; загальний рівень компетентності студентів, що

формується засобами STEM-освіти за показниками мотиваційної компоненти, – 28,6%. У таблиці 5.1 представлено коефіцієнти сформованості студентів з мотиваційної компоненти за кожним показником. За кожним рівнем вони мають розбіжність від загального коефіцієнта: початковий рівень  $\Delta R_{\text{сф}}$  = від -12,6 до +19,6; середній рівень  $\Delta R_{\text{сф}}$  = від -9,6 до +14,5; достатній рівень  $\Delta R_{\text{сф}}$  = від -16,4 до +26; високий рівень  $\Delta R_{\text{сф}}$  = від -9,4 до +19. Така розбіжність засвідчує значні потенційні можливості мотиваційної компоненти у формуванні компетентного фахівця технічної галузі.

Таблиця 5.1.

**Результати констатувального експерименту за мотиваційним компонентом (345 студентів)**

№ з/п	Показники за мотиваційним компонентом (36 показників)	$R_{\text{сф}}$ (%)	К-ть правильних відповідей
1	2	3	4
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ (8 показників)</b>			
1.	Зацікавленість студентів у ґрунтовних знаннях:		
1.1	будови літака;	34,8	120
1.2	призначення пристроїв управління літаком;	32,3	114
1.3	закономірностей форми кожного пристрою.	27,9	92
2.	Знання наукового, інженерного, технічного та математичного складників STEM-освіти для розв'язання фізичних задач фахівців технічної галузі.	22,6	78
3.	Розкриття зв'язків між явищами природи, технікою і STEM-освітою.	37,2	128
4.	Уміння майбутніх фахівців технічних ЗВО створювати проблемні ситуації в навчанні фізики.	29,5	102
5.	Уміння охопити суть змісту задач, завдань, що спонукає до пошуку способів розв'язування завдань.	42,7	147
6.	Спонукальна зацікавленість у навчанні з використанням комп'ютерів та ІКТ.	54,8	189
<b>Усього за початковим рівнем</b>		<b>35,2</b>	<b>970</b>
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ (10 показників)</b>			
7.	Уміння використовувати методи наукового дослідження з використанням віртуальних моделей.	22,8	78
8.	Роль STEM-технологій у досягненні навчальної мети на заняттях з фізики.	27,6	95
9.	Практичне досягнення ефективності формування практичних умінь і навичок з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	18,2	63
10.	Показники визначення динаміки рівня розвитку творчих здібностей у засвоєнні фундаментальних понять з фізики.	23,8	82

## Продовження табл. 5.1

1	2	3	4
11.	Зацікавленість у позитивній динаміці глибини і міцності засвоєння знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	36,8	127
12.	Уміння аналізувати реальні технічні ситуації майбутнього фахівця.	28,4	98
13.	Прагнення до ознайомлення із сучасними досягненнями науки й техніки.	38,1	131
14.	Місце експериментальних задач у STEM-освіті.	19,5	62
15.	Місце STEM-технологій у розв'язуванні практичних задач у технічних ЗВО.	22,6	78
16.	Уміння визначати призначення блоків літаків.	42,3	146
<b>Усього за середнім рівнем</b>		<b>27,8</b>	<b>960</b>
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ (12 показників)</b>			
17.	Розкриття ролі поняття симетрії та вияву її властивостей у фаховій підготовці.	29,4	101
18.	Розвиток зацікавленості в умінні ставити й розв'язувати технічні задачі майбутнім фахівцем технічної галузі.	37,8	130
19.	Діагностика вмінь формулювати й робити висновки з аналізу блок-схеми на прикладі літака.	22,8	79
20.	Бажання використовувати знання законів фізики в оволодінні майбутньою професією авіаційної галузі.	46,5	160
21.	Самооцінювання знань про принципи роботи сучасних технічних пристроїв авіаційного профілю діяльності.	32,5	112
22.	Зацікавленість у формуванні вмінь складати схему орієнтаційної основи дій у навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	14,4	50
23.	Уміння визначати рівень розвитку інтересу до вивчення фундаментальних наскрізних понять з фізики.	26,3	91
24.	Знання закономірностей створення ситуації впевненості у власних здібностях і силах з оволодіння фундаментальними поняттями з фізики.	18,6	64
25.	Постійне забезпечення актуалізації чуттєвого досвіду і виявлення опорних знань з фізики під час аналізу будови літака.	42,2	146
26.	Бажання самоурізноманітнення процесу навчання фізики.	24,7	85
27.	Уміння самостійно здобувати новітні знання з фаху.	17,4	60
28.	Знання форм і методів повідомлення нових знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	56,8	196
<b>Усього за достатнім рівнем</b>		<b>30,8</b>	<b>1274</b>
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ (6 показників)</b>			
29.	Уміння розробляти проекти комп'ютерного віртуального моделювання фізичних та технічних явищ авіаційної галузі.	8,9	30
30.	Досконале володіння STEM-технологіями.	7,3	25
31.	Уміння використання в навчанні фізики:		
31.1	3D-принтерів;	11,4	39

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4
31.2	цифрових лабораторій;	12,2	42
31.3	роботів.	35,7	123
32.	Уміння створювати віртуальні моделі демонстрування фізичних законів у роботі авіаційних пристроїв літаків.	10,3	36
33.	Визначення знань фізики в приладах та пристроях: висотомір, радіолокація, авіоніка, двигуни, датчики, атмосферний тиск).	14,8	51
<b>Усього за високим рівнем</b>		<b>16,7</b>	<b>346</b>
<b>Разом</b>		<b>28,6</b>	<b>3550</b>

Спостерігається недостатня сформованість у студентів практичних умінь і навичок під час виконання лабораторних завдань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі технологій STEM-освіти (18,2 %), низький рівень розв'язування експериментальних задач на основі STEM-освіти (19,5 %). На високому рівні в мотиваційній компоненті перебувають уміння з'ясувати призначення блоків літаків, що розкриває взаємозв'язки фізики та професійно зорієнтованих дисциплін у контексті STEM-освіти (42,3 %).

У когнітивно-операційній компоненті (додаток В.2, таблиця В.2.1) загальний рівень сформованості компетентності студентів за показниками з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі STEM- технологій – 34,41%. Початковий рівень є найвищим – 41,1%, середній – 40,13%, достатній – 35,2%, високий – 10,5%. Аналіз результатів анкетування засвідчив, що знання конкретних фізичних понять, явищ, фізичних процесів перебувають на низькому рівні (теорема Пойтінга – 2,8 %; закон збереження для тензора енергії-імпульсу системи – 6,3 %; рівняння Шредінгера – 6,4 %; центр аеродинамічного тиску та фокус – 9,3 %; квантовий гармонічний осцилятор – 22,4 %; взаємозв'язок класичної та квантової фізики – 17,3 % та ін.).

Орієнтаційно-контрольна компонента (додаток В.2, таблиця В.2.2) сформованості компетентності студентів на початковому рівні – 31,01%. Студенти мають первинне розуміння сутності STEM-засобів навчання на рівні коефіцієнта сформованості – 22,7%, на високому рівні виявлено

використання фундаментальних понять з фізики для аналізу технічних ситуацій – 46, 2%, уміння визначати роль контрольних функцій фахівця авіаційної галузі з використання засобів STEM-освіти – 47,3%. Нижчим за початковий виявився середній рівень сформованості компетентності – 29,2%. Достатній рівень становив 35,1%, високий – 6,67%. У процесі аналізу результатів з'ясовано низький рівень застосування методів наукового STEM-дослідження до аналізу технічних ситуацій в освітньому процесі технічного ЗВО – 4,4%; виявлення суперечностей розвитку фізичних явищ у літальних апаратах – 5,6%; уміння аналізувати навчальні проблеми з позиції STEM-освіти перебувають на рівні 6,4%.

Емоційно-рефлексивна компонента (додаток В.2, таблиця В.2.3) згідно з розробленими завданнями на початковому рівні є найвищою – 47,86%. Цей показник розкриває високе початкове бажання студентів до саморозвитку та здатності знаходити професійно й особистісно значущу інформацію для задоволення пізнавальних інтересів. Уміння студентів визначати переваги і недоліки своєї власної компетентності в професійній галузі – 36,2 %; вияв активності в навчанні фундаментальних понять з фізики – 36,3%; сформованість у студентів рефлексивної позиції в оцінюванні власної інноваційної діяльності в контексті STEM-освіти – 42,4 %; освоєння STEM інновацій та стану розвитку інтересу до планування самостійної навчальної діяльності – 26,4 %.

Психофізіологічна компонента (додаток В.2, таблиця В.2.4) засвідчує, що початковий рівень психофізіологічної готовності впровадження STEM в освітній процес технічних ЗВО – 47,13%, а саме: мотивація майбутньої діяльності – 67,3%, потреба в компетентності – 53,8%, мати достатній досвід – 45,2%, мати натхнення до упровадження провідних для здійснення професійного навчання когнітивних функцій (мислення, пам'яті, уваги та ін.) – 45,7%.

Показники середнього та достатнього рівня є нижчими від початкового. На рівні 42,4% студенти розуміють роль індивідуальних особливостей,

потрібних для якісного засвоєння знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі STEM-технологій, формування системи психофізіологічних якостей, які забезпечують ефективну працездатність майбутнього фахівця технічної галузі, 38,3%, визначення умов навчальної діяльності для створення процесу дії екстремальних факторів на майбутніх фахівців авіаційної галузі – 30,2% та ін.

Коефіцієнт сформованості компетентності на високому рівні становить 9,03%, на низькому рівні вироблено показник самовизначення ступеня професійної придатності студента до авіатехнічної діяльності – 4,3%.

Під час проведення констатувального експерименту з'ясовано, що за всіма компонентами найвищим є коефіцієнт сформованості компетентності студентів технічних ЗВО на початковому рівні і становить 40,45 %, відповідно середній – 33,70%, достатній – 30,43%, високий – 10,44% (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2

#### Узагальнені результати констатувального експерименту

Показники	Початковий	Середній	Достатній	Високий	Загальний
Когнітивно-операційний	2975 41,1	3600 40,13	3399 35,2	472 10,5	10446 34,41
Орієнтаційно-контрольний	856 31,01	1009 29,2	1453 35,1	138 6,67	3456 27,83
Психофізіологічний	1301 47,13	1149 33,30	1126 23,31	187 9,03	3763 28,70
Емоційно-рефлексивний	1156 47,86	956 27,71	936 22,61	190 9,18	3238 26,82
Мотиваційний	970 35,2	960 27,8	1274 30,8	346 16,7	3550 28,6
Усього	7258 40,45	7674 33,70	8188 30,43	1333 10,44	24453 30,42

Загальний коефіцієнт сформованості компетентності студентів засвідчує, що близько третини студентів має достатню компетентність для виконання професійних завдань, здобутих у процесі навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, – 30,42%: за показниками початкового рівня – 40,45%, середнього – 33,70%, достатнього – 30,43%, високого – 10,44%.

Одержані результати дають підстави зробити висновки про значні недоліки традиційної методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін у формуванні компетентного фахівця технічних ЗВО. На основі аналізу письмових робіт та усних відповідей студентів встановлено, що лише за 38% показниками із 233 студенти використовують елементи STEM-технологій навчання. Згідно з одержаними даними з'ясовано недостатній рівень використання STEM-технологій у навчання фізики в технічних ЗВО.

У процесі проведення діагностики виявлено, що традиційна методика навчання фізики та технічних дисциплін (у частині використання основ фізики) з упровадженням технологій STEM-освіти в технічних ЗВО недостатньою мірою забезпечує формування компетентного фахівця технічної галузі європейського рівня.

Рівень мотивації й інтересу в студентів у навчанні понять фізики на основі використання технологій STEM-освіти мало сприяє стимулюванню їхньої пізнавально-пошукової та самостійної діяльності.

Методика створення проблемних ситуацій під час навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін перебуває на рівні 80-х рр. минулого століття й не враховує ефективності модельного та натурального експериментів із застосуванням елементів STEM-освіти.

Установлено, що традиційні роботи фізичного практикуму мають недостатню ефективність у вивченні фізики у ЗВО, оскільки в них спотерігається великий брак обладнання та низький рівень використання STEM-технологій.

Доступність, послідовність, системність та лаконічність викладу теоретичного матеріалу з фізики слабо зорієнтовано на міждисциплінарні зв'язки та STEM-освіту.

*Другий етап* (2014–2016 рр.) – пошуковий експеримент. На основі результатів констатувального експерименту сформовано теоретичні й методичні засади методики навчання фізики на основі STEM-технологій [32] (п. 3.1); обґрунтовано педагогічні умови методики навчання фізики (п. 1.4);



визначено особливості вивчення фізики на основі технологій STEM-освіти (п. 2.2.); виокремлено основний понятійно-категоріальний апарат STEM-освіти (п. 2.2.); розроблено методику навчання фізики на основі технологій STEM-освіти з виокремленням фундаментального поняття – симетрія (п. 4.1.–4.3.); сформовано основні вимоги до розв’язання фізичних задач з використанням STEM-підходу; підготовлено до друку й видано методичні матеріали для викладачів та студентів [1; 22; 31; 47]; використано ІКТ [26; 32; 33] під час вивчення фізики й установлено ефективність та доцільність запропонованих методичних доробок [2; 37] з фізики в технічних ЗВО з урахування концепції розвитку STEM-освіти.

Здійснено первинну апробацію вдосконаленої методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі STEM-технологій, де відведено важливу роль на розвиток мислення, уяви та активності на заняттях з фізики в умовах упровадження STEM-освіти.

Розроблено систему робіт фізичного практикуму з упровадження елементів STEM-освіти. Науково-методичний пошук спрямовано на розроблення нових дослідів та робіт фізичного практикуму на основі традиційної методики навчання, а так на використання сучасного обладнання та впровадження ІКТ в освітній процес, осучаснення методичних прийомів, підходів, засобів навчання, відповідно до запитів суспільства та STEM-освіти.

Розглянуто методи й форми виконання завдань із сучасним STEM-обладнанням [26; 27; 28; 33], а саме: роботи фізичного практикуму й дослідницьких завдань [22; 47]; розв’язування фізичних задач з використанням наскрізних фундаментальних генеруючих понять, зокрема симетрії [31].

Вивчено шляхи трансформації сучасних STEM-засобів навчання в систему обладнання фізичних лабораторій технічних ЗВО.

*Третій етап* (2016–2018 рр.) – формувальний експеримент, основна мета якого – перевірка ефективності розробленої теорії й методики навчання

фізики та професійно зорієнтованих дисциплін (у частині використання основ фізики) з упровадженням технологій STEM-освіти (див. розділ 4). Визначено контрольні (КГ) та експериментальні (ЕГ) групи студентів; здійснено порівняння розподілів обох груп студентів на початку та в кінці експерименту; підведено підсумки результатів педагогічного експерименту.

Удосконалення методики навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін (у частині використання основ фізики) та умови розвитку STEM-освіти зводилося до потреби не лише у формуванні в студентів фізичної та технічної компетентності через систему знань, умінь і навичок, їх цінностей, а й відповідно в піднесенні ролі самого студента й викладача в процесі вивчення фізики, активізації пізнавально-пошукової, самостійної діяльності; створенні умов для розвитку мислення та творчих здібностей; задоволенні запитів і побажань, нахилів і планів на майбутнє, використання практичних та експериментальних завдань, які матимуть практичне застосування в процесі навчання фізики в технічних ЗВО.

На цьому етапі теоретико-експериментальної роботи застосовано різні методи дослідження: теоретичні (аналіз, порівняння, узагальнення, систематизація), емпіричні (спостереження, тестування, навчальний експеримент). Результати експерименту проаналізовано всебічно. Кількісні дані опрацьовано з урахуванням методів математичної статистики. Формувальним експериментом охоплено 694 студенти (КГ та ЕГ). Результати експерименту наведено в таблицях В.3.1–В.3.5 (додаток В.3).

Для проведення педагогічного експерименту обрано Вінницький національний технічний університет; Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського; Львівську академію Національного авіаційного університету; Національний авіаційний університет; Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького; Національний центр «Мала академія наук України», м. Київ. Відомості про впровадження методики навчання фізики в контексті розвитку STEM-освіти подано в додатку Д.

Експеримент проведено в ЕГ в умовах освітнього процесу із залученням розробленого методичного забезпечення [21; 22; 31; 47] на основі технологій STEM-освіти, в КГ – за традиційною методикою.

У 4 розділі на основі теоретичних та методологічних основ сформовано методика навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на засадах STEM-освіти. Модель розробленої методики ґрунтується на визначених нами блоках: концептуальному, проєктувальному, діагностичному, методологічному; компонентах: мотиваційному, орієнтаційно-контрольовальному, когнітивно-операційному, емоційно-рефлексивному, психофізіологічному. Педагогічні умови навчання на основі STEM-технологій зорієнтовано на особистісні характеристики студента; співвідношення реального фізичного та комп'ютерного експерименту; рівні STEM-технологій навчання; самостійну пізнавальну діяльність, що ґрунтується на поєднанні технічного та природничо-математичного складників STEM-освіти.

Уважаємо, що до STEM-компоненти належать такі показники:

- уміння поставити проблему; сформулювати дослідницьке завдання й визначити шляхи його розв'язання; застосовувати знання в різних ситуаціях;
- розуміння можливості мати декілька позицій щодо розв'язання проблем; потреба в розв'язанні проблеми з урахуванням досягнень науки та науково-технічного прогресу; розвивати навички мислення високого рівня.

Особливістю сформованої методики навчання фізики на засадах STEM-освіти є те, що вона ґрунтується на:

- зростанні рівня самостійної пізнавально-пошукової діяльності студентів;
- створенні новітніх комплектів STEM-обладнання, у якому всі складники узгоджені між собою;
- відповідності ергономічним вимогам, що дозволяють отримати найкращі результати й досягти відповідного рівня освіти;

- усвідомленості ролі особистості в навчанні та вихованні майбутнього фахівця;
- розробленні засобів навчання багатофункційного призначення, спрямованого на реалізацію внутрішньо-предметних і міжпредметних зв'язків;
- інтегративності змісту дисциплін природничо-наукового циклу в контексті розвитку STEM-освіти;
- створенні освітньо-наукового STEM-середовища, яке є ефективним у процесі навчання з відповідним методичним забезпеченням;
- формуванні системи навчального експерименту, що поєднує зміст навчання та STEM-засоби, де експериментування зорієнтовано на сучасну технологічну базу;
- відповідності форм організації навчання сучасним педагогічним, санітарним та ергономічним вимогам;
- окресленості інструментарію педагогічного експерименту, що ґрунтується на спостереженнях та наукових фактах, які в постіндустріальному суспільстві використовуються як інструменти здобуття нових знань;
- осучасненні науки учіння в пізнанні Всесвіту з широким використанням методів математичного, комп'ютерного, теоретичного, уявного моделювання; ці методи ґрунтуються на віддзеркаленні тих чи тих аспектів досліджуваного об'єкта в ідеальній формі; модельність ми розглядаємо як інтегральну якість, оскільки жоден виокремлений з наведених методів (емпіричних або теоретичних) не дає цілісного уявлення про об'єкт;
- пізнаності об'єкта чи певних видокремлених його частин, окрім створення моделі об'єкта (чи його частини), практичного складника, який називається технологією діяльності та педагогічного супроводу реалізації технологій у конкретних методиках освітньої діяльності;
- генералізації та фундаменталізації освітнього процесу навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін технічних ЗВО.

Аналіз підручників та посібників з фізики і професійно зорієнтованих дисциплін технічних ЗВО дозволив виокремити 10 фундаментальних наскрізних генерувальних понять, які виявляються в усіх розділах курсу фізики та професійних дисциплін (див. розділ 4). До таких понять належать симетрія, система координат, матеріальна точка, швидкість, час, простір, закон збереження енергії, енергія, поля, структура речовини. Рівень фундаментальності визначено за оцінним коефіцієнтом від 0 до 10. Водночас ми окреслили відповідність указаних понять вимогам STEM з оцінкою коефіцієнта інтегративності по кожному складнику: наука, технологія, інженерія, математика. На основі визначених показників проаналізовано курс фізики (6 розділів) та професійно зорієнтованих дисциплін технічних ЗВО (13 розділів) – див. розділ 4.

З-поміж викоремлених фундаментальних понять симетрію у фізиці пов'язано з однорідністю й неоднорідністю, ізотропією та анізотропією, збереженням і зміною, рівномірністю й нерівномірністю, спокоєм та рухом, порядком і хаосом та ін., що представлено в науковому складнику STEM-освіти. Ми також детально розглянули загальнонаукові й специфічні властивості простору та часу як невіддільної характеристики руху матерії.

Опрацьовано зміст і методику виконання тестових завдань, розв'язування експериментальних задач, поданих англійською мовою [31], виконання дослідницьких робіт та робіт фізичного практикуму з фізики [1; 2; 22; 47] у технічних ЗВО в контексті розвитку STEM-освіти з урахуванням інтеграційного підходу. Запроваджено в освітній процес методику навчання фізики з урахуванням тенденцій розвитку STEM-освіти, ІКТ, зокрема комплекту «L-мікро», та розроблено методичне забезпечення їх упровадження, апробацію запропонованих методичних рекомендацій з фізики [2; 21; 22; 31; 47], визначено критерії оцінювання їх якості.

Для виявлення ефективності запропонованої методики навчання фізики з використанням STEM-технологій під час виконання практичних і експериментальних завдань [22; 31] у ЕГ і КГ проведено тестування

студентів, виконано дослідницькі роботи та роботи фізичного практикуму [2; 22; 47].

Водночас на другому й третьому етапах педагогічного експерименту узагальнено результати всього педагогічного дослідження: їх регулярно обговорювали на Всеукраїнських та Міжнародних науково-практичних конференціях.

Отже, під час організації педагогічного експерименту з перевірки ефективності теоретичних і методичних засад та методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти ми прагнули:

- створити сприятливі педагогічні умови для перевірки сформованої методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти з урахуванням інтеграційного, міждисциплінарного, системного, компетентнісного та професійно зорієнтованого підходів у технічних ЗВО;

- виявити форми та методи заохочення студентів до вивчення фізики із залученням технологій STEM-освіти, сприяти формуванню самостійної пізнавально-пошукової діяльності з використанням новітніх технологій навчання, а також допомогти використовувати здобуті знання з фізики для вивчення професійно зорієнтованих дисциплін випускових кафедр;

- сприяти розвитку в студентів критичного мислення та формування наукового світогляду їх залученням до дослідницьких робіт.

## **5.2. Результати педагогічного експерименту за вдосконаленої методики навчання фізики на засадах STEM-освіти**

У дослідженнях використано статистичні критерії оцінювання досягнень: параметричні, що передбачають у формулах розрахунків параметри розподілу (середні величини, дисперсії, критерій Стьюдента, F-критерій).

До непараметричних належать критерії, які не представлено у формулах розрахунку параметрів розподілу. Вони ґрунтуються на оперуванні частотами або рангами (критерій Розембаума, Колмогорова-Смірнова).

У параметричних критеріях двох вибірок прямо обчислюється різниця середніх, використовується критерій Стюдента, прямо оцінюються відмінності в дисперсіях – критерій Фішера, під час переходу від однієї до іншої умови виявляються тенденції зміни ознаки за нормального розподілу (однофакторний дисперсійний аналіз), є можливість оцінити два і більше фактори і їхній вплив на зміну ознаки. Експериментальні дані мають відповідати двом або трьом умовам: розподіл ознак є нормальним; ознаки вимірюються за інтервальною шкалою; у дисперсійному аналізі виконується вимога рівності дисперсій в осередках виокремлених груп показників дослідження. У цьому разі непараметричні показники є менш значущими, тому ми обрали статистичну обробку результатів дослідження за параметричними критеріями [5].

У педагогічному експерименті досліджено рівні сформованості компетентності (знання, уміння, навички, цінності, практичне використання) за визначеними компонентами. Виокремлено чотири рівні сформованості відповідних компетентностей: початковий, середній, достатній, високий.

Для забезпечення якості формувального експерименту під час вибору ЗВО, ЕГ і КГ узято до уваги вирівнювання умов, за яких передбачалося нівелювання розбіжності між основними суб'єктами освітнього процесу в таких групах: забезпечення відносно однакового складу студентів у КГ і ЕГ, участь кожного задіяного викладача в експерименті кожного виду групи.

У процесі педагогічного експерименту перевірено якість та ефективність запропонованої методики навчання фізики з використання технологій STEM-освіти на основі порівняння здобутків студентів ЕГ і КГ. У кожній групі, що брала участь в експерименті, проведено контрольні зрізи (анкетування, тестування, співбесіди, контрольні роботи, спостереження), що дало змогу виявити рівень знань, умінь та навичок і порівняти результати навчання за традиційною та експериментальною методикою. Під час відбору питань до контрольних робіт перевагу надано різнорівневим завданням і запитанням. Передбачалося виявити знання й розуміння суті досліджуваних

явищ під час вивчення фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, основних закономірностей їх вияву: уміння пояснити експериментальний факт та обґрунтувати потрібні умови, за яких можливе фізичне явище; вибір методів і способів виявлення основних закономірностей явищ і процесів, можливості їх практичного використання.

Статистичні методи оброблення результатів експерименту дозволяють установити ймовірність тих чи тих подій у процесі експерименту, прогнозувати результати, визначити середні й критичні норми та відхилення.

У таблиці 5.3 наведено результати педагогічного експерименту за когнітивно-операційною компонентою, де  $p_{\text{конст.}}$ ,  $p_{\text{контр.}}$ ,  $p_e$  – кількість правильних відповідей, розв'язків на констатувальному та формуальному (у контрольних та експериментальних групах) етапах педагогічного експерименту;  $R_{\text{сфк.}}$ ,  $R_{\text{фсе}}$ ,  $R_e$  – коефіцієнти рівня сформованості реалізації методичних засад та методичної системи під час виконання завдань у КГ та ЕГ.

Початковий рівень когнітивно-операційного компонента має 21 показник, числове значення в ЕГ переважає контрольні на 15,1–42,5% (див. таблиця 5.3 та додаток В.1). Середній рівень також віддзеркалює підвищення відсоткового рівня коефіцієнта сформованості в ЕГ порівняно з контрольними 13,9–30,4%. Позитивна динаміка спостерігається на достатньому рівні 18,1–42,7%. Удвічі зріс високий рівень ЕГ порівняно з КГ – від 4,1% до 27,1% (див. додаток В.3). Порівняння результатів рівнів сформованості реалізації методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти для орієнтаційно-контрольного компонента представлено в додатку В.3, таблиця В.3.2.

Початковий рівень формування компетентності майбутніх фахівців технічної галузі з реалізацією розробленої нами методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти за мотиваційним компонентом містить 8 показників (див. додаток В.3).



Таблиця 5.3.

**Результати педагогічного експерименту за показниками когнітивно-операційної компоненти**

Результати педагогічного експерименту за когнітивно-операційним компонентом та його показниками									
(усього студентів у КГ – 341, в ЕГ – 353)									
№ з/п	ПОКАЗНИКИ ЗА КОГНІТИВНО-ОПЕРАЦІЙНИМ КОМПОНЕНТОМ	t	p <sub>к</sub>	p <sub>е</sub>	R <sub>сфк</sub> , %	R <sub>сфе</sub> , %	P <sub>рк</sub> , ·10 <sup>-2</sup>	P <sub>ре</sub> , ·10 <sup>-2</sup>	p <sub>ср</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ</b>									
1.	Знання понять:								
1.1.	Імпульс та його властивості.	12,02	114	264	33,4	74,8	2,55	2,31	3,44
1.2.	Теорії класичної фізики.	7,13	144	241	42,3	68,3	2,68	2,48	3,65
1.3.	Властивості повітряного потоку.	7,83	103	206	30,1	58,4	2,48	2,62	3,61
1.4.	Термодинамічні величини (температура, теплота, вільна енергія, робота).	12,38	107	261	31,4	73,9	2,51	2,34	3,43
1.5.	Статистичні закономірності будови речовин.	5,41	128	203	37,4	57,5	2,62	2,63	3,71
1.6.	Хвильові властивості світла (дифракція, інтерференція, поляризація).	7,26	178	274	52,3	77,7	2,70	2,22	3,50
1.7.	Закони класичної механіки.	10,23	169	296	49,6	83,8	2,71	1,96	3,34
2.	Знання понять:								
2.1.	Магнітне поле струму та його властивості.	7,58	134	236	39,2	66,8	2,64	2,51	3,64
2.2.	Закони Ньютона.	7,69	210	304	61,5	86,2	2,64	1,84	3,21
2.3.	Перетворення Галілея.	6,55	155	245	45,4	69,3	2,70	2,45	3,65
2.4.	Перетворення Лоренца.	8,86	62	170	18,3	48,3	2,09	2,66	3,39
2.5.	Закони Фарадея.	6,97	141	236	41,4	66,9	2,67	2,50	3,66
2.6.	Рівняння Максвелла.	5,07	134	206	39,4	58,3	2,65	2,62	3,73
2.7.	Закони відбивання та заломлення світла.	7,54	212	305	62,3	86,4	2,62	1,82	3,20
2.8.	Абсолютно тверде тіло.	4,02	148	207	43,4	58,5	2,68	2,62	3,75

Продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.	Симетрія відносно точки.	8,60	91	202	26,7	57,3	2,40	2,63	3,56
4.	Поворот тіла на певний кут навколо деякої осі.	6,78	73	158	21,3	44,7	2,22	2,65	3,45
5.	Будова та форма кристалів.	5,05	149	220	43,6	62,4	2,69	2,58	3,72
6.	Фундаментальні частинки.	7,43	89	186	26,2	52,7	2,38	2,66	3,57
7.	Знання базової термінології, законів, фактів з фізики.	5,72	166	245	48,6	69,5	2,71	2,45	3,65
8.	Уміння прогнозувати результати навчання з фізики.	7,48	104	203	30,5	57,6	2,49	2,63	3,62
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ</b>									
9.	Засвоєння студентом технологічних знань:								
9.1.	Фундаментальні фізичні теорії.	8,02	114	221	33,5	62,6	2,56	2,58	3,63
9.2.	Сутність інноваційної самостійної навчальної діяльності в оволодінні технологіями.	7,83	92	195	27,1	55,1	2,41	2,65	3,58
9.3.	Методи навчання та методи дослідження і їх співвідношення в процесі учіння.	6,48	86	170	25,3	48,3	2,35	2,66	3,55
10.	Оволодіння професійною компетентністю:	3,89	95	147	27,8	41,7	2,43	2,62	3,57
10.1.	Усвідомлення системи фундаментальних наскрізних понять з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	7,64	65	160	19,2	45,2	2,13	2,65	3,40
10.2.	Науково-дослідна здатність розробляти інноваційні освітні продукти діяльності.	4,58	176	241	51,6	68,4	2,71	2,47	3,67
10.3.	Створення власної технології STEM навчання фундаментальних понять фізики.	9,05	90	207	26,5	58,6	2,39	2,62	3,55
10.4.	Узагальнення інженерно-технічного складника для новітнього тлумачення традиційних понять фізики.	8,73	59	165	17,4	46,7	2,05	2,66	3,36
11.	Визначення $m\chi$ літака для різних умов (завантажений, пустий та ін.).	9,07	99	217	29,1	61,5	2,46	2,59	3,57
12.	Визначення схеми сил, що діють на літак.	3,43	118	167	34,6	47,3	2,58	2,66	3,70

Продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13.	Визначення:								
13.1.	Траєкторії посадки літака.	8,15	144	253	42,3	71,6	2,68	2,40	3,59
13.2.	Повної аеродинамічної сили літака.	5,13	135	207	39,5	58,6	2,65	2,62	3,73
13.3.	Балансування літака в повздовжньому русі.	9,07	145	264	42,6	74,7	2,68	2,31	3,54
13.4.	Визначення сили лобового опору тіл різної форми.	7,99	131	238	38,4	67,4	2,63	2,49	3,63
13.5.	Дослідження підйомної сили крила літака.	8,18	187	291	54,7	82,3	2,70	2,03	3,38
14.	Усвідомлення знань:								
14.1.	Поняття шарнірно рухомої опори.	10,26	109	241	32,1	68,4	2,53	2,47	3,54
14.2.	Кососиметричне та симетричне навантаження.	8,87	76	188	22,3	53,2	2,25	2,66	3,48
14.3.	Симетрія рівняння Бернуллі.	7,10	111	207	32,6	58,5	2,54	2,62	3,65
14.4.	Симетрія однорідного середовища.	6,54	132	222	38,7	62,8	2,64	2,57	3,68
14.5.	Симетрія зображень в оптиці.	5,04	175	246	51,2	69,6	2,71	2,45	3,65
15.	Особливості понять:								
15.1.	Перетворення часу в класичній механіці.	8,74	142	257	41,5	72,7	2,67	2,37	3,57
15.2.	Інваріантність.	7,25	136	234	39,8	66,3	2,65	2,52	3,65
15.3.	Електромагнітне поле та хвиля.	6,38	168	256	49,4	72,4	2,71	2,38	3,60
15.4.	Консервативні сили.	8,11	100	207	29,3	58,5	2,46	2,62	3,60
15.5.	Потенціальна, кінетична, повна енергія.	9,12	147	266	43,1	75,3	2,68	2,30	3,53
16.	Навички самостійного здобуття інформації з підручників та інших джерел.	8,54	183	291	53,7	82,5	2,70	2,02	3,37
17.	Уміння самостійної пізнавальної діяльності за рахунок забезпечення студентів потрібними відомостями, порадами й рекомендаціями щодо роботи з основними	5,67	193	270	56,5	76,4	2,68	2,26	3,51

Продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	видами навчальної інформації.								
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ</b>									
18.	Поняття:								
18.1.	Квантовий гармонічний осцилятор.	9,21	69	183	20,1	51,7	2,17	2,66	3,43
18.2.	Теорема про три сили.	6,08	106	189	31,2	53,4	2,51	2,66	3,65
18.3.	Теорема про зміну кінетичної енергії точки.	4,86	152	222	44,7	62,8	2,69	2,57	3,72
18.4.	Закони збереження руху мас механічної системи.	5,89	182	263	53,4	74,4	2,70	2,32	3,56
18.5.	Властивості гіроскопу з трьома ступенями свободи.	6,75	111	202	32,6	57,3	2,54	2,63	3,66
19.	Володіння знаннями, важливими для ефективного виконання завдань з фізики:								
19.1.	Класичні динамічні змінні.	8,56	104	216	30,4	61,2	2,49	2,59	3,60
19.2.	Квантові динамічні змінні.	9,35	87	207	25,6	58,6	2,36	2,62	3,53
19.3.	Замкнена система, перетворення часу.	6,03	142	225	41,5	63,8	2,67	2,56	3,70
19.4.	Гільбертовий простір.	8,89	81	194	23,7	54,9	2,30	2,65	3,51
19.5.	Векторний та скалярний потенціали.	7,01	111	205	32,5	58,1	2,54	2,63	3,65
19.6.	Рівняння нерозривності, ідеальна рідина.	7,09	142	238	41,6	67,5	2,67	2,49	3,65
20.	Використання STEM для одержання 4-складових інтегративних відомостей про навчальну інформацію з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	9,49	110	234	32,4	66,3	2,53	2,52	3,57
21.	Виокремлення теоретичного й технологічного складників:								
21.1.	Сукупність фундаментальних наскрізних знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	10,33	122	255	35,9	72,3	2,60	2,38	3,52

Продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21.2.	Знання, які є інженерною основою пошукової пізнавальної діяльності майбутнього фахівця.	8,97	108	225	31,6	63,8	2,52	2,56	3,59
21.3.	Теоретичні знання про основні поняття та методи фізики, які є основою технологічної підготовки фахівців авіаційної галузі.	8,39	108	219	31,8	62,1	2,52	2,58	3,61
22.	Виявлення інженерної креативності та системності під час відтворення фундаментальних понять з фізики.	9,84	100	227	29,3	64,2	2,46	2,55	3,55
23.	Прояв оперативності мислення в ситуаціях пошуку та застосування поняття симетрії в технічних ЗВО.	6,34	154	241	45,1	68,3	2,69	2,48	3,66
24.	Володіння загальнотеоретичними вміннями успішно застосовувати STEM підходи в здобутті знань, зорієнтованих на технічну галузь.	9,69	94	218	27,5	61,8	2,42	2,59	3,54
25.	Взаємозв'язок класичної та квантової фізики.	9,76	66	186	19,4	52,7	2,14	2,66	3,41
26.	Уміння прогнозувати навчання фізики на інженерну проєктну діяльність фахівця технічної галузі.	8,72	63	170	18,6	48,2	2,11	2,66	3,39
27.	Розуміння понять:								
27.1.	Наукові фізичні та технічні факти.	9,36	144	266	42,3	75,3	2,68	2,30	3,53
27.2.	Наукові поняття, процеси.	6,80	115	207	33,7	58,6	2,56	2,62	3,66
27.3.	Фізична величина.	9,15	86	203	25,2	57,5	2,35	2,63	3,53
27.4.	Закон, правило, закономірність.	8,07	154	261	45,1	73,9	2,69	2,34	3,57
27.5.	Теорія та її наслідки.	6,37	185	270	54,2	76,6	2,70	2,25	3,52
27.6.	Правило, принцип, постулат.	4,44	131	195	38,5	55,1	2,64	2,65	3,74
27.7.	Гіпотеза.	7,52	101	201	29,7	56,9	2,47	2,64	3,62
27.8.	Модель.	12,50	84	238	24,6	67,3	2,33	2,50	3,42

Продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ</b>									
28.	Володіння методологічними знаннями з обґрунтування фізичних закономірностей.	4,59	25	66	7,2	18,7	1,40	2,08	2,50
29.	Високий рівень здатності до навчання фізики на основі STEM-технологій.	6,55	17	76	5,1	21,4	1,19	2,18	2,49
30.	Знання понять:								
30.1.	Теорема Пойтінга.	5,05	12	50	3,6	14,3	1,01	1,86	2,12
30.2.	Диференціальні рівняння руху центра мас механічної системи.	5,01	22	67	6,5	18,9	1,34	2,08	2,47
30.3.	Особливості польоту в умовах турбулентної атмосфери.	7,38	33	112	9,8	31,6	1,61	2,47	2,95
30.4.	Центрування літака за допомогою баласту та вантажу.	4,02	39	80	11,3	22,6	1,71	2,23	2,81
31.	Знання фундаментальних понять:								
31.1.	Рівняння Шредінгера.	4,03	15	45	4,3	12,7	1,10	1,77	2,09
31.2.	Рівняння Максвелла.	6,25	18	73	5,2	20,6	1,20	2,15	2,47
31.3.	Закон збереження механічної енергії.	6,61	46	121	13,5	34,2	1,85	2,52	3,13
31.4.	Закон збереження для тензора енергії-імпульсу системи.	2,34	13	28	3,7	7,8	1,02	1,43	1,76
31.5.	Центр аеродинамічного тиску та фокус.	4,69	22	63	6,4	17,8	1,33	2,04	2,43
32.	Кваркова будова речовин.	5,53	32	87	9,3	24,7	1,57	2,30	2,78
33.	Симетрія та її властивості.	8,30	51	149	15,1	42,2	1,94	2,63	3,27

Застосування цієї методики навчання фізики на основі STEM-технологій у кількісному вираженні засвідчив, що рівень сформованості за всіма показниками в ЕГ порівняно з КГ зріс від 12% до 35%. Різниця середнього рівня коефіцієнта сформованості за 10 показниками ЕГ і КГ коливається від 12% до 35,4% (див. додаток В.3).

Достатній рівень складається з 12 показників. Різниця в рівнях сформованості ЕГ і КГ коливається від 24 % до 44,9 % (додаток В.3). На високому рівні сформованості відсоток коефіцієнта сформованості становить від 8,2 % до 36,6 % (додаток В.3). На цьому рівні не всі студенти можуть правильно обґрунтувати відповіді та правильно виконати завдання.

Психофізіологічний компонент має такі показники в ЕГ порівняно з КГ: на початковому рівні – 22–34,2 %, на середньому рівні – 23,5–44, %, на достатньому рівні – 18,8–35,3 %, на високому рівні – 13,1–20,9% (див. додаток В.3, таблиця В.3.3).

Узагальнені результати педагогічного експерименту представлено в таблиці 5.4.

Унаслідок упровадження STEM-технологій в освітній процес технічних ЗВО збільшено коефіцієнти сформованості компетентності студентів за показниками початкового рівня з 37,88 % до 63,7 % (див. таблицю 5.4).

На початковому рівні спостерігаються окремі узагальнення, знання репродуктивного відтворення, переважає емпіричний спосіб формування знань.

Узагальнений середній рівень характеризується завершеною повнотою розкриття змісту компонентів, первинним узагальненням, проблемним способом мислення студентів, усвідомленим емпіричним пізнанням змісту фізики та професійно зорієнтованих дисциплін. Показники середнього рівня зросли з 31,87% у КГ до 58,07% у ЕГ.

Достатній рівень демонструє завершену повноту, блокові узагальнення, самостійне здобуття знань, теоретико-емпіричний спосіб мислення,

усвідомлення суті технологій STEM-освіти. Показники достатнього рівня коливаються від 28,17 % до 55,74 %.

Високому рівню властива завершена повнота знань, усвідомлені узагальнені знання, повна самостійність у здобутті знань, переважає дослідницький спосіб мислення. Коефіцієнт сформованості компетентності студентів за показниками високого рівня мають 8,23 % у КГ та 23,90 % у ЕГ. Значення коефіцієнта сформованості зросло на  $\Delta=15,67\%$ , що засвідчує ефективність розробленої методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти (див. таблицю 5.4).

За сукупністю компонентів для початкового, середнього та достатнього рівнів спостерігається стабільність зростання коефіцієнтів сформованості компетентності за окресленими показниками. Загалом вони коливаються від 25,82 % до 27,57 %, що відповідає психолого-педагогічним властивостям сприймання особистістю навчальної інформації: предметність, цілісність, структурність, константність та усвідомлення. Сформована система STEM-елементів і на їх основі показники знань забезпечують оброблення інформації від початку сприймання (спостереження) явищ та процесів. Результати поступового мисленнєвого опрацювання пов'язано з тим, що саме помітив студент в об'єкті.

Порівняно високі коефіцієнти сформованості виявляються в когнітивно-операційному компоненті в ЕГ і для всіх рівнів мають значення 62,32–64,73 %. У КГ цей коефіцієнт також коливається в незначних відхиленнях від 33,63 % до 39,32 %.

В інших компонентах, за невеликим винятком на початковому рівні, коефіцієнти сформованості в ЕГ на 10–14 % менші.

На нашу думку, це засвідчує зростання інтелектуалізації навчання, зумовленого впровадженням STEM-складників у освітній процес. Відповідно зросла мотивація студентів, оскільки процес проникнення в сутність явищ, процесів, технологій відбувається поетапно з усвідомленням, осмисленням і розумінням навчального матеріалу.



Таблиця 5.4

## Порівняльні результати педагогічного експерименту в КГ та ЕГ

Рівні/ Компоненти	Початковий		Середній		Достатній		Високий		Загальний	
	к-ть, ЕГ/КГ	%	к-ть, ЕГ/КГ	%	к-ть, ЕГ/КГ	%	к-ть, ЕГ/КГ	%	к-ть, ЕГ/КГ	%
Когнітивно-операційний	<b>4799</b>	<b>64,73</b>	<b>5896</b>	<b>64,24</b>	<b>6160</b>	<b>62,32</b>	<b>1016</b>	<b>22,15</b>	<b>17871</b>	<b>57,53</b>
	2816	39,32	3428	38,66	3211	33,63	345	7,78	9800	32,66
Δ		25,41		23,58		28,69		14,37		24,87
t	6,92		6,97		7,90		5,44		6,80	
Орієнтаційно-контрольний	<b>1475</b>	<b>52,23</b>	<b>1845</b>	<b>52,26</b>	<b>2308</b>	<b>54,49</b>	<b>401</b>	<b>18,93</b>	<b>6029</b>	<b>47,44</b>
	779	28,56	933	27,26	1329	32,48	118	5,77	3159	25,73
Δ		23,67		25		22,01		13,16		21,71
t	6,55		6,97		5,42		5,40		6,10	
Психофізіологічний	<b>1999</b>	<b>70,78</b>	<b>2220</b>	<b>62,89</b>	<b>2394</b>	<b>48,44</b>	<b>522</b>	<b>16,67</b>	<b>7135</b>	<b>53,19</b>
	1189	43,58	1044	30,62	1031	21,59	147	7,18	3411	26,32
Δ		27,20		32,27		26,85		9,49		26,87
t	7,52		9,01		7,74		3,91		7,53	
Емоційно- рефлексивний	<b>1805</b>	<b>73,04</b>	<b>1730</b>	<b>49</b>	<b>1860</b>	<b>43,91</b>	<b>476</b>	<b>22,47</b>	<b>5871</b>	<b>47,52</b>
	1068	44,74	850	24,93	821	20,06	143	6,99	2882	24,15
Δ		28,30		24,07		23,85		15,48		23,37
t	7,90		6,79		6,98		5,92		6,63	
Мотиваційний	<b>1616</b>	<b>57,22</b>	<b>1838</b>	<b>52,07</b>	<b>2626</b>	<b>61,99</b>	<b>707</b>	<b>33,38</b>	<b>6787</b>	<b>53,41</b>
	865	31,7	917	26,89	1102	26,93	286	13,97	3170	25,82
Δ		25,52		25,18		35,06		19,41		27,59
t	7		7,03		9,94		6,19		7,75	
Усього	<b>11694</b>	<b>63,70</b>	<b>13529</b>	<b>58,07</b>	<b>15348</b>	<b>55,74</b>	<b>3122</b>	<b>23,90</b>	<b>43693</b>	<b>53,12</b>
	6717	37,88	7172	31,87	7494	28,17	1039	8,23	22422	28,22
Δ		25,82		26,20		27,57		15,67		24,90
t	7,04		7,19		7,67		5,77		8,75	

Майбутні фахівці технічної галузі досягають більш повного осмислення й розуміння змісту освіти завдяки мисленневим операціям, між ними аналіз та синтез, порівняння та абстрагування, узагальнення та систематизація, індукція та дедукція.

STEM дає змогу проаналізувати цілісну систему підготовки конкурентоспроможного фахівця та з'ясувати закономірності становлення внутрішньої єдності цілісного математичного, технологічного, інженерного, наукового знання, що створює умови для абстрагування й узагальнення. Унаслідок цього виникають теоретичні поняття, закономірності, теорії.

Аналіз загального високого рівня компетентності майбутніх фахівців технічної галузі засвідчив зростання коефіцієнта сформованості майже втричі – із 8,23 % до 23,9 %. Найбільше підвищення вказаного коефіцієнта виявлено в мотиваційному компоненті – 19,41 %. Застосування STEM зумовило зростання коефіцієнта сформованості когнітивно-операційного компонента – 14,37 %, орієнтаційно-контрольного – 13,16 %, проте STEM-технології навчання мало вплинули на зростання коефіцієнта сформованості психофізіологічного та емоційно-рефлексивного компонентів – відповідно 7,18 % та 6,99 %.

За даними таблиці 5.4 можна стверджувати, що коефіцієнт засвоєння показників мотиваційного компонента для всіх рівнів зріс на 27,59 %; емоційно-рефлексивного – на 24,15 %; психофізіологічного – на 26,87 %; орієнтаційно-контрольного – на 21,71 %, що доводить ефективність розробленої нами методики навчання фізики на основі STEM-технологій. Діаграму узагальнених результатів коефіцієнта сформованості компетентності студентів у КГ та ЕГ представлено на рис. 5.1.

На діаграмі (рис. 5.2) зображено співвідношення коефіцієнтів сформованості компетентності студентів з 10 фундаментальних наскрізних показників (див. розділ 4). Середнє значення коефіцієнта сформованості в КГ становить 37,3 %, а в ЕГ – 60,71 %. Зростання цього коефіцієнта для поняття симетрія становить 24,1 %; система відліку – 24,7 %; матеріальна точка –

15,1 %; структура речовини – 20,1 %; енергія – 18,1 %; поля взаємодії – 27,6 %; закони збереження – 21 %; простір – 31,2 %; час – 22,3 %; швидкість – 30 %.

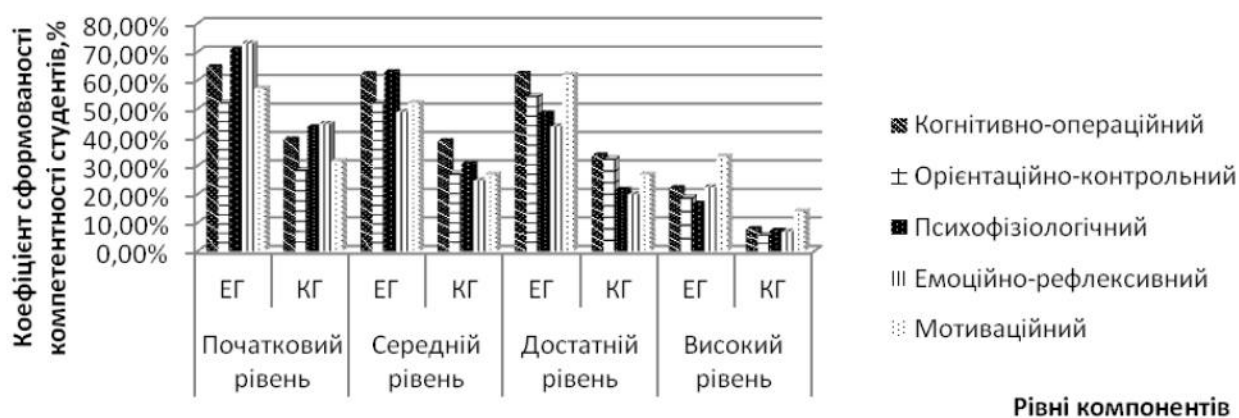


Рис. 5.1. Діаграма узагальнених результатів коефіцієнта сформованості компетентності студентів у КГ та ЕГ

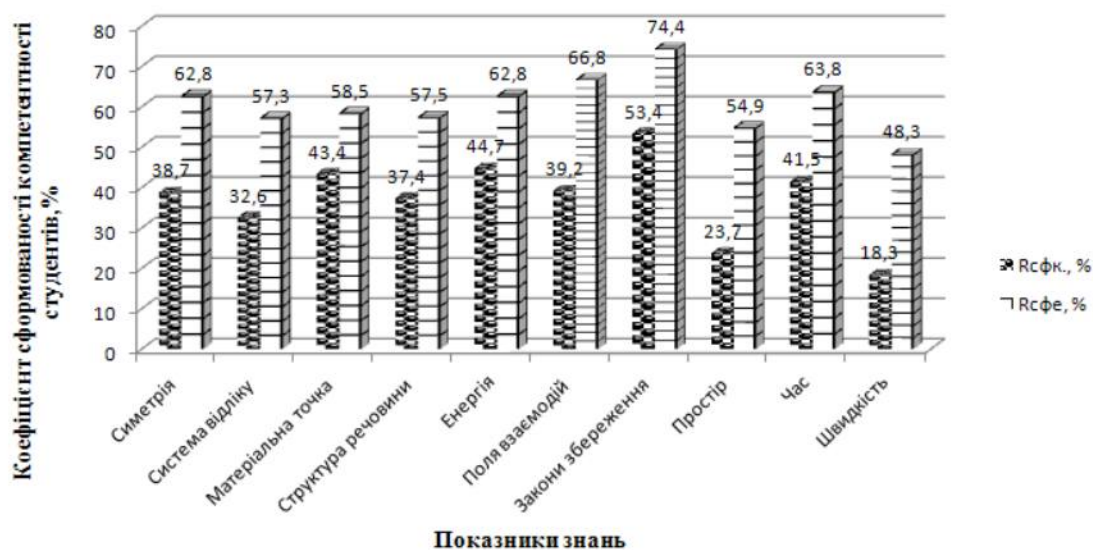


Рис. 5.2. Коефіцієнт сформованості компетентності студентів з фундаментальних понять

Різницю коефіцієнтів загальної сформованості ( $d_d$ ) за показниками в експериментальних і контрольних групах обраховують за формулою (5.1):

$$d_d = R_{сфе} - R_{сфк} = 53,1 - 28,22 = 24,90 \%. \quad (5.1)$$

Порівняння коефіцієнтів сформованості показників компетентності студентів технічних ЗВО за результатами педагогічного експерименту подано в таблиці 5.5.

**Порівняння коефіцієнтів сформованості показників компетентності  
майбутніх фахівців технічних ЗВО за результатами педагогічного  
експерименту**

Етапи експерименту	Кількість студентів $n$ (груп)	Усього показників $n \cdot N_0$	Кількість позитивних відповідей	Коефіцієнт загальної сформованості ( $R_{сф}$ , %)
Констатувальний	345	80385	24453	30,42
Формувальний КГ	341	79453	22422	28,22
Формувальний ЕГ	353	82249	43693	53,12

Імовірність отриманої різниці коефіцієнтів сформованості показників, що визначають компетентність майбутніх фахівців технічної галузі ЗВО під час навчання фізики ми визначали за методикою розрахунку, запропонованою П. Воловиком [5]:

$$P_{сфе} = \sqrt{\frac{R_{сфе}(1-R_{сфе})}{n_e}} = 2,6457 \cdot 10^{-2}, \quad (5.2)$$

$$P_{сфк} = \sqrt{\frac{R_{сфк}(1-R_{сфк})}{n_k}} = 2,4494 \cdot 10^{-2}. \quad (5.3)$$

де  $P_{сфе}$ , та  $P_{сфк}$ ,  $R_{сфе}$ ,  $R_{сфк}$ ,  $n_e$ ,  $n_k$  – відповідно: імовірності сформованих компетентностей за показниками; коефіцієнти рівнів сформованості компетентностей; кількість студентів в ЕГ та КГ.

$$P_\alpha = \sqrt{P_{пе}^2 + P_{рк}^2} = 0,0361. \quad (5.4)$$

Отже, помилка середньої ймовірності коефіцієнтів загального рівня сформованості компетентності не перевищує 3,61 %. Оцінку імовірності достовірності одержаної різниці проведено за допомогою нормального відхилення за формулою (5.5):

$$t = \frac{R_{сее} - R_{сфк}}{P_\alpha} = \frac{d}{P_\alpha} = \frac{0,2490}{0,0361} = 6,89. \quad (5.5)$$

Це означає, що різниця коефіцієнтів рівнів методики навчання фізики на основі STEM-технологій в ЕГ та КГ є суттєвою, не залежить від випадкових вибірок, а підтверджує ефективність розробленої нами методики навчання фізики студентів технічних ЗВО на основі технологій STEM-освіти.

На підставі одержаних даних обраховано середньоарифметичний коефіцієнт загальної сформованості  $R_{cf}$ , середньоквадратичне відхилення  $\sigma$ , мода  $M$ , критерій Стюдента  $t$  (таблиця 5.6).

Таблиця 5.6

<b>Основні характеристики статистичних відхилень</b>					
Групи	$R_{cf}$	D	$\sigma$	$M$	$t$
ЕГ	0,5312	1778,31	42,17	59,64	6,89
КГ	0,2822	455,82	21,35	30,19	

Математичне сподівання визначається за формулою  $E = \sum_{i=1}^{233} p \cdot z$ , де  $p$  – кількість правильних відповідей,  $z$  – імовірність.

Дисперсію  $D$ , середнє квадратичне відхилення  $\sigma$ , міру розсіювання  $M$  (таблиця 5.6) обчислено за такими формулами [10, с. 28–31]:

$$D = \sum_{i=1}^{233} (p - E)^2 \cdot z, \quad (5.6)$$

$$\sigma = \sqrt{D}, \quad (5.7)$$

$$M = \sigma \sqrt{2}. \quad (5.8)$$

Отже, кількісний аналіз показників сформованості компонентів методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти в технічних ЗВО в ЕГ і КГ, їх порівняння дають підставу ствержувати, що сформульована гіпотеза дослідження відповідає поставленій меті й завданням, а створена методика засвідчує свою ефективність.

### **5.3. Експертне оцінювання розробленої методики навчання фізики на основі STEM-технологій**

Для визначення значущості вимог до методики навчання фізики на основі STEM-технологій проведено їх експертне оцінювання фахівцями в галузі освіти та методистів з фізики. В експертній оцінці брав участь 51 експерт, з-поміж яких 51 фахівець із ученим ступенем доктора наук.

Учене звання професора мають 33 експерти, доцента – 17, старших наукових співробітників – 1 (додаток Б.1).

Очевидно, що всі експерти мають достатньо високий рівень підготовки та науковий рівень.

Обрахунки результатів експертного опитування здійснено за методикою «Оцінки відносної важливості кожної окремо взятої вимоги» [18] щодо запропонованої методики навчання фізики та її методичного забезпечення з використанням STEM-технологій. Анкету експерта представлено в додатку Б.

Отримані результати оцінювання відносної важливості кожної вимоги (освітньо-наукового STEM-середовища, практичних дидактичних засобів, системи STEM показників та навчально-методичного забезпечення) оцінено за 100-бальною шкалою відповідно до методики навчання фізики, яку використано й в інших науково-методичних дослідженнях [18, с. 81–120]. Ці результати подано в додатках Б.2–Б.4.

Для визначення значущості кожної вимоги до методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти окреслено такі показники: показник узагальненої думки; ступінь погодженості думок експертів; статистична значущість показника погодженості думок експертів; показники активності й компетентності експертів.

1. У показниках узагальненої думки представлено:

а) середнє арифметичне  $M_j$  величини оцінки певної вимоги (у балах), що визначається з урахуванням рекомендацій за формулою [18, с. 82]:

$$M_j = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^m C_{ij}, \quad (5.9)$$

де  $m$  – кількість експертів, що оцінювали  $j$ -ту вимогу;  $C_{ij}$  – оцінка відносної важливості  $i$ -тим експертом  $j$ -тої вимоги.

Підставивши дані з додатка Б.2. для навчального посібника «*Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics*» дістанемо:

$$M_1 = \frac{9699}{108} = 90; \quad M_3 = \frac{9689}{108} = 90;$$

$$M_2 = \frac{9927}{108} = 92; \quad M_4 = \frac{10310}{108} = 95.$$

Відповідно зробимо обрахунки й для іншого методичного забезпечення.

б) частоту максимально можливих оцінок (100 балів) одержаних  $j$ -тою вимогою, визначимо згідно з [18, с. 82] за формулою:

$$K'_j = \frac{m'_j}{m_j}, \quad (5.10)$$

де  $m'_j$  – кількість максимально можливих оцінок, що відповідають 100 балам за  $j$ -ту вимогу,  $m_j$  – загальна кількість оцінок за  $j$ -ту вимогу.

$$K'_1 = \frac{18}{108} = 0,17; \quad K'_3 = \frac{18}{108} = 0,17;$$

$$K'_2 = \frac{22}{108} = 0,20; \quad K'_4 = \frac{29}{108} = 0,27.$$

Дані подано в таблиці 5.7 та рис. 5.3.

в) суму рангів  $S_j$ , одержаних  $j$ -тою вимогою, визначено так:

– проведено ранжування за зниженням оцінок, виставлених експертами за кожен вимогу;

– визначено суму рангів  $S_j$ , виставлених експертами оцінок за  $j$ -ту вимогу [18, с. 83]:

$$S_j = \sum_{i=1}^m R_{ij}, \quad (5.11)$$

де  $R_{ij}$  – ранг оцінки  $i$ -тим експертом  $j$ -ої вимоги.

Унаслідок обчислень дістанемо:  $S_1 = 233$ ;  $S_2 = 236$ ;  $S_3 = 246$ ;  $S_4 = 217,5$ .

Дані для обчислення рангів представлено в додатку Б.2.

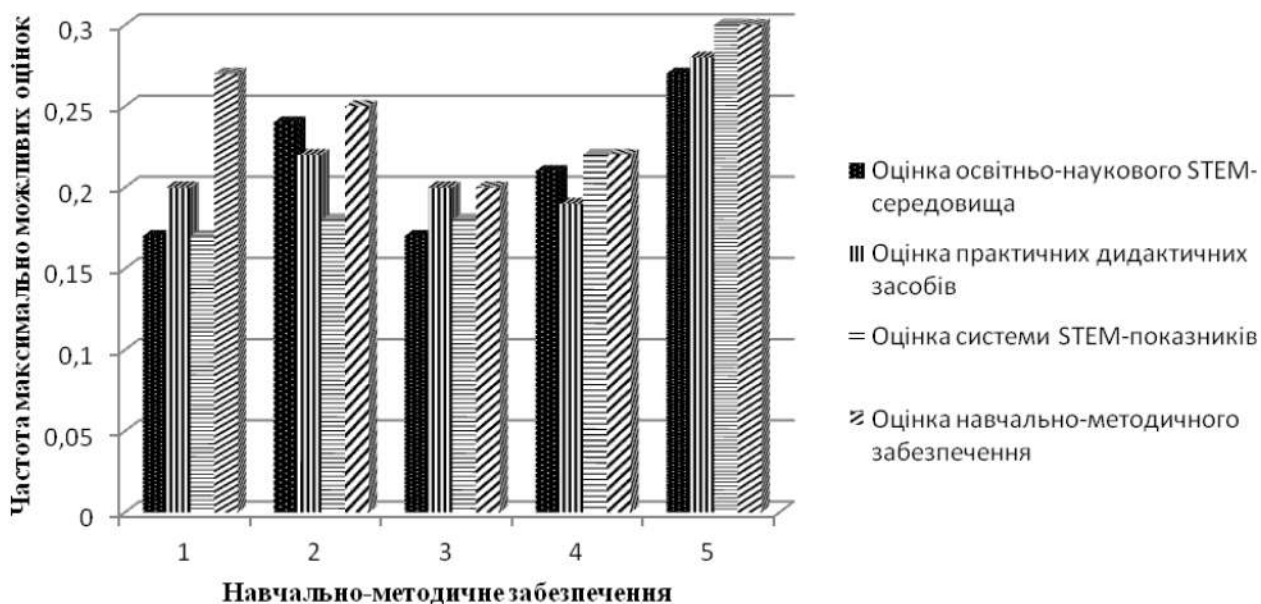


Рис. 5.3. Діаграма результатів експертизи оцінок частоти, що відповідають 100 балам за методику навчання фізики на основі технологій STEM-освіти

Таблиця 5.7

**Частота максимально можливих оцінок, що відповідають 100 балам за методику навчання фізики в контексті розвитку STEM-освіти**

Вимоги	Оцінка освітньо-наукового STEM-середовища	Оцінка практичних дидактичних засобів	Оцінка системи STEM показників	Оцінка навчально-методичного забезпечення
№ з/п	$K'_1$	$K'_2$	$K'_3$	$K'_4$
1	2	3	4	5
<i>Навчальний посібник «Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics»</i>				
1.	0,17	0,20	0,17	0,27
<i>Навчальний посібник «Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням»</i>				
2.	0,24	0,22	0,18	0,25
<i>«Механика и молекулярная физика. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-микро» для курсантов академии всех специальностей»</i>				
3.	0,17	0,20	0,18	0,20
<i>«Физика. Пособие для выполнения лабораторных работ»</i>				
4.	0,21	0,19	0,22	0,22
<i>Монографія «Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти»</i>				
5.	0,27	0,28	0,30	0,30



Обрахунки, проведені щодо значущості запропонованих вимог щодо методики навчання фізики на основі STEM-технологій віддзеркалено в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8

**Результати визначення показника ступеня погодженості думок експертів**

Показники	Вимоги			
	Оцінка освітньо-наукового STEM-середовища	Оцінка практичних дидактичних засобів	Оцінка системи STEM-показників	Оцінка навчально-методичного забезпечення
1	2	3	4	5
<i>Навчальний посібник «Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics»</i>				
Середнє арифметичне $M$	89,76	89,76	89,78	95,1
Дисперсія $D$	89,7	89,7	89,68	95,07
Середнє квадратичне відхилення $\sigma$	9,5	9,5	9,46	9,8
Коефіцієнт варіації $V$	0,11	0,11	0,01	0,10
<i>Навчальний посібник «Интерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням»</i>				
Середнє арифметичне $M$	92,8	94,7	91,4	94,3
Дисперсія $D$	92,84	94,8	91,4	94,44
Середнє квадратичне відхилення $\sigma$	9,63	9,72	9,56	9,71
Коефіцієнт варіації $V$	0,103	0,102	0,104	0,103
<i>«Механика и молекулярная физика. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-микро» для курсантов академии всех специальностей»</i>				
Середнє арифметичне $M$	90,2	92,02	93,3	93,14
Дисперсія $D$	89,7	82,3	87,3	87,3
Середнє квадратичне відхилення $\sigma$	9,47	9,07	9,52	9,34
Коефіцієнт варіації $V$	0,105	0,098	0,102	0,1
<i>«Физика. Посobie для выполнения лабораторных работ»</i>				
Середнє арифметичне $M$	92,5	92,9	94,2	94,3
Дисперсія $D$	82,4	83,8	84,7	84,4
Середнє квадратичне відхилення $\sigma$	9,08	9,15	9,20	9,19
Коефіцієнт варіації $V$	0,098	0,099	0,08	0,097

1	2	3	4	5
<i>Монографія «Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти»</i>				
Середнє арифметичне $M$	94,8	94,5	95,1	94,9
Дисперсія $D$	84,62	84,4	83,2	84,9
Середнє квадратичне відхилення $\sigma$	9,20	9,13	9,12	9,21
Коефіцієнт варіації $V$	0,097	0,097	0,096	0,097

б) коефіцієнт конкордації  $W$ , що є показником ступеня погодженості думок експертів про відносну важливість сукупності всіх представлених для оцінки вимог до методики навчання фізики на основі STEM-технологій, запропонованої в нашому дослідженні, розраховано так:

Визначено середнє арифметичне суми рангів, здобутих за усіма напрямками дослідження [20, с. 84]:

$$M[S_j] = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j. \quad (5.15)$$

Обчислено відхилення  $d_j$  суми рангів оцінок, одержаних за  $j$ -ту вимогу від середнього арифметичного суми рангів оцінок за усі вимоги [20, с. 84]:

$$d_j = S_j - M[S_j], \quad (5.16)$$

$$M[S_j] = \frac{1}{4} \cdot 439,5 = 109,88 \quad d_1 = -0,38; \quad d_2 = 2,2; \quad d_3 = 6,12; \quad d_4 = -7,88.$$

Визначено показники  $T_i$  рівнів рангів оцінок, призначених  $i$ -тим експертом. Якщо всі  $n$  рангів оцінок, призначених  $i$ -тим експертом різні, то  $T_i = 0$ . Якщо з-поміж рангів оцінок є зв'язані, то:

$$T_i = \sum_{l=1}^L (t_l^3 - t_l), \quad (5.17)$$

де  $l = 1, 2, \dots, L$ ;  $L$  – кількість груп однакових рангів в  $l$ -й групі. Дані для обчислення подано в додатку Б.3.

Визначено коефіцієнт конкордації [20, с. 78]:

$$W = \frac{12}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{i=1}^m T_i} \sum_{j=1}^n d_j^2. \quad (5.18)$$

З урахуванням  $m = 51$ ,  $n = 4$  після розрахунків отримано:

$$W = \frac{12 \cdot 404,52}{51^2(4^3 - 4) - 51 \cdot 540} = 0,038.$$

Розрахунки коефіцієнта конкордації щодо методики навчання фізики з використанням STEM-технологій віддзеркалено в таблиці 5.9 та подано діаграмою на рис. 5.4.

3. Статистичну оцінку значущості показника погодженості думок експертів проведено з використанням критерію Пірсона  $\chi^2$ . За заданим рівнем значущості  $\alpha = 0,05$  визначено рівень значущості за критерієм Пірсона. Величину  $\chi^2$  визначено за формулою [20, с. 94]:

$$\chi^2 = \frac{1}{m \cdot n(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m T_i} \sum_{j=1}^n d_j^2. \quad (5.19)$$

Таблиця 5.9

**Результати ступеня погодженості думок експертів значущості вимог до методики навчання фізики на основі STEM-технологій**

№ з/п	Вимоги	Коефіцієнт конкордації, W
1.	Оцінка освітньо-наукового STEM-середовища	0,038
2.	Оцінка практичних дидактичних засобів	0,022
3.	Оцінка системи STEM-показників	0,0142
4.	Оцінка навчально-методичного забезпечення	0,28

Обраховано оцінку значущості показника погодженості думок експертів з використанням критерію Пірсона  $\chi^2$  для монографії «Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти»:

$$\chi_1^2 = \frac{53,5}{51 \cdot 4 \cdot (4+1) - \frac{1}{4-1} \cdot 906} = \frac{53,5}{1020 - 302} = 0,075.$$

### Коефіцієнт конкордації, W

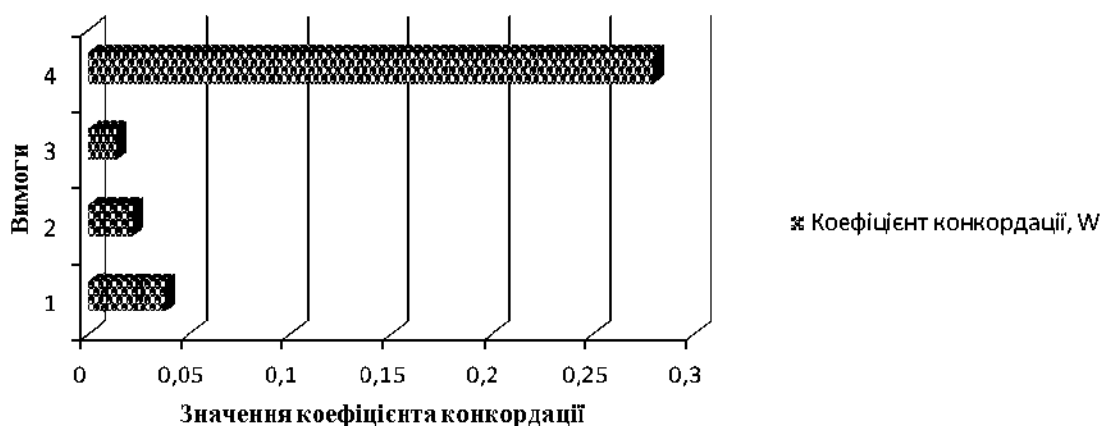


Рис. 5.4. Діаграма коефіцієнта конкордації щодо значущості вимог до методики навчання фізики на основі STEM-технологій (таблиця 5.9)

Обраховано оцінку значущості показника погодженості думок експертів з використанням критерію Пірсона  $\chi^2$  для навчального посібника «*Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics*»:

$$\chi_2^2 = \frac{104,52}{51 \cdot 4 \cdot (4+1) - \frac{1}{4-1} \cdot 540} = \frac{104,52}{1020 - 180} = 0,12.$$

Зроблено обрахунки оцінки значущості показника погодженості думок експертів для навчального посібника «*Интерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням*»:

$$\chi_3^2 = \frac{242,21}{51 \cdot 4 \cdot (4+1) - \frac{1}{4-1} \cdot 504} = \frac{242,21}{852} = 0,284.$$

Розраховано оцінку значущості показника погодженості думок експертів для посібника «*Механика и молекулярная физика. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-микро» для курсантов академии всех специальностей*»:

$$\chi_4^2 = \frac{132,69}{51 \cdot 4 \cdot (4+1) - \frac{1}{4-1} \cdot 858} = \frac{132,69}{734} = 0,18.$$

Розраховано оцінку значущості показника погодженості думок експертів для посібника «Фізика. Посobie для выполнения лабораторных работ»:

$$\chi_s^2 = \frac{2680,05}{51 \cdot 4 \cdot (4+1) - \frac{1}{4-1} \cdot 774} = 3,15.$$

Обчислено число ступенів вільності  $\nu = n-1 = 4-1 = 3$ .

У таблиці  $\chi^2$  для цього числа ступенів вільності знайдемо найближче до визначеного за формулою значення. Табличне значення  $\chi^2_{таб} = 3,02$  [11, с. 130].

Тут же для знайденого табличного значення визначено рівень значущості  $\alpha = 0,025$ .

Для кожного випадку після порівняння одержаного значення рівня значущості з вибраним одержано, що  $\alpha_{таб} < \alpha_{вибр}$ .

Коефіцієнт активності експертів для  $j$ -тої вимоги визначено за формулою:

$$K_j = \frac{m_j}{m}. \quad (5.20)$$

Експерти оцінювали всі вимоги до запропонованої методики навчання фізики із запровадженням STEM-технологій:  $K_1 = 1$ ;  $K_2 = 1$ ;  $K_3 = 1$ ;  $K_4 = 1$ .

Коефіцієнт компетентності експертів визначено за формулою:

$$K_k = \frac{K_s + K_a}{2}, \quad (5.21)$$

де  $K_s$  – коефіцієнт ступеня ознайомлення з розглянутою проблемою,  $K_a$  – коефіцієнт аргументованості.

Коефіцієнт ступеня ознайомлення  $K_s$  визначено нормуванням значення власної оцінки експерта; тобто множенням її на 0,1. Коефіцієнт аргументованості визначено сумою чисел, позначених у таблиці джерел аргументації.

Визначено середнє значення коефіцієнта компетентності:

$$K_k = \frac{43,42}{51} = 0,85.$$

Визначення компетентності експертів подано в додатку Б.4.

Отже, ефективність розробленої методики навчання фізики на основі STEM-технологій підтвердилась експертною оцінкою освітньо-наукового STEM-середовища, практичних дидактичних засобів, системи STEM-показників, системи навчально-методичного забезпечення під час розрахунку: 1) показника узагальненої думки через знаходження середнього арифметичного значення, дисперсії, середнього квадратичного відхилення, коефіцієнта варіації (див. таблиця 5.8); 2) ступеня погодженості думок експертів щодо значущості вимог до методики навчання фізики на основі STEM-технологій підтвердилися розрахунком коефіцієнта конкордації, а саме: оцінки освітньо-наукового STEM-середовища ( $W = 0,038$ ); практичних дидактичних засобів ( $W = 0,022$ ); системи STEM-показників ( $0,0142$ ); навчально-методичного забезпечення ( $0,28$ ); 3) ступеня погодженості думок експертів розраховувався через коефіцієнт конкордації до значущості кожної з вимог: середнє значення коефіцієнта ступеня ознайомлення  $K_a = 0,83$ , коефіцієнта аргументованості  $K_a = 0,87$  та компетентності експертів  $K_k = 0,85$ .

### Висновки до п'ятого розділу

У процесі констатувального етапу педагогічного дослідження (див. таблиця 5.1 та додаток В.2), *підтверджено* наявність виявлених суперечностей, узагальнених у вступі, що дало підстави для формування теоретико-методичних засад навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на умовах сучасної освітньої парадигми підготовки висококваліфікованих фахівців технічних ЗВО, яка забезпечує активізацію пізнавальної діяльності студентів інноваційними засобами. *Визначено*, що інтелектуалізація знань та технологій мотивує студентську молодь до *оволодіння* знаннями й технологіями, актуальними для майбутньої діяльності фахівців, чого можна досягти STEM-засобами навчання.

Результати експериментальної перевірки *засвідчили*, що різниця коефіцієнтів рівнів сформованості компетентності за мотиваційною, емоційно-рефлексивною, когнітивно-оперативною, орієнтаційно-контрольною, психофізіологічною компонентами методики навчання фізики на основі STEM-засобів та технологій у ЕГ та КГ є суттєвою (див. таблиця 5.4). Вона не залежить від випадкових вибірок, а підтверджує ефективність розробленої в нашому дослідженні методики навчання фізики студентів технічних ЗВО на основі технологій STEM-освіти.

Проведена експертна оцінка *довела* ефективність розроблених засобів STEM-технологій навчання фізики, які дозволили сформувавши методику навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін на основі STEM-освіти в технічних ЗВО.

Результати формувального експерименту продемонстрували позитивні зміни за всіма показниками розробленої методики навчання фізики з використанням STEM-технологій і підтвердили основні положення мети та сформульованої гіпотези.

Основні положення п'ятого розділу дисертації викладено автором у публікаціях [1; 2; 3; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27–29; 30; 31; 32–34; 35; 36; 37; 43; 44; 47].

#### **Список використаних джерел до п'ятого розділу**

1. А.с. Навчальний посібник «Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням» / **О. С. Кузьменко**, М. І. Садовий, В. П. Вовкотруб. № 76354; заявл. 30.11.17.; опубл. 27.04.2018, Бюл. № 48.

2. Борота В. Г., **Кузьменко О. С.**, Остапчук С. А. Механика и молекулярная физика. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-микро» для курсантов академии всех специальностей. 2-е изд., перераб. и доп. Кировоград : КЛА НАУ, 2012. 100 с.

3. Борота В. Г., Кузьменко О. С. Фізика. Методичні вказівки по виконанню розрахунково-графічної роботи з фізики (робота № 1). Кіровоград : КЛА НАУ, 2014. 48 с.

4. Бабанский Ю. К. Взаимосвязь закономерностей, принципов обучения и способов его оптимизации. *Педагогика*. 1982. № 11. С. 30–38.

5. Воловик П. М. Теорія ймовірностей і математична статистика в педагогіці. Київ : Рад. школа, 1969. 222 с.

6. Гончаренко Я. В., Горбачук В. О. Математичні методи аналізу результатів педагогічного експерименту. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 3: Фізика і математика у вищій і середній школі*. 2012. Вип. 10. С. 168–175.

7. Гончарова Н. О. Використання ігрових технологій в STEM-освіті. *Проблеми освіти*. Київ, 2016. С. 160–164.

8. Гончарова Н. Глосарій термінів, що визначають сутність поняття STEM-освіта. *Інформаційний збірник для директора школи та завідуючого дитячим садочком*, 2015. Вип. 17–18 (41). С. 90–92.

9. Гончарова Н. О., Патрикеева О. О. Впровадження STEM-освіти в навчальних закладах (за результатами опитування науково-педагогічних працівників ОІППО). *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2016. Вип. 8. С. 215–223.

10. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учеб. пособ. для студ. вузов. Москва : Высшая школа, 1999. 400 с.

11. Грабарь М. И., Краснянская К. А. Применение математической статистики в педагогических исследованиях. Москва : Педагогика, 1977. 216 с.

12. Добров Г. М., Ершов Е. И., Смирнов Л. П. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании. Киев : Наукова думка, 1974. 160 с.



13. Закон України «Про освіту» [Електронний ресурс]. URL:<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2145-19>. (дата звернення: 09.06.2018).

14. Закон України про наукову та науково-технічну діяльність [Електронний ресурс]. URL:<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/848-19> (дата звернення: 09.06.2018).

15. Закон України «Про інноваційну діяльність» [Електронний ресурс]. URL:<https://законодавство.com/ukrajiny-zakony/zakon-ukrajini-pro-innovatsiynu-diyalnist-2002-1025.html> (дата звернення: 09.06.2018).

16. Закон України про «Вищу освіту» [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>. (дата звернення: 09.06.2018).

17. Закон України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=40-15> (дата звернення: 09.06.2018).

18. Экспертные оценки в научно – техническом прогнозировании. Киев : Наукова думка, 1977. 136 с.

19. Ильина Т. И. Методика изучения мотивации обучения в вузе [Электронный ресурс]. URL:<http://testoteka.narod.ru /ms/1/05.html> (дата обращения: 13.07.2018).

20. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании / Г. М. Добров, Ю. В. Ершов, Е. И. Левин, Л. П. Смирнов. Киев : Наукова думка, 1974. 160 с.

21. Концепція про «STEM-центр» академії / укладач: О. С. Кузьменко. Кропивницький : КЛА НАУ, 2017. 10 с.

22. Кузьменко О. С., Садовий М. І., Вовкотруб В. П. Интерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Кіровоград : КЛА НАУ, 2015. 204 с.

23. Кузьменко О. Фізичний експеримент як фактор розвитку STEM-освіти у вищих навчальних закладах технічного профілю. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 10. С. 131–143.

24. Кузьменко О. С. Сутність та напрямки розвитку STEM-освіти. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кіровоград, 2016. Вип. 9. Ч. 3. С. 188–190.

25. Кузьменко О. С. Деякі аспекти запровадження STEM-освіти при вивченні симетрії у процесі навчання фізики в технічних вузах [Електронний ресурс]. *Теорія і методика професійної освіти (електронне наукове фахове видання)*. Серія: педагогічні науки, 2016. Вип. №10 (2). URL: [ivetscienceto.wixsite.com/tmpto/kopiya-11-2016](http://ivetscienceto.wixsite.com/tmpto/kopiya-11-2016) (дата звернення: 04.04.2016).

26. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. STEM-освіта як основний орієнтир в оновленні інноваційних технологій у процесі навчання фізики у вищих навчальних закладах технічного профілю. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кропивницький, 2017. Вип. 11. Ч. 3. С. 73–76.

27. Кузьменко О. С. Інноваційні засоби та форми організації навчального процесу з фізики в умовах розвитку STEM-освіти в вищих технічних навчальних закладах. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кропивницький, 2017. Вип. 12. Ч. 2. С. 85–92.

28. Кузьменко О. С. Методичні особливості вивчення поняття симетрії у процесі вивчення загального курсу фізики в вищих навчальних закладах авіаційного профілю в умовах розвитку STEM-освіти. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2016. Вип. 22. С. 89–91.

29. Кузьменко О. С. Формування STEM-компетентностей студентів у процесі навчання фізики в вищих технічних навчальних закладах. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2017. Вип. 23. С. 20–23.

30. Кузьменко О. С., Гончарова Н. О. Особливості змістовного наповнення навчального посібника з фізики для вищих технічних навчальних закладів в контексті впровадження stem-освіти (інтегрований підхід). *Проблеми сучасного підручника: зб. наук. праць*. Київ : Педагогічна думка, 2017. Вип. 19. С. 151–158.

31. Kuz'menko O. (Kuzmenko O.), Sadovyi N. Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics. Kropivnitskiy: KFA NAU, 2017. 324 p.

32. Кузьменко О.С. Концептуальні засади розвитку методики навчання фізики в умовах розвитку STEM-навчання у вищих навчальних закладах авіаційного профілю. *Наукові записки Малої академії наук України. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Київ, 2017. Вип. 9. С. 38–50.

33. Кузьменко О. С. Використання STEM-технологій у навчальному процесі з фізики в вищих навчальних закладах технічного профілю. *Науковий вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Кропивницький, 2017. Вип. 1. С. 331–335.

34. Кузьменко О. С. Використання поняття симетрії для формування наукового світогляду студентів у процесі навчання фізики в умовах розвитку STEM-освіти. *Науковий вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Кропивницький, 2017. Вип. 2. С. 173–179.

35. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Особливості вивчення фізики у вищих навчальних закладах технічного профілю в умовах розвитку STEM-освіти. *Сучасні тенденції навчання природничо-математичних та технологічних дисциплін у загальноосвітній та вищій школі* : матеріали III Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. 17–22 жовтня 2016 р. Кропивницький (Кіровоград): РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2016. С. 51–52.

36. Кузьменко О. С., Ситник Ю. Б. Наукова та інженерна складова STEM-освіти у процесі вивчення дисциплін фізики та безпеки польотів з поєднанням інтегрованого підходу. *STEM-освіта – проблеми та*

*перспективи*: матеріали II Міжнар. наук.-практ. семінару 25–26 жовтня 2017 р. Кропивницький: КЛА НАУ, 2017. С. 59–62.

37. Кузьменко О. С. Дослідження ефективності методичної системи навчання фізики на основі STEM-технологій у технічних закладах вищої освіти. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2018. Вип. 24. С. 15–18.

38. Наказ МОН від 17.05.2017 № 708 «Про проведення дослідно-експериментальної роботи всеукраїнського рівня за темою: «Науково-методичні засади створення та функціонування Всеукраїнського науково-методичного віртуального STEM-центру (ВНМВ STEM-центр)» на 2017–2021 роки» [Електронний ресурс]. URL: <https://drive.google.com/file/d/0B3m2TqBM0APKaXJGVlk1bVZ2cFk/view> (дата звернення: 14.06.2017).

39. Наказ МОН України від 29.02.2016 № 188 «Про утворення робочої групи з питань впровадження STEM-освіти в Україні» [Електронний ресурс] URL: <http://old.mon.gov.ua/ua/about-ministry/normative/5219-> (дата звернення: 27.09.2017).

40. Патрикеева О. О., Лозова О. В., Горбенко С. Л. Новітні підходи щодо впровадження STEM-освіти в навчальних закладах України. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2016. Вип. 8. С. 260–267.

41. Патрикеева О. О., Черноморець В. В., Коваленко М. В. Навчальні програми – ефективний засіб формування STEM-грамотності. *Освіта. Технікуми, коледжі*. № 2 (42). 2017. С. 32–34.

42. Проєкт Концепції STEM-освіти в Україні [Електронний ресурс]. URL: [http://mk-kor.at.ua/STEM/STEM\\_2017.pdf](http://mk-kor.at.ua/STEM/STEM_2017.pdf) (дата звернення: 14.05.2018).

43. Положення про «STEM-центр» академії / укладач: О. С. Кузьменко. Кропивницький : КЛА НАУ, 2017. 10 с.

44. Положення про науково-дослідну лабораторію «STEM-освіти та інноваційної освіти» академії / укладач: О. С. Кузьменко. Кропивницький : КЛА НАУ, 2017. 9 с.

45. Сисоєва С. О., Кристопчук Т. Є. Методологія науково-педагогічних досліджень : підручник. Рівне : Волинські обереги, 2013. 360 с.

46. Стрижак О., Сліпухіна І., Поліхун Н., Чернецький І. Ключові поняття STEM-освіти. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 10. С. 89–103.

47. Фізика. Посobie для выполнения лабораторных работ / А. Н. Бурмистров, В. Г. Борота, Ю. Г. Ковалев, **О. С. Кузьменко**, В. В. Фоменко: Составители: О. С. Кузьменко, В. В. Фоменко. 2-е изд., перераб. и доп. Кировоград : Изд-во КЛА НАУ, 2013. 172 с.

48. Чернецький І., Поліхун Н., Сліпухіна І. Місце STEM-технології навчання в освітній парадигмі ХХІ століття. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 9. С. 50–62.

## ВИСНОВКИ

Узагальнення результатів проведеного дослідження щодо обґрунтування теоретичних і методичних засад навчання фізики на основі технологій STEM-освіти дає підстави сформулювати такі висновки:

1. Відповідно до результатів вивчення законодавчих документів про освіту, проєкту Концепції STEM-освіти, закордонних і вітчизняних досліджень, педагогічної та методичної літератури з окресленої проблеми виокремлено й проаналізовано основні напрями нововведень в освітній діяльності технічних ЗВО в контексті розвитку інновацій, зокрема STEM-освіти, в Україні, а саме: гуманізація, гуманітаризація, диференціація, диверсифікація, стандартизація, багатоступеневість, фундаменталізація, інформатизація, індивідуалізація, безперервність. Виявлено, що розвиток інноваційності впливає на модернізацію вищої освіти, зокрема технічної, у контексті STEM-освіти. Залишаються нез'ясованими питання понятійно-термінологічної основи STEM-освіти; теоретичного обґрунтування процесу розвитку STEM-компетентності та відповідних компетенцій; навчально-методичного забезпечення з фізики на основі технологій STEM-освіти з урахуванням інтеграційного, міждисциплінарного, компетентісного, системного та професійно зорієнтованого підходів.

Обґрунтовано, що модернізація технічної вищої освіти в Україні потребує врахування загальних тенденцій розвитку систем вищої освіти в умовах STEM-освіти, з-поміж яких: 1) профілізація навчання фізики на основі технологій STEM-освіти є основою інженерно-технічних дисциплін; 2) новітнє тлумачення поняття здібностей у навчанні фізики на основі STEM-дефініції; 3) спрямування освітнього процесу з фізики на наукову, дослідну та конструкторсько-проєктну діяльність у контексті STEM-освіти; 4) розроблення методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти, спрямованої на перетворення суб'єкта освітнього процесу з пасивного на активний у технічному ЗВО; 5) посилення диференціації й індивідуалізації

освітнього процесу з фізики завдяки розвитку варіативних освітніх програм на основі технологій STEM-освіти, зорієнтованих на різні категорії студентів;

б) посилення природничо-математичного та інженерного складників STEM-освіти, що можна реалізувати залученням більшої кількості вивчення дисциплін природничого та математичного циклу.

2.3 урахуванням важливості фундаменталізації як дидактичного принципу проектування змісту навчання фізики в технічних ЗВО з позиції парадигми STEM-освіти, інтеграційного, міждисциплінарного, компетентнісного, системного та професійно зорієнтованого підходів та фундаменталізації змісту навчання фізики, *обґрунтовано* такі *теоретичні й методичні засади навчання фізики* на основі технологій STEM-освіти:

- 1) якісне свідоме засвоєння студентами компетенцій теоретичних і практичних основ фізики з урахуванням STEM-технологій забезпечить обґрунтовану STEMатизацію освітнього процесу, що сприяє формуванню компетентного фахівця технічного профілю;
- 2) компетентнісний, інтеграційний, міждисциплінарний, системний та професійно зорієнтований підходи до процесу навчання фізики в технічних ЗВО передбачає зміну поглядів на сутність і призначення системи фізичного експерименту, створення нового покоління фізичних приладів, устаконування, технічних засобів, спрямованих на особистісне самостійне навчання з огляду на індивідуальні особливості, здібності, нахили кожного суб'єкта навчання, розширення обсягу експериментальних завдань, робіт фізичного практикуму на базі STEM-технологій навчання;
- 3) успішне формування компетентнісного фахівця в умовах побудови інформаційного суспільства забезпечить теоретично й методологічно обґрунтована система фундаментальних понять фізики для технічних ЗВО, оновлена в контексті STEM-освіти;
- 4) формування компетентного майбутнього фахівця технічної галузі діяльності забезпечить система психолого-педагогічних впливів, спрямована на формування готовності до пошуку, створення, реалізації та закріплення ефективних і дієвих інновацій в освітньому процесі фізики з

упровадженням технологій STEM-освіти; 5) забезпечення систематичного вивчення та упровадження в освітній процес трансформованих до вимог принципів дидактики результатів наукових досягнень з фізики, методичних надбань учених та викладачів ЗВО завдяки створенню дієвого освітньо-наукового середовища з ідеологією STEM-освіти; 6) розроблення механізму впровадження оцифрування в фізичній освіті, що викликає потребу у формулюванні наукових і педагогічних вимог до STEM-засобів освіти з фізики для технічних ЗВО, робототехніки та мехатроніки, що посилить роль теоретичного знання в навчанні фізики, надасть йому пріоритетності у формуванні компетентного майбутнього фахівця, посприє реалізації потенційних можливостей для активізації пізнавальної діяльності суб'єктів навчання; 7) створення ефективної системи навчання фізики в технічному ЗВО значною мірою забезпечить формування алгоритмічного, наочно-образного, теоретичного стилів мислення студентів, вироблення в них уміння оптимізувати прийняття рішення в складній ситуації, оперативно опрацьовувати інформацію з використанням систем аналізу даних, інформаційно-пошукових систем, баз даних на основі освітньо-наукового STEM-середовища та принципу інноваційності.

3. *Створено* модель освітньо-наукового STEM-середовища, яка підвищить рівень знань студентів у процесі навчання фізики, засвоєння технічних дисциплін і в професійній діяльності. Формування освітньо-наукового STEM-середовища з фізики зумовлено тим, що таке середовище є особливим засобом формування виконавських, пошукових і творчих здібностей студентів, а також інструментом виконання управлінських функцій щодо досягнення цілей фізичної освіти. Ця модель містить сім складників: моделювання, навчальний фізичний експеримент, хмарні технології, професійний, компетентнісний, міжпредметний та інтеграційний складники.

4. *Розроблено* концепцію STEM-освіти технічного ЗВО, згідно з якою впровадження в освітній процес методики навчання фізики на основі STEM-



технологій дозволить сформувати в студентів якості, що визначатимуть компетентного фахівця: а) уміння побачити проблему, б) уміння побачити в проблемній ситуації якомога більше можливих зв'язків і способів їх розв'язання, в) уміння формулювати дослідницьке запитання та знаходити шляхи його розв'язання, г) уміння критично мислити та розуміти нову позицію щодо розв'язання проблеми, д) уміння використовувати оригінальні методи, засоби, прийоми для розв'язання проблеми в освітньому процесі на основі STEM-технологій, е) уміння використовувати аналіз, синтез, систематизацію, абстрагування в навчанні природничо-математичних дисциплін з використанням STEM-технологій навчання. Концепція STEM-освіти технічного ЗВО складається з таких розділів: 1) науково-методична підтримка закладів освіти; 2) інноваційні технології; 3) науково-дослідна робота центру; 4) міжнародна діяльність STEM-центру; 5) підготовка викладача та його професійне вдосконалення в контексті STEM-освіти.

Установлено, що зміни в галузі вищої технічної освіти з урахуванням розвитку STEM-освіти передбачають перегляд концепції підготовки фахівців у кожній конкретній галузі діяльності, тому модернізація змісту фізичної освіти потребує оновлення навчально-методичної бази (цілей, змісту, методів, форм і засобів), завдяки якій в подальшому буде реалізовано сучасні інноваційні STEM-технології.

Окреслено й проаналізовано поняття міждисциплінарності та рівнів інтеграції наукового знання: мультидисциплінарність і трансдисциплінарність у процесі навчання фізики в технічних ЗВО.

*5. Розроблено* методику навчання фізики на основі технологій STEM-освіти для студентів технічних ЗВО, яка дозволяє розвивати в них STEM-компетентності в освітньому процесі з фізики. Розглянуто доцільність підпорядкування змісту навчального матеріалу з фізики, відповідно до фундаментальних генеруючих наскрізних понять, одним з яких є симетрія, яка виявляється в багатьох розділах фізики. Вивчення студентами цього фундаментального поняття сприятиме розвитку сучасного наукового,

критичного мислення, а також забезпечуватиме систематизацію знань із курсу фізики в технічних ЗВО та формуванню наукового світогляду.

Продемонстровано використання фундаментальних ідей фізики з урахуванням STEM-технологій. З'ясовано взаємозв'язок симетрії та законів збереження; представлено методику інтеграційного підходу фізики й професійно зорієнтованих дисциплін на прикладі вивчення динаміки руху літака та під час розрахунку схем і навантажень студентами технічних ЗВО. Укладено роботи фізичного практикуму на основі STEM-технологій, який сприяє ефективному проведенню занять з фізики в технічних ЗВО.

6. Розроблено та впроваджено в освітній процес з фізики навчально-методичне забезпечення на основі STEM-технологій. Запропоновано низку теоретичних і практичних завдань на основі міждисциплінарного, інтеграційного, системного, компетентнісного та професійно зорієнтованого підходів, розв'язання яких сприяє розвитку природничо-наукового мислення та формуванню природничо-наукових знань студентів. Розроблено 3 навчальних посібники, 1 з яких – англійською мовою, у яких викладено лекційні, практичні, лабораторні матеріали (роботи фізичного практикуму), 1 методичні рекомендації для лабораторних робіт на основі комплекту «L-мікро» та 1 методичні вказівки для розрахунково-графічних робіт з фізики, розраховані для студентів ЗВО.

7. Упроваджено методику професійно зорієнтованого навчання фізики в технічних ЗВО засобами STEM-технологій. Результати проведеного порівняльного експерименту з виявлення ефективності запропонованої методики навчання фізики на основі STEM-технологій засвідчили, що рівень сформованості фізичних знань, вмінь і навичок студентів у КГ є нижчим від відповідного рівня в ЕГ. Кількісні характеристики формувального експерименту визначено за допомогою математичної статистики з використанням критерію Стьюдента (з достовірністю 6,89).

Результати експертної оцінки освітньо-наукового STEM-середовища засвідчили:

– високий рівень діагностичного підходу (80% експертів підтримали такий підхід), що ґрунтується на системі психодіагностичних методик та оцінюванні суджень щодо кожного показника освітнього середовища й рівня розвитку свідомості і діяльності суб'єктів навчання в процесі застосування STEM-технологій;

– на рівні 94% експертів домінує думка про актуальність та доцільність забезпечення STEM-технологічними ресурсами освітнього процесу в навчанні студентів фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.

Оцінка практичних дидактичних засобів STEM-освіти виявилася такою:

– більше 90% експертів вважають системність, технологічність, інтенсивність, продуктивність основними узагальнювальними показниками STEM, що характеризують ступінь новизни, узгодженість цільових установок STEM-показників, масштабність змін результатів навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін, наявність соціально-педагогічних ефектів, узгодженість, глибину усвідомлення дидактичних засобів навчання, усвідомленість ціннісних та інноваційних установок діяльності, розуміння технології реалізації STEM-задуму, оцінку інноваційності ідей STEM-освіти.

У процесі оцінювання системи STEM-показників 90–95% експертів оцінили їх позитивно. Позитивна експертна оцінка навчально-методичного забезпечення в межах 85–95% переважає в аналізі системи навчально-методичного забезпечення: під час розрахунків у виконанні лабораторних робіт, практикумів, розв'язуванні задач; узагальненні показників STEM-освіти.

Отже, під час експертного аналізу з'ясовано, що STEM-засоби навчання мають розвивальну спрямованість і визначають стратегію пошуку інноваційних моделей STEM-освіти, забезпечують осмислення STEM-потенціалу розвитку інноваційних освітніх процесів в освіті, самооцінку інноваційності освітнього-наукового STEM-середовища. З'ясовано, що

основним критерієм оцінювання експерти вважають об'єктивний аналіз і системне осмислення.

Виконане дослідження не вичерпує всіх аспектів розв'язання досліджуваної проблеми. Перспективи подальших пошуків ми вбачаємо в удосконаленні змісту і системи навчання фізики з урахуванням нових педагогічних технологій; підсилення зв'язку навчання фізики з фаховою спрямованістю студентів технічних ЗВО в контексті STREAM-освіти (використання елементів прототипування, мехатроніки, цифрових комплексів тощо).

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

## Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір

УКРАЇНА



**СВІДОЦТВО**  
про реєстрацію авторського права на твір

№ 76354

Навчальний посібник "Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням"  
(вид, назва твору)

Автор(и) Кузьменко Ольга Степанівна, Садовий Микола Ілліч, Вовкотруб Віктор Павлович  
(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Дата реєстрації 29.01.2018



Державний секретар Міністерства економічного розвитку і торгівлі України О. Ю. Перевезенцев

1/3 - Свідоцтво - Інст. 17-2001-2017/п. IV-64

**ДОДАТОК Б**  
**Експертиза методики навчання фізики на основі STEM- технологій**  
**Додаток Б.1**  
**АНКЕТА ЕКСПЕРТА**

Назва установи \_\_\_\_\_  
 Прізвище, ім'я, по-батькові \_\_\_\_\_  
 Посада \_\_\_\_\_  
 Вчений ступінь, звання \_\_\_\_\_  
 Дата і місце проведення експертизи \_\_\_\_\_

I. Визначте оцінку відносної важливості кожної з вимог окремо в балах від 0 до 100 щодо методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти з метою активізації пізнавально-пошукової діяльності студентів, розвитку самостійності, підвищення рівня виконання експериментальних завдань з фізики в технічних ЗВО.

*Таблиця Б.1*

**Визначення оцінки відносної важливості методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти**

ВИМОГИ	Оцінка відносної важливості				
	Навчально-методичне забезпечення з фізики на основі STEM-технологій				
	1	2	3	4	5
Оцінка освітньо-наукового STEM-середовища					
Оцінка практичних дидактичних засобів					
Оцінка системи STEM-показників					
Оцінка навчально-методичного забезпечення					

II. Підкресліть необхідні числові значення у шкалі оцінок джерел аргументації з даної проблеми.

*Таблиця Б.2*

**Визначення джерела аргументації**

Джерело аргументації	Ступінь впливу джерела		
	Висока	Середня	Низька
Проведено теоретичний аналіз	0,3	0,2	0,1
Виробничий досвід	0,5	0,4	0,2
Узагальнення робіт вітчизняних авторів	0,05	0,05	0,05
Узагальнення робіт зарубіжних авторів	0,05	0,05	0,05
Особисте знайомство зі станом справ за кордоном	0,05	0,05	0,05
Інтуїція	0,05	0,05	0,05

III. Укажіть ступінь ознайомлення з обговорюваною проблемою за шкалою:

0    1    2    3    4    5    6    7    8    9    10

\_\_\_\_\_ Ваш підпис

**ДЯКУЄМО ЗА УЧАСТЬ В ЕКСПЕРТИЗИ!**

## Зворотній бік анкети

До навчально-методичного забезпечення з фізики на основі технологій STEM-освіти входять:

1. Навчальний посібник англійською мовою: **«Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics»** містить основний навчальний матеріал з розділів: «Механіка», «Молекулярна фізика та термодинаміка», «Електромагнетизм», «Коливання та хвильова оптика», «Квантова та атомна фізика». Представлено теоретичний матеріал та підібрано задачі з використанням фундаментальних фізичних понять, зокрема симетрії.

2. Навчальний посібник **«Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням»**, що розкриває сутність фізичного практикуму, загальні відомості про інтерференцію світла, види інтерферометрів та їхні основні характеристики. Описано нове сучасне обладнання з оптики та методика і техніка виконання на його основі демонстраційних, лабораторних дослідів, що підвищують ефективність вивчення оптики й активізують пізнавально-пошукову діяльність студентів закладів вищої освіти технічного профілю навчання.

3. **«Механика и молекулярная физика. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-микро» для курсантов академии всех специальностей»**, подає основні теоретичні відомості та вказівки з виконання лабораторних робіт фізичного практикуму у процесі використання сучасного обладнання.

4. **«Физика. Пособие для выполнения лабораторных работ»** пояснює суть виконання робіт фізичного практикуму з використанням сучасного обладнання. Представлено 19 робіт фізичного практикуму.

5. Монографія **«Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти»** представлено теоретичні і методичні основи розв'язання проблеми навчання фізики в технічних закладах вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти. Розроблено концепцію створення і впровадження методики навчання фізики на основі STEM-технологій. З метою формування і розвитку у студентів STEM-компетентностей на основі запропонованої концепції створено освітньо-наукове STEM-середовище.

## Основні відомості щодо експертів

Таблиця Б.1.1

## Відомості про експертів, які брали участь в педагогічному експерименті

№ з/п	П.І.П.	Науковий ступінь	Місце роботи, посада
1	2	3	4
1.	<b>Авраменко Ольга Валентинівна</b>	д.ф.-м.н., професор	завідувач кафедри прикладної математики, статистики та економіки Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка
2.	<b>Акуленко Ірина Анатоліївна</b>	д.пед.н., професор	професор кафедри алгебри і математичного аналізу Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького
3.	<b>Богданов Ігор Тимофійович</b>	д.пед.н., професор	ректор Бердянського державного педагогічного університету
4.	<b>Бодненко Тетяна Василівна</b>	д.пед.н., доцент	доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Черкаського національного університету імені Б. Хмельницького
5.	<b>Величко Степан Петрович</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри фізики та методики її викладання Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка
6.	<b>Вовкотруб Віктор Павлович</b>	д.пед.н., професор	професор кафедри фізики та методики її викладання Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка
7.	<b>Войтович Ігор Станіславович</b>	д.пед.н., професор	професор кафедри інформаційно-комунікаційних технологій та методики викладання інформатики Рівненського державного гуманітарного університету
8.	<b>Волков Юрій Іванович</b>	д.ф.-м.н., професор	професор кафедри математики Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка
9.	<b>Давиденко Андрій Андрійович</b>	д.пед.н., професор	професор кафедри природничо-математичних дисциплін та ІКТ Чернігівського обласного інституту педагогічної освіти
10.	<b>Єжова Ольга Володимирівна</b>	д.пед.н., доцент	доцент кафедри теорії та методики технологічної підготовки, охорони праці та безпеки життєдіяльності Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка
11.	<b>Єльнікова Галина Василівна</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри менеджменту Української інженерно-педагогічної академії, голова Громадської організації «Школа адаптивного управління»



1	2	3	4
12.	<b>Іваницький Олександр Іванович</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри фізики та методики її викладання Запорізького національного університету
13.	<b>Касперський Анатолій Володимирович</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри прикладних природничо-математичних дисциплін Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова
14.	<b>Кідалов Валерій Віталійович</b>	д.ф.-м.н., професор	завідувач кафедри фізики та методики навчання фізики Бердянського державного педагогічного університету
15.	<b>Кобилянський Олександр Володимирович</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки Вінницького національного технічного університету
16.	<b>Конет Іван Михайлович</b>	д.ф.-м.н., професор	проректор з наукової роботи Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка
17.	<b>Коновал Олександр Андрійович</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри фізики та методики її навчання Криворізького державного педагогічного університету
18.	<b>Коробова Олена Володимирівна</b>	д.пед.н., доцент	професор кафедри фізики та методики її навчання Херсонського державного університету
19.	<b>Котелянець Наталка Валеріївна</b>	д.пед.н., доцент	доцент кафедри методик дошкільної та початкової освіти Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка
20.	<b>Клочко Віталій Іванович</b>	д.пед.н., професор	професор кафедри вищої математики Вінницького національного технічного університету
21.	<b>Кремінський Борис Георгійович</b>	д.пед.н., доцент	старший науковий співробітник Інституту інноваційних технологій і змісту освіти
22.	<b>Кузьменков Сергій Георгійович</b>	д.пед.н., професор	професор кафедри фізики та методики її навчання Херсонського державного університету
23.	<b>Кушнір Василь Андрійович</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри математики Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка
24.	<b>Кух Аркадій Миколайович</b>	д.пед.н., доцент	професор кафедри МВФ та ДТОГ Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка
25.	<b>Литвинова Світлана Григорівна</b>	д.пед.н., с.н.с.	завідувач відділу відкритого навчального середовища Інституту інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України
26.	<b>Мартинюк Олександр Семенович</b>	д.пед.н., доцент	професор кафедри експериментальної фізики та інформаційно-вимірювальних технологій Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки

## Продовження табл. Б.1.1

1	2	3	4
27.	<b>Мартинюк Михайло Тадейович</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри фізики і астрономії та методики їх викладання Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини
28.	<b>Мислицька Наталія Анатоліївна</b>	д.пед.н., доцент	доцент кафедри фізики і методики навчання фізики, астрономії Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського
29.	<b>Мендерецький Вадим Владиславович</b>	д.пед.н., доцент	професор кафедри МВФ та ДТОГ Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка
30.	<b>Мороз Іван Олексійович</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри та методики навчання фізики Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка
31.	<b>Моторіна Валентина Григорівна</b>	д.пед.н., професор	професор ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди»
32.	<b>Неділько Сергій Миколайович</b>	д.т.н., професор	начальник Льотної академії Національного авіаційного університету
33.	<b>Ніколаєв Олексій Михайлович</b>	д.пед.н., доцент	доцент кафедри МВФ та ДТОГ Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка
34.	<b>Павленко Анатолій Іванович</b>	д.пед.н., професор	професор кафедри дидактики та методик навчання природничо-математичних дисциплін Комунального закладу «Запорізького обласного інституту післядипломної педагогічної освіти» Запорізької обласної ради
35.	<b>Подопрігора Наталія Володимирівна</b>	д.пед.н., доцент	завідувач кафедри природничих наук та методик їхнього навчання Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка
36.	<b>Растрігіна Алла Миколаївна</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри вокально-хорових дисциплін та методики музичного виховання Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка
37.	<b>Садовий Микола Ілліч</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри теорії і методики технологічної підготовки, охорони праці та безпеки життєдіяльності Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка
38.	<b>Семерня Оксана Миколаївна</b>	д.пед.н., доцент	доцент кафедри екології Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка
39.	<b>Сергієнко Володимир</b>	д.пед.н., професор	директор Навчально-наукового інституту неперервної освіти Національного

1	2	3	4
	<b>Петрович</b>		педагогічного університету імені М. П. Драгоманова
40.	<b>Сільвейстр Анатолій Миколайович</b>	д.пед.н., доцент	доцент кафедри фізики і методики навчання фізики, астрономії Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського
41.	<b>Сиротюк Володимир Дмитрович</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри фізики та методики навчання фізики та астрономії Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова
42.	<b>Сосницька Наталя Леонідівна</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри вищої математики та фізики Таврійського державного агротехнологічного університету
43.	<b>Стучинська Наталя Василівна</b>	д.пед.н., професор	професор кафедри медичної та біологічної фізики Київського національного медичного університету імені О. О. Богомольця
44.	<b>Сліпухіна Ірина Андріївна</b>	д.пед.н., професор	професор кафедри загальної та прикладної фізики Національного авіаційного університету
45.	<b>Стрижак Олександр Євгенович</b>	д.т.н., доцент	заступник директора з наукової роботи Національного центру «Мала академія наук України»
46.	<b>Сусь Богдан Арсентійович</b>	д.пед.н., професор	професор кафедри математики та фізики Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут
47.	<b>Ткаченко Ольга Михайлівна</b>	д.пед.н., професор	завідувач кафедри педагогіки дошкільної та початкової освіти Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка
48.	<b>Ткаченко Ігор Анатолійович</b>	д.пед.н., доцент	професор кафедри фізики і астрономії та методик їх викладання Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини
49.	<b>Філер Залмен Юхимович</b>	д.т.н., професор	професор кафедри прикладної математики, статистики та економіки Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка
50.	<b>Шишкін Геннадій Олександрович</b>	д.пед.н., доцент	професор кафедри фізики та методики навчання фізики Бердянського державного педагогічного університету
51.	<b>Школа Олександр Васильович</b>	д.пед.н., доцент	професор кафедри фізики та методики навчання фізики Бердянського державного педагогічного університету

**Експертні оцінки та їх ранги щодо відносної важливості вимог до  
методики навчання фізики на основі технологій STEM-освіти**

*Таблиця Б.2.1*

**Визначення експертних оцінок та їх рангів до навчального посібника  
«Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics,  
Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic  
physics»**

Навчальний посібник англійською мовою «Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics»								
№ з/п	Оцінка освітньо-наукового STEM-середовища	$R_1$	Оцінка практичних дидактичних засобів	$R_2$	Оцінка системи STEM-показників	$R_3$	Оцінка навчально-методичного забезпечення	$R_4$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	92	2,5	92	3	90	3	84	3
2.	94	2	91	2,5	91	3	81	4
3.	95	2	93	2	95	2	94	2
4.	90	2,5	82	1	90	1	95	2,5
5.	87	1	90	3	90	1,5	99	1
6.	83	3	80	2	91	2	100	1
7.	62	2	85	1,5	92	1,5	100	1
8.	100	1,5	90	2	100	3	97	2
9.	92	2	95	2	95	4	99	2
10.	89	3	92	1	90	3	90	2,5
11.	94	3	98	1	90	2,5	95	2
12.	90	1	91	4	91	3	85	2,5
13.	93	1	89	3	92	3	98	2
14.	95	1	78	3	80	2,5	100	1
15.	90	1,5	93	4	75	2	97	2
16.	90	1,5	90	4	90	4	93	3
17.	64	4	93	2	70	2,5	89	2,5
18.	100	1	94	4	90	3	100	2
19.	78	2,5	90	2	90	3	100	1
20.	99	1	90	2,5	100	4	99	2,5
21.	96	1	100	1	88	2,5	100	2
22.	85	1	100	1	93	2	95	2
23.	90	3	90	2,5	87	2	98	1,5
24.	86	2,5	75	2	93	2	87	3
25.	100	3	90	2,5	95	1,5	90	2
26.	92	2	90	2,5	100	2,5	93	1
27.	84	2,5	75	2	92	1	97	2
28.	98	1,5	99	1	80	2	100	1
29.	91	2	93	2	73	2	100	1
30.	85	2,5	100	2,5	97	1,5	90	2

*Продовження табл. Б.2.1*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
31.	100	3	88	2	79	1	92	9
32.	87	1	93	4	90	3	90	2
33.	91	3	77	3	77	4	95	2,5
34.	88	2,5	95	2	65	1,5	90	3
35.	83	4	100	2	100	1	100	1
36.	69	2	78	1	90	1	88	4
37.	79	1	100	1	95	1	89	2
38.	80	2,5	89	1	84	4	90	2,5
39.	90	2	97	2,5	99	1	100	1
40.	90	3	90	2	100	1,5	100	1
41.	100	4	94	2	90	2	95	2,5
42.	89	2,5	95	3	87	4	90	2
43.	99	2,5	98	1	100	2,5	100	1
44.	94	1	82	1	92	2	100	1
45.	79	2,5	100	1	100	3	100	2
46.	100	3	100	2	85	3	95	2,5
47.	100	1	89	4	87	2,5	99	3
48.	99	1	90	2,5	100	1	99	1
49.	98	1	82	3	90	1	97	2
50.	93	4	80	2	92	1,5	100	2
51.	86	3	91	1,5	87	2	95	2,5
	<b>4578</b>	<b>109,5</b>	<b>4616</b>	<b>112</b>	<b>4579</b>	<b>116</b>	<b>4849</b>	<b>102</b>

**Визначення експертних оцінок та їх рангів навчального посібника  
«Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та  
нетрадиційним обладнанням»**

Навчальний посібник «Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням»								
№ з/п	Оцінка освітньо-наукового STEM-середовища	$R_1$	Оцінка практичних дидактичних засобів	$R_2$	Оцінка системи STEM-показників	$R_3$	Оцінка навчально-методичного забезпечення	$R_4$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	100	1,0	90	1,5	90	2	100	2
2.	90	1,5	95	2	80	3	93	2,5
3.	100	2	98	1	78	4	91	1
4.	100	1	100	1	90	3	89	1,5
5.	85	3	90	2,5	75	2,5	90	1,5
6.	95	2	95	2	85	2	95	2
7.	90	2	100	1	90	1	99	2,5
8.	95	2,5	100	1,5	95	1,5	100	1
9.	100	1	85	4	100	2	100	1
10.	93	2	90	2	90	3	90	2
11.	98	2	95	3	98	2,5	98	2,5
12.	90	1	90	2	95	3	99	2
13.	100	2	98	2	98	2	100	1
14.	87	3	100	2,5	93	2	80	4
15.	89	4	90	1,5	85	2,5	90	3
16.	95	2,5	100	1	79	3	100	1
17.	85	2,5	95	2	90	2	100	1
18.	90	1	100	1,5	100	2	97	3
19.	94	1,5	100	1,5	100	1	95	2,5
20.	100	1	95	2	94	3	100	1
21.	100	1,5	90	2	95	2,5	90	2
22.	95	2	100	1	98	2,5	90	2
23.	96	2	90	2,5	100	1	95	2,5
24.	78	4	90	2,5	90	3	99	2
25.	100	2,5	100	1	95	3,5	100	1
26.	90	1	90	2	90	2	97	2
27.	90	2	100	2	90	2	90	3
28.	95	2	98	2,5	93	2,5	98	2
29.	90	2	100	1	83	3	100	2
30.	89	3	93	2	91	1,5	80	2,5
31.	100	1	95	2	90	1,5	95	1
32.	100	1	90	1,5	95	2	90	1
33.	84	3	93	2	97	2,5	100	2
34.	93	2,5	89	2,5	99	2,5	100	1
35.	100	2	94	2	76	4	90	2,5

*Продовження табл.Б.2.2*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
36.	100	1	90	1,5	100	1	95	2
37.	78	4	89	3	90	1,5	80	3
38.	92	2,5	97	2	87	2	93	1,5
39.	90	2	99	2,5	92	2	100	1
40.	90	2	100	1	90	1,5	100	2
41.	85	3	91	2	95	2	98	1
42.	93	2,5	100	1	100	1	93	1,5
43.	90	2,5	98	1,5	85	3	80	4
44.	94	2	90	1,5	80	3	87	3
45.	100	1	95	2	93	2	90	1
46.	88	3	97	2,5	90	2	99	1
47.	73	2,5	85	3	90	2,5	98	1
48.	100	1,5	95	2,5	100	1	95	1,5
49.	100	1	96	2,5	88	3	85	2
50.	96	2	99	1,5	97	2	99	1
51.	90	2,5	90	2	99	2	100	1
	<b>4735</b>	<b>105</b>	<b>4829</b>	<b>98</b>	<b>4663</b>	<b>114,5</b>	<b>4812</b>	<b>94</b>

**Визначення експертних оцінок та їх рангів до методичних рекомендацій  
«Механика и молекулярная физика. Методические рекомендации к  
выполнению лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-  
микро» для курсантов академии всех специальностей»**

Методичні рекомендації «Механика и молекулярная физика. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-микро» для курсантов академии всех специальностей»								
№ з/п	Оцінка освітньо-наукового STEM-середовища	$R_1$	Оцінка практичних дидактичних засобів	$R_2$	Оцінка системи STEM-показників	$R_3$	Оцінка навчально-методичного забезпечення	$R_4$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	90	2,5	100	1	90	2	90	2,5
2.	96	2	100	2	100	1	93	2
3.	93	1,5	100	1	100	2	90	2
4.	100	1	95	2	86	2,5	100	1
5.	67	2,5	80	3	85	2,5	89	3
6.	78	1,5	99	2	90	2	92	2
7.	94	2,5	84	3	80	3	100	1
8.	90	3	94	2,5	90	2	100	1
9.	92	3	100	1	97	2	90	2
10.	80	4	100	1	100	1	96	2
11.	75	3	99	2,5	90	1,5	89	3
12.	80	2	100	1	90	1,5	93	2
13.	93	2,5	90	2,5	95	1,5	100	1
14.	91	2	100	2	99	2	89	3
15.	96	2,5	100	1	100	1	93	2,5
16.	95	2	90	2	95	2,5	94	2
17.	90	2	85	3	80	3	87	3
18.	94	1	98	2,5	98	2	90	2
19.	90	2,5	100	1	100	1	98	1,5
20.	75	3	95	2	90	2,5	100	1
21.	76	4	90	2,5	93	2	99	2
22.	100	1	100	2	93	2	97	1,5
23.	100	1	100	1	100	1	98	1,5
24.	85	4	93	2,5	99	1	100	1
25.	93	3	99	2	99	2	89	2
26.	100	1	98	2	100	1	90	2,5
27.	76	3	90	2,5	89	3	90	2,5
28.	80	2,5	95	2	90	2	95	2
29.	99	1	95	2	80	3	98	2,5
30.	100	1	100	1	99	1	100	1
31.	100	3	87	3	100	1	90	2,5
32.	88	2,5	95	2,5	98	2	95	2
33.	80	2,5	90	2	90	2	90	2,5



## Продовження табл. Б.2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
34.	100	1	89	2,5	97	2	98	2
35.	100	1	80	3	98	1,5	97	2
36.	89	2	91	2,5	99	1,5	92	2,5
37.	100	1	86	3	90	1,5	100	1
38.	90	2	69	4	96	2	94	2
39.	90	2	79	3	85	3	92	2,5
40.	96	2	80	2,5	93	2,5	87	3
41.	95	2,5	100	2	100	1	100	1
42.	90	1	78	3	90	2	91	2
43.	99	1	80	2,5	89	1,5	95	2
44.	94	2	98	2	90	1,5	86	3
45.	100	1	75	3	94	2	78	4
46.	67	3	85	3	90	2	79	3
47.	89	2,5	90	2,5	95	2	91	2
48.	93	2,5	100	1	100	1	90	2,5
49.	90	2	89	2	90	2	92	2,5
50.	90	2	96	2	89	3	95	2
51.	92	2	87	3	90	2,5	90	2
	<b>4600</b>	<b>108</b>	<b>4693</b>	<b>111,5</b>	<b>4760</b>	<b>96</b>	<b>4751</b>	<b>106</b>

**Визначення експертних оцінок та їх рангів до навчального посібника  
«Фізика. Пособие для выполнения лабораторных работ»**

<b>Навчального посібника «Фізика. Пособие для выполнения лабораторных работ»</b>								
№ з/п	Оцінка освітньо-наукового STEM-середовища	$R_1$	Оцінка практичних дидактичних засобів	$R_2$	Оцінка системи STEM-показників	$R_3$	Оцінка навчально-методичного забезпечення	$R_4$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	96	2,0	95	2,5	93	2	94	1,5
2.	100	1	97	1,5	95	2	90	2
3.	90	1,5	100	1	90	2	95	1,5
4.	95	2	90	2	85	3	100	2
5.	78	2,5	83	3	87	2,5	90	2,5
6.	95	1	98	2	92	2	92	2
7.	94	2,5	82	3	90	2,5	100	1
8.	90	2,5	90	2	91	2	100	1
9.	90	3	98	2	95	2	90	2,5
10.	100	1	100	1	100	1	96	2
11.	100	1	99	2	93	2	90	2,5
12.	90	2	100	1	90	2	93	2,5
13.	95	2,5	90	2,5	90	1,5	100	1
14.	89	2	95	2	90	2	91	3
15.	90	2	100	1	100	1	93	2,5
16.	95	2	92	2	95	1,5	94	2
17.	100	1	90	3	89	3	90	3
18.	92	1	97	2	99	2	90	2
19.	90	2	100	1	100	1	98	1,5
20.	80	4	90	2	93	2,5	100	1
21.	76	3	86	3	97	1,5	99	2
22.	96	1,5	100	2	90	2	97	1
23.	100	1	99	1	100	1	98	1,5
24.	90	2,5	90	2,5	95	2	100	1
25.	90	2,5	95	2	95	2	91	2
26.	100	1	95	2	100	1	90	2,5
27.	89	2	90	2,5	95	2,5	90	2,5
28.	85	2,5	100	2	90	2	95	2
29.	99	1,5	89	2,5	86	3	96	2,5
30.	100	1	100	2	98	1	100	1
31.	100	2	90	2,5	100	1	100	2,5
32.	85	2,5	95	2,5	100	2	95	2
33.	80	2,5	90	2	95	2	90	2,5
34.	100	1	89	2,5	97	2	98	2
35.	100	1	80	3	98	1	97	2
36.	90	2	93	2	96	1,5	95	2,5

*Продовження табл. Б.2.4*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
37.	100	1	86	3	92	2	100	1
38.	95	2	84	3	96	2	94	2
39.	90	2,5	89	3	90	3	90	2,5
40.	100	1	90	2,5	95	2,5	87	3
41.	95	2,5	100	2	100	1	100	1
42.	91	2	82	3	100	2	90	2,5
43.	95	2	90	2,5	95	1,5	95	2
44.	100	2	98	2	90	2	86	3
45.	100	1	92	3	95	2	95	4
46.	75	4	90	3	90	2	90	2,5
47.	80	3	95	2,5	96	2	94	2
48.	93	2	100	1	100	1	97	2,5
49.	93	2	93	2	100	1	92	2,5
50.	90	2,5	90	2	91	2,5	95	2
51.	90	2	90	3	90	2,5	92	2
	<b>4716</b>	<b>99,5</b>	<b>4736</b>	<b>112</b>	<b>4809</b>	<b>96</b>	<b>4814</b>	<b>105</b>

**Визначення експертних оцінок та їх рангів до монографії «Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти»**

<b>Монографія «Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти»</b>								
№ з/п	Оцінка освітньо-наукового STEM-середовища	$R_1$	Оцінка практичних дидактичних засобів	$R_2$	Оцінка системи STEM-показників	$R_3$	Оцінка навчально-методичного забезпечення	$R_4$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	90	2,0	90	2	90	2	95	1,5
2.	100	2	97	1,5	97	1,5	90	2
3.	100	1	100	1	90	2	95	1,5
4.	95	2,5	100	2	85	3	100	2
5.	90	2	100	2	86	2,5	90	2,5
6.	95	1,5	98	2	90	2	90	2
7.	90	2	95	1,5	90	2,5	100	1
8.	90	2	90	2	91	2	100	1
9.	95	2	98	1	95	2	95	2,5
10.	100	1	100	1	100	1	95	2
11.	100	2	100	2	95	2	90	2,5
12.	95	1,5	100	1	91	2	93	2,5
13.	95	1,5	90	2,5	90	2	100	1
14.	92	2,5	95	2	94	2	90	2
15.	90	2,5	100	1	100	1	95	2
16.	95	2	92	2	99	1	94	2
17.	100	2	95	2,5	89	3	90	2,5
18.	100	1	97	2	99	2	90	2
19.	90	2	100	1	100	1	99	1,5
20.	85	3	90	2	100	2	100	1
21.	80	3	91	2,5	97	1,5	99	2
22.	96	1,5	100	2	90	2	97	1
23.	100	1	100	1	100	1	98	1,5
24.	92	2,5	90	2	98	2	100	1
25.	92	2,5	95	2	92	2	90	2,5
26.	100	1	96	1,5	100	1	90	2,5
27.	100	2	90	2,5	95	2,5	90	2,5
28.	92	2	100	2	90	2	95	2
29.	99	1	90	2,5	85	3	100	2,5
30.	100	1	100	2	93	2	100	2
31.	100	2	90	2,5	100	1	100	2,5
32.	87	3	95	2	100	2	95	2
33.	90	2,5	90	2	100	2	90	2,5
34.	100	1	90	2,5	97	2	98	2

*Продовження табл. Б.2.5*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
35.	100	2	80	3	95	1	97	2
36.	90	2	93	2	100	1,5	95	2,5
37.	100	1	86	3	92	2	100	1
38.	97	2	92	3	98	2	95	2
39.	90	2,5	92	3	100	3	90	2,5
40.	100	1	90	2,5	95	2,5	95	2,5
41.	95	2	100	2	100	1	100	1
42.	92	2	90	3	100	2	90	2,5
43.	95	2	93	2,5	100	1,5	95	2
44.	100	1	100	2	90	2	94	3
45.	100	1	92	3	95	2	95	3
46.	90	4	100	1	92	2	90	2,5
47.	90	2,5	95	2,5	96	2	94	2
48.	95	2	100	1	100	1	97	2,5
49.	95	2	93	2	100	1	92	2,5
50.	90	2,5	90	2	98	2	95	2
51.	94	2	90	2,5	90	1,5	96	2
	<b>4838</b>	<b>97,5</b>	<b>4820</b>	<b>103</b>	<b>4849</b>	<b>94,5</b>	<b>4843</b>	<b>103</b>













## Дані про визначення компетентності експертів

№ з/п	Джерело аргументації						Коеф. аргум. $K_a$	Коеф. знайомства $K_s$	Коеф. комп. $K_k$
	1	2	3	4	5	6			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,8	0,85
2.	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0,9	0,95
3.	0,02	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,72	0,9	0,81
4.	0,02	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,72	0,8	0,76
5.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,9	0,9
6.	0,3	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,7	0,8	0,75
7.	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0,8	0,9
8.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,8	0,85
9.	0,2	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,8	0,9	0,85
10.	0,2	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,8	0,9	0,85
11.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	1	0,95
12.	0,3	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,7	0,9	0,8
13.	0,1	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,7	0,7	0,7
14.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,9	0,9
15.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,9	0,9
16.	0,3	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,7	0,9	0,8
17.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,8	0,85
18.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,9	0,9
19.	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0,7	0,85
20.	0,2	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	1	0,95
21.	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1	1	1
22.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	1	0,95
23.	0,3	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,7	0,9	0,8
24.	0,3	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,7	0,9	0,8
25.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,6	0,75
26.	0,2	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,8	0,8	0,8
27.	0,2	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,8	0,85
28.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,8	0,85
29.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,7	0,8
30.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,8	0,85
31.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,7	0,8
32.	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0,9	0,95
33.	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0,9	0,95
34.	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0,5	0,75
35.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,6	0,75
36.	0,2	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,8	0,9	0,85
37.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,9	0,9
38.	0,2	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,8	0,8	0,8
39.	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0,8	0,9

## Продовження табл. Б.4.1

№ з/п	Джерело аргументації						Коеф. аргум $K_a$	Коеф. знайомства $K_s$	Коеф. комп. $K_x$
	1	2	3	4	5	6			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
40.	0,2	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,7	0,8
41.	0,2	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,9	0,9
42.	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0,5	0,75
43.	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0,9	0,95
44.	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,6	1	0,8
45.	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,8	0,85
46.	0,2	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	1	0,95
47.	0,3	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,7	0,9	0,8
48.	0,3	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,7	0,8	0,75
49.	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0,9	0,95
50.	0,2	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,8	0,85
51.	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1	0,8	0,9

## ДОДАТОК В

### Результати педагогічного експерименту

Додаток В.1

### Діаграми коефіцієнта сформованості компетентності студентів за компонентами



Рис. В.1.1. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів когнітивно-операційного компонента – початковий рівень

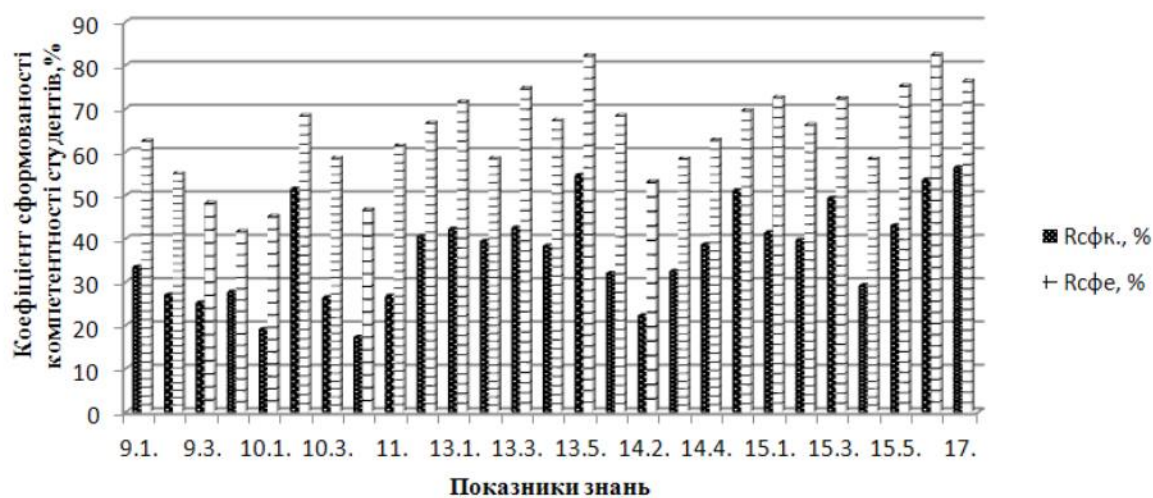


Рис. В.1.2. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів когнітивно-операційного компонента – середній рівень

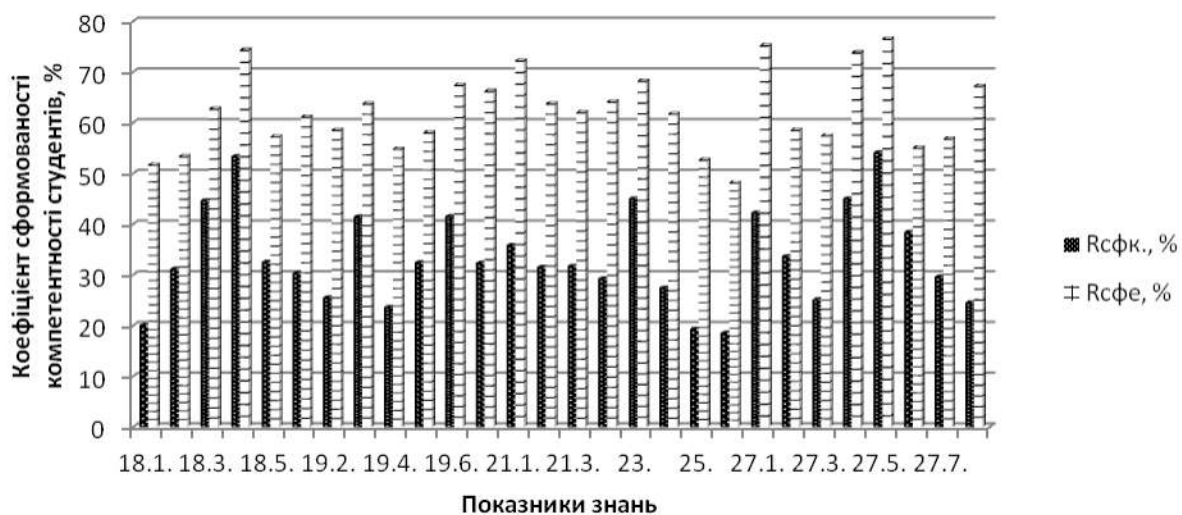


Рис. В.1.3. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів когнітивно-операційного компонента – достатній рівень

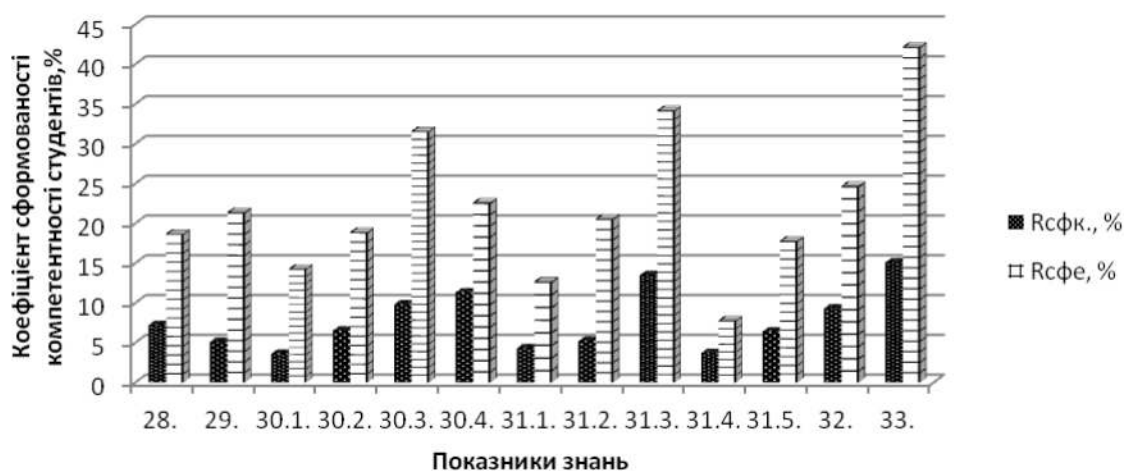


Рис. В.1.4. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів когнітивно-операційного компонента – високий рівень

### Орієнтаційно-контрольний компонент

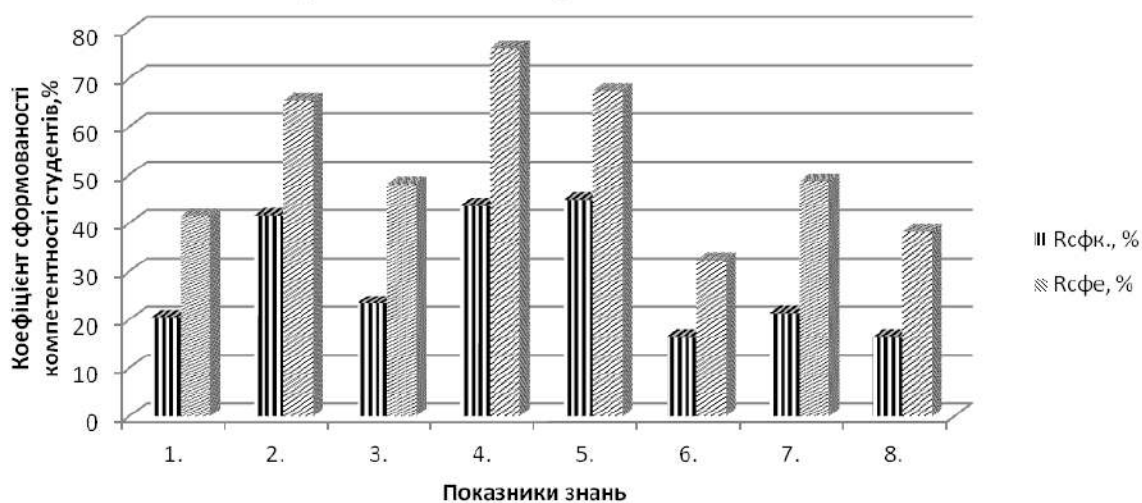


Рис. В.1.5. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів орієнтаційно-контрольного компонента – початковий рівень

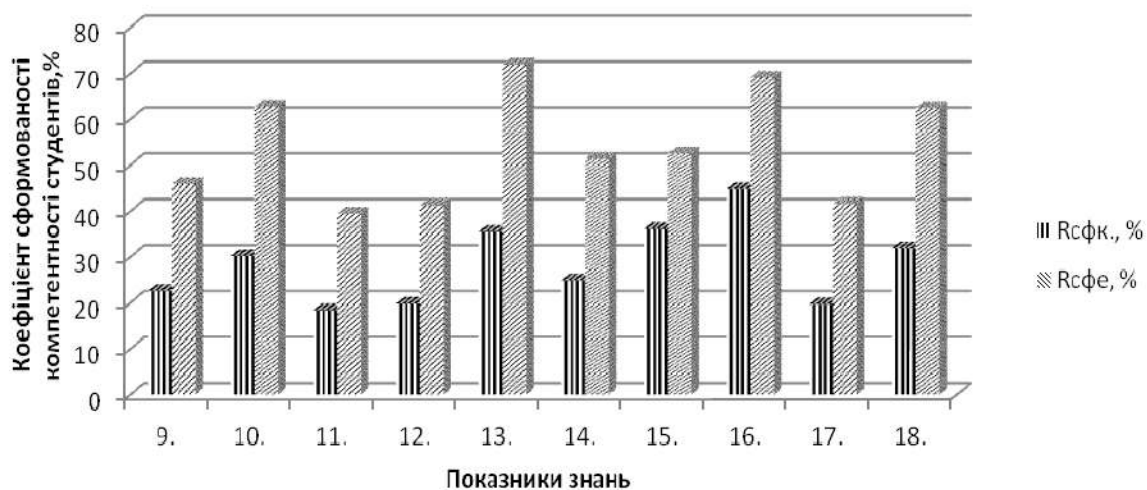


Рис. В.1.6. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів орієнтаційно-контрольного компонента – середній рівень

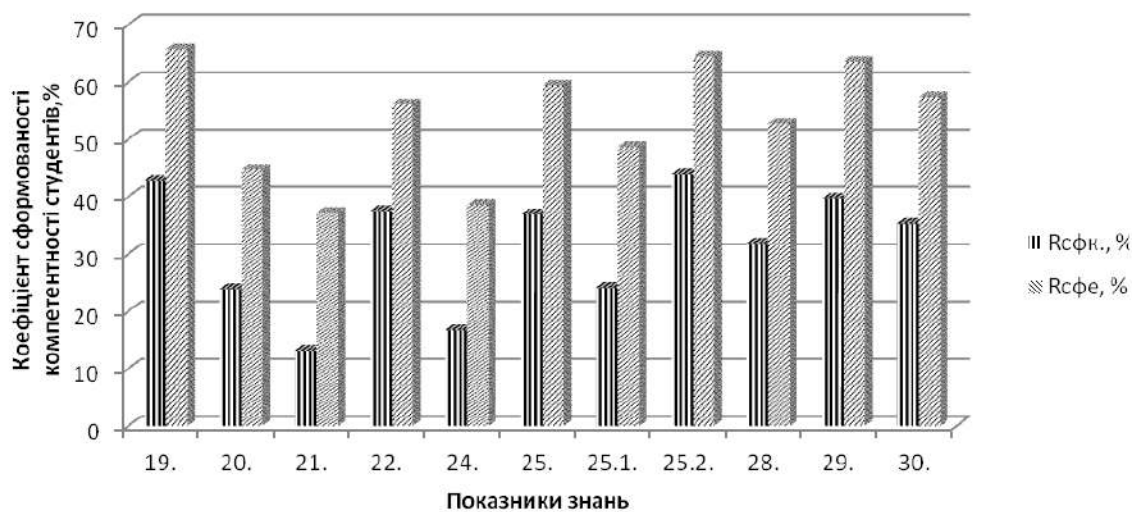


Рис. В.1.7. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів орієнтаційно-контрольного компонента – достатній рівень

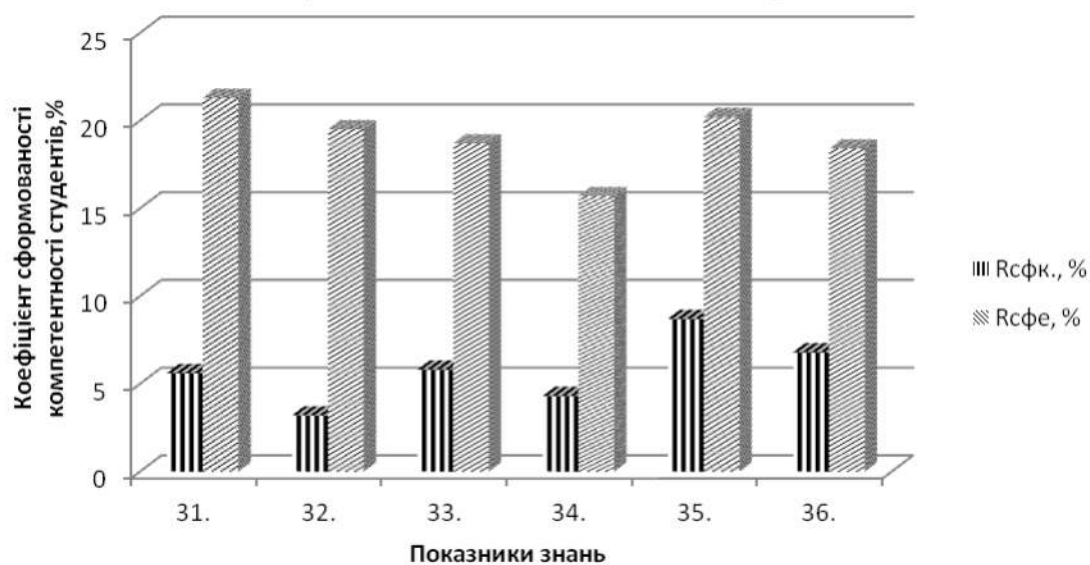


Рис. В.1.8. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів орієнтаційно-контрольного компонента – високий рівень

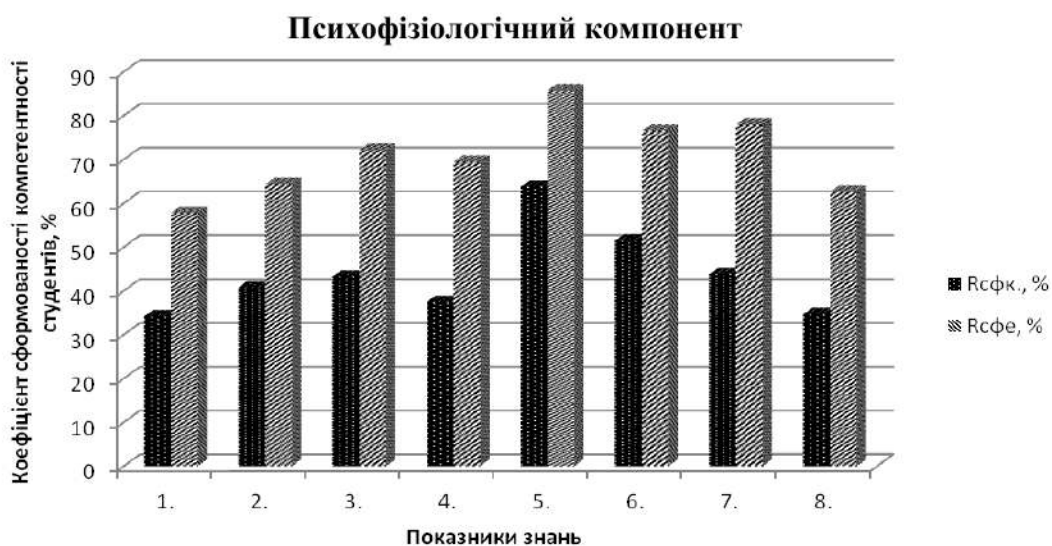


Рис. В.1.9. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів психофізіологічного компонента – початковий рівень

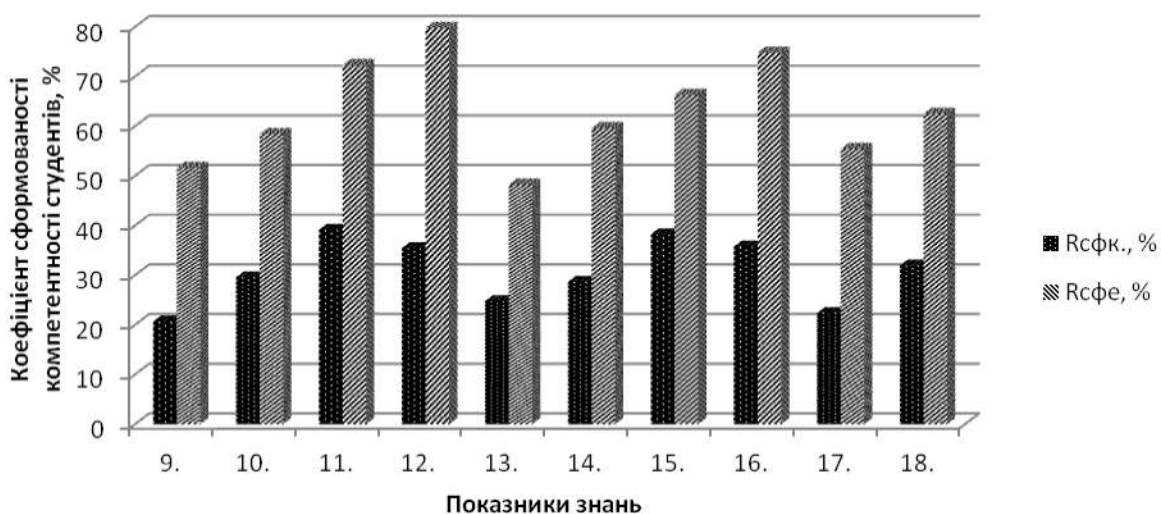


Рис. В.1.10. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів психофізіологічного компонента – середній рівень

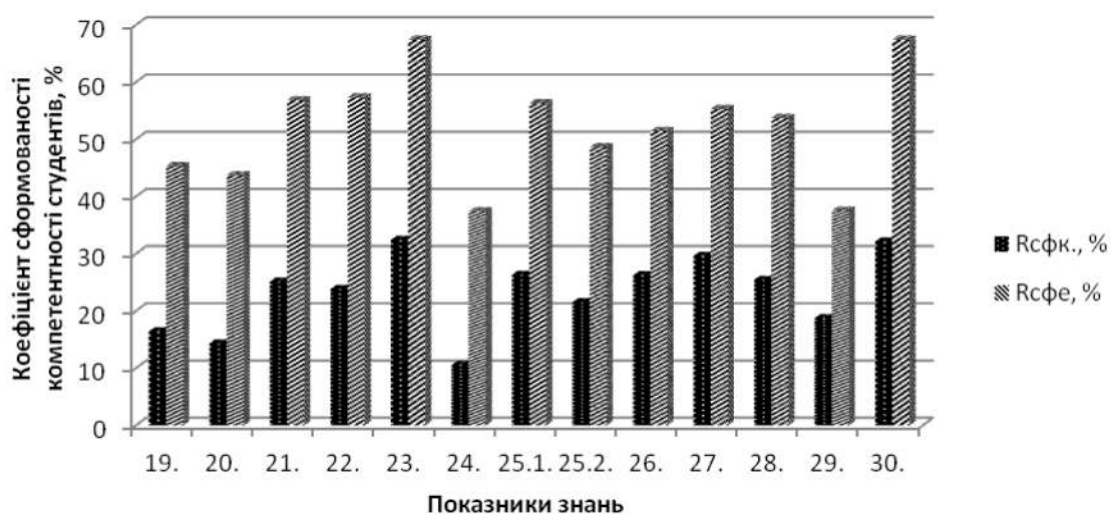


Рис. В.1.11. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів психофізіологічного компонента – достатній рівень



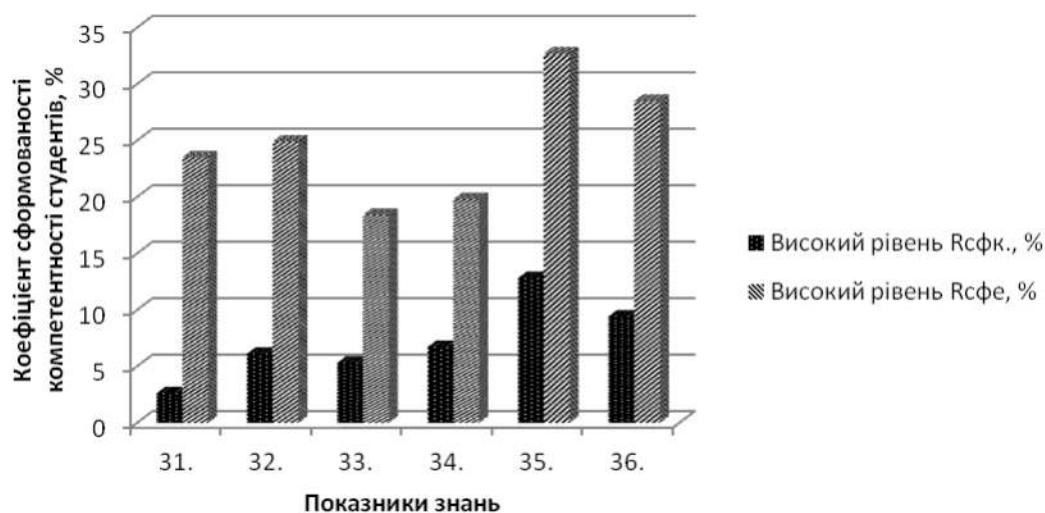


Рис. В.1.12. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів психофізіологічного компонента – високий рівень

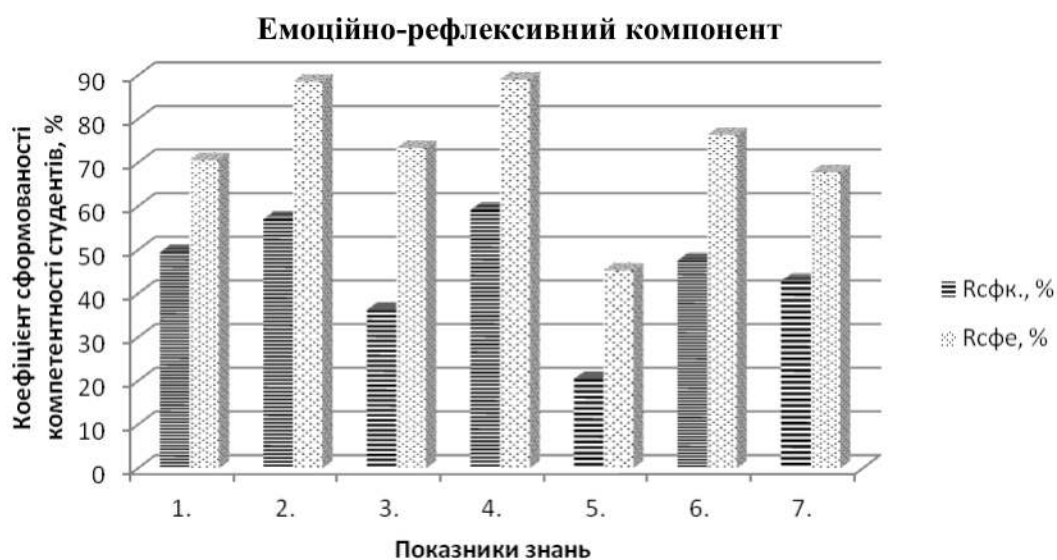


Рис. В.1.13. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів емоційно-рефлексивного компонента – початковий рівень

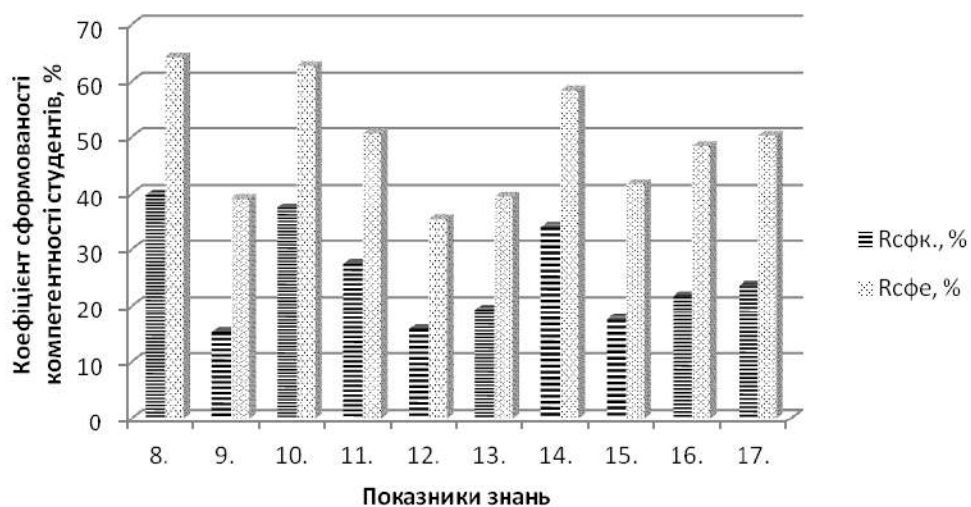


Рис. В.1.14. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів емоційно-рефлексивного компонента – середній рівень

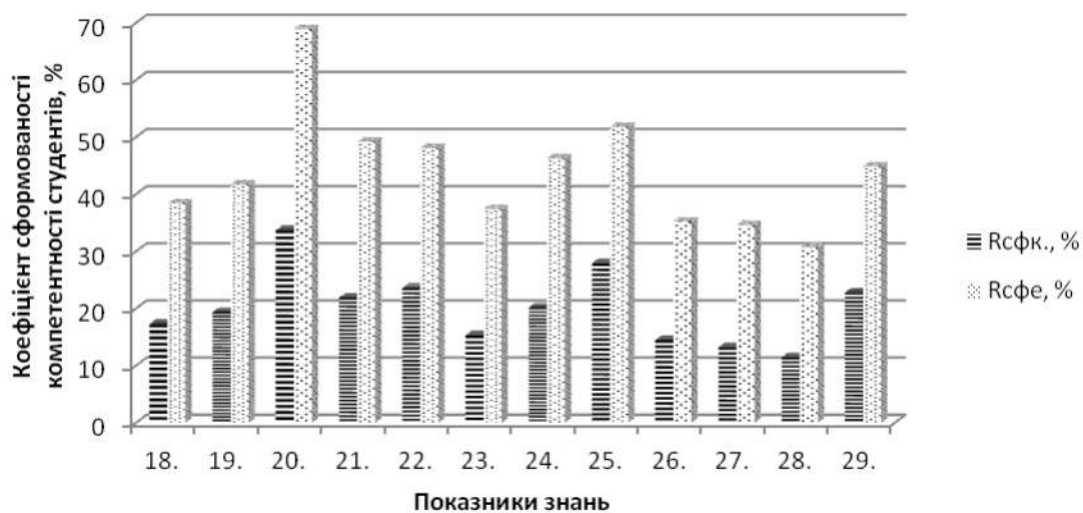


Рис. В.1.15. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів емоційно-рефлексивного компонента – достатній рівень

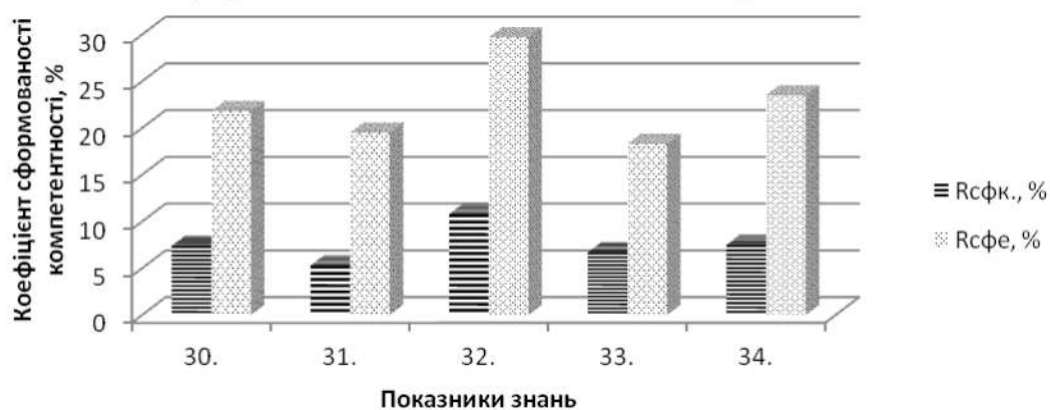


Рис. В.1.16. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів емоційно-рефлексивного компонента – високий рівень

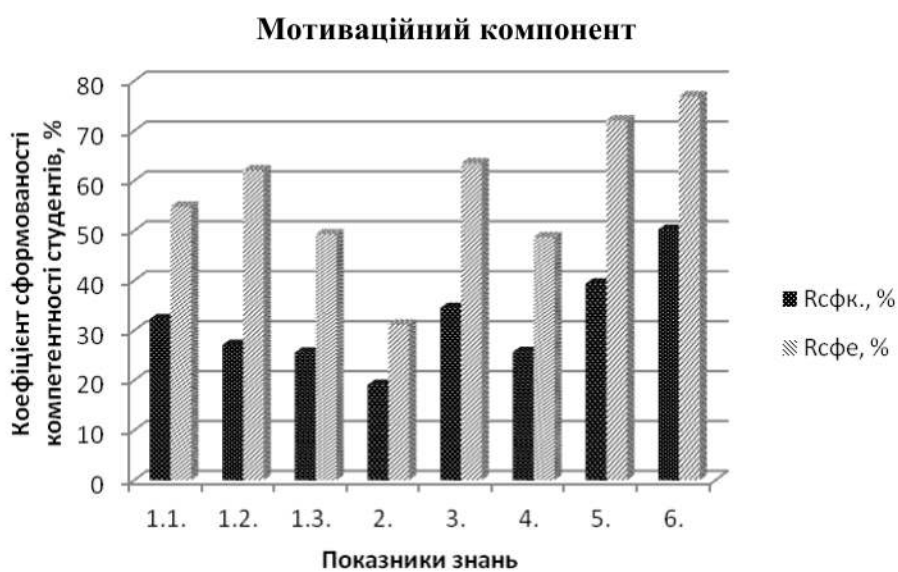


Рис. В.1.17. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів мотиваційного компонента – початковий рівень

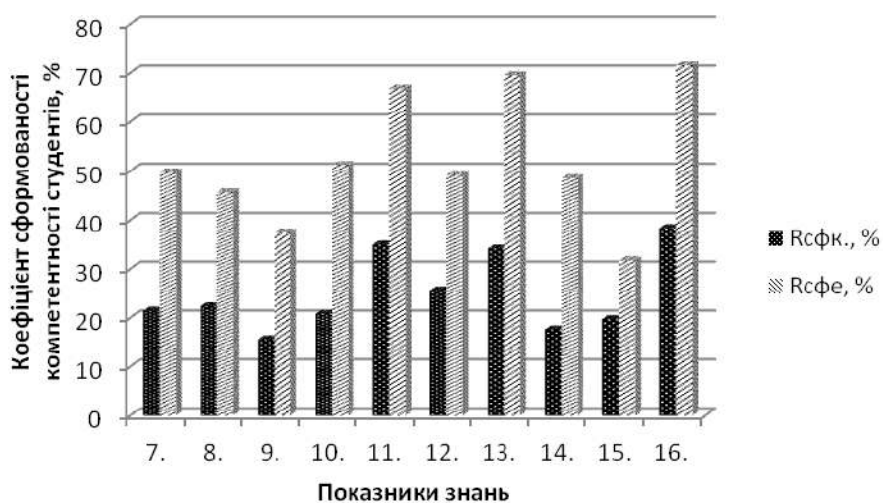


Рис. В.1.18. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів мотиваційного компонента – середній рівень

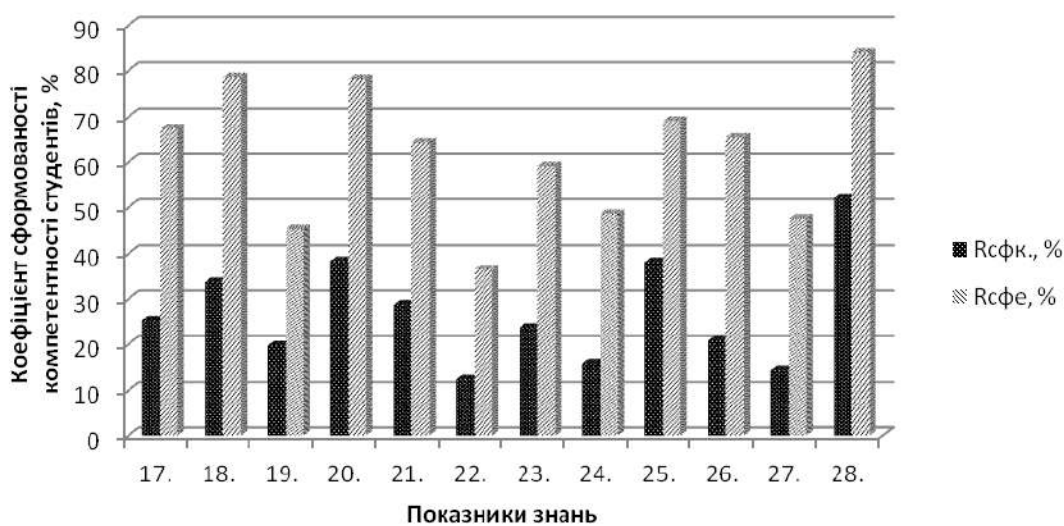


Рис. В.1.19. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів мотиваційного компонента – достатній рівень

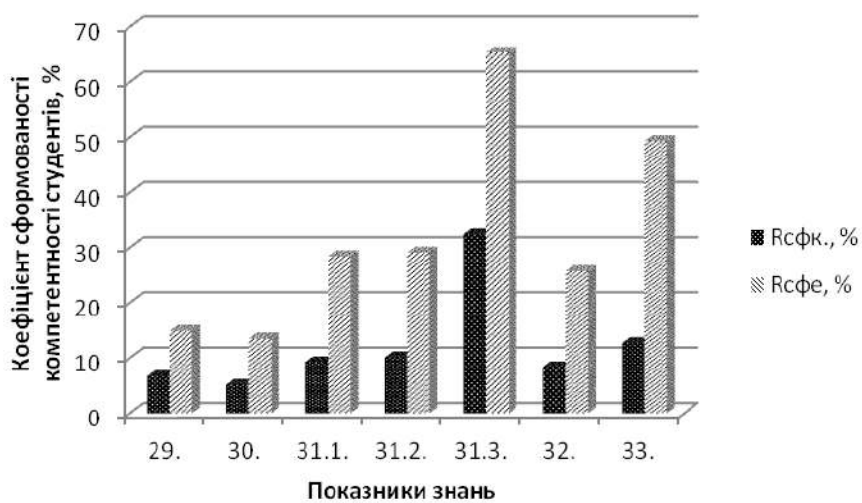


Рис. В.1.20. Діаграма коефіцієнта сформованості компетентності студентів мотиваційного компонента – високий рівень

## Визначення компонентів для констатувального експерименту

Таблиця В.2.1

**Результати констатувального експерименту за когнітивно-операційним компонентом (88 показників)  
(345 студентів)**

№ з/п	Показники за когнітивно-операційним компонентом (88 показників)	R <sub>сф</sub> (%)	К-ть правильних відповідей
1	2	3	4
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ (21 показник)</b>			
1.	Знання понять:		
1.1.	– імпульс та його властивості;	35,7	123
1.2.	– теорії класичної фізики;	47,8	165
1.3.	– властивості повітряного потоку;	32,5	112
1.4.	– термодинамічні величини (температура, теплота, вільна енергія, робота);	35,9	124
1.5.	– статистичні закономірності будови речовин;	42,1	145
1.6.	– хвильові властивості світла (дифракція, інтерференція, поляризація);	54,8	189
1.7.	– закони класичної механіки.	47,2	163
2.	Знання понять:		
2.1.	– магнітне поле струму та його властивості;	44,8	155
2.2.	– закони Ньютона;	57,4	198
2.3.	– перетворення Галілея;	43,7	151
2.4.	– перетворення Лоренца;	23,9	82
2.5.	– закони Фарадея;	41,4	143
2.6.	– рівняння Максвелла;	36,3	125
2.7.	– закони відбивання та заломлення світла;	67,1	231
2.8.	– абсолютно тверде тіло	45,7	158
3.	Симетрія відносно точки.	21,6	75
4.	Поворот тіла на певний кут навколо деякої осі.	22,6	78
5.	Будова та форма кристалів.	46,2	159
6.	Фундаментальні частинки.	28,6	99
7.	Знання базової термінології, законів, фактів з фізики.	52,3	180
8.	Уміння прогнозувати результати навчання з фізики.	34,8	120
<b>Усього за початковим рівнем</b>		<b>41,1</b>	<b>2975</b>
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ (26 показників)</b>			
9.	Засвоєння студентом технологічних знань:		
9.1.	– фундаментальні фізичні теорії;	37,8	130
9.2.	– сутність інноваційної самостійної навчальної діяльності в оволодінні технологіями;	32,5	112
9.3.	– методи навчання та методи дослідження і їх співвідношення у процесі учіння.	27,8	96
10.	Оволодіння професійною компетентністю:		
10.1.	– усвідомлення системи фундаментальних наскрізних понять з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	22,4	77

## Продовження табл. В.2.1

1	2	3	4
10.2.	– науково-дослідна здатність розробляти інноваційні освітні продукти діяльності;	56,3	193
10.3.	– створення власної технології STEM-навчання фундаментальних понять фізики;	24,4	84
10.4.	– узагальнення інженерно-технічного складника для новітнього тлумачення традиційних понять фізики.	22,8	79
11.	Визначення $m, x_i$ літака для різних умов (завантажений, пустий та ін.).	34,7	120
12.	Визначення схеми сил, що діють на літак.	44,7	154
13.	Визначення:		
13.1.	– траєкторії посадки літака;	45,6	157
13.2.	– повної аеродинамічної сили літака;	37,3	129
13.3.	– балансування літака в повздовжньому русі;	45,2	156
13.4.	– визначення сили лобового опору тіл різної форми;	42,1	145
13.5.	– дослідження підйомної сили крила літака.	52,9	183
14.	Усвідомлення знань:		
14.1.	– поняття шарнірно рухомої опори;	37,3	129
14.2.	– кососиметричне та симетричне навантаження;	26,4	91
14.3.	– симетрія рівняння Бернуллі;	37,4	129
14.4.	– симетрія однорідного середовища;	36,9	127
14.5.	– симетрія зображень в оптиці.	52,8	182
15.	Особливості понять:		
15.1.	– перетворення часу в класичній механіці;	44,7	154
15.2.	– інваріантність;	43,9	151
15.3.	– електромагнітне поле та хвиля;	47,2	163
15.4.	– консервативні сили;	32,7	113
15.5.	– потенціальна, кінетична, повна енергія.	46,2	159
16.	Навички самостійного здобуття інформації з підручників та інших джерел.	57,3	198
17.	Уміння самостійної пізнавальної діяльності за рахунок забезпечення студентів потрібними відомостями, порадами й рекомендаціями щодо роботи з основними видами навчальної інформації.	54,8	189
<b>Усього за середнім рівнем</b>		<b>40,13</b>	<b>3600</b>
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ (28 показників)</b>			
18.	Поняття:		
18.1.	– квантовий гармонічний осцилятор;	22,4	77
18.2.	– теорема про три сили;	34,7	120
18.3.	– теорема про зміну кінетичної енергії точки;	47,3	162
18.4.	– закони збереження руху мас механічної системи;	58,3	201
18.5.	– властивості гіроскопу з трьома ступенями свободи.	36,1	125
19.	Володіння знаннями, необхідними для ефективного виконання завдань з фізики:		
19.1.	– класичні динамічні змінні;	28,5	98
19.2.	– квантові динамічні змінні;	24,7	95

## Продовження табл. В.2.1

1	2	3	4
19.3.	– замкнена система, перетворення часу;	43,7	151
19.4.	– гільбертовий простір;	26,2	90
19.5.	– векторний та скалярний потенціали;	33,8	117
19.6.	– рівняння нерозривності, ідеальна рідина.	43,2	149
20.	Використання STEM для одержання 4-складових інтегративних відомостей про навчальну інформацію з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	29,5	102
21.	Виокремлення теоретичного й технологічного складників:		
21.1.	– сукупність фундаментальних наскрізних знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	37,4	129
21.2.	– знання, які є інженерною основою пошукової пізнавальної діяльності майбутнього фахівця;	34,8	120
21.3.	– теоретичні знання про основні поняття та методи фізики, які є основою технологічної підготовки фахівців авіаційної галузі.	29,3	101
22.	Виявлення інженерної креативності та системності під час відтворення фундаментальних понять з фізики.	33,4	115
23.	Прояв оперативності мислення в ситуаціях пошуку та застосування поняття симетрії в технічних ЗВО.	43,2	149
24.	Володіння загальнотеоретичними вміннями успішно застосовувати STEM підходи у здобутті знань зорієнтованих на технічну галузь.	24,8	86
25.	Взаємозв'язок класичної та квантової фізики.	17,3	59
26.	Уміння прогнозувати навчання фізики на інженерну проектну діяльність фахівця технічної галузі.	21,6	75
27.	Розуміння понять:		
27.1.	– наукові фізичні та технічні факти;	45,1	156
27.2.	– наукові поняття, процеси;	36,7	127
27.3.	– фізична величина;	27,9	96
27.4.	– закон, правило, закономірність;	42,1	145
27.5.	– теорія та її наслідки;	56,3	194
27.6.	– правило, принцип, постулат;	43,1	149
27.7.	– гіпотеза;	33,5	116
27.8.	– модель.	27,4	95
<b>Усього за достатнім рівнем</b>		<b>35,2</b>	<b>3399</b>
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ (13 показників)</b>			
28.	Володіння методологічними знаннями з обґрунтування фізичних закономірностей.	10,5	36
29.	Високий рівень здатності до навчання фізики на основі STEM-технологій.	7,3	25
30.	Знання понять:		
30.1.	– теорема Пойтінга;	4,8	17
30.2.	– диференціальні рівняння руху центра мас механічної системи;	8,4	29
30.3.	– особливості польоту в умовах турбулентної	12,6	43

## Продовження табл. В.2.1

1	2	3	4
	атмосфери;		
30.4.	– центрування літака за допомогою баласту та вантажу.	14,6	50
31.	Знання фундаментальних понять:		
31.1.	– рівняння Шредінгера;	6,4	22
31.2.	– рівняння Максвелла;	7,3	25
31.3.	– закон збереження механічної енергії;	17,5	60
31.4.	– закон збереження для тензора енергії-імпульсу системи;	6,3	22
31.5.	– центр аеродинамічного тиску та фокус.	9,3	32
32.	Кваркова будова речовин.	12,7	44
33.	Симетрія та її властивості.	19,4	67
<b>Усього за високим рівнем</b>		<b>10,5</b>	<b>472</b>
<b>Разом</b>		<b>34,41</b>	<b>10446</b>

**Результати констатувального експерименту за орієнтаційно-контрольним компонентом (36 показників)  
(345 студентів)**

№ з/п	Показники за орієнтаційно-контрольним компонентом (36 показників)	R <sub>сф</sub> (%)	К-ть правильних відповідей
1	2	3	4
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ (8 показників)</b>			
1.	Виявляє первинне розуміння STEM-засобів навчання.	22,7	78
2.	Відтворення навчального матеріалу з фізики у професійних дисциплінах.	43,2	149
3.	Роль поняття симетрії у формуванні професійної здатності фахівця авіаційної галузі.	26,1	90
4.	Уміння визначати роль контрольних функцій фахівця авіаційної галузі.	47,3	163
5.	Використання фундаментальних понять з фізики для аналізу технічних ситуацій.	46,2	159
6.	Уміння підбирати необхідні прилади та обладнання для виконання системи демонстрацій з професійно спрямованої фізики.	19,5	67
7.	Уміння спостерігати динаміку фізичних явищ у професійній діяльності.	23,7	82
8.	Розвиток передбачливості у технологічних процесах.	19,6	68
<b>Усього за початковим рівнем</b>		<b>31,01</b>	<b>856</b>
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ (10 показників)</b>			
9.	Проектування наступності розвитку ситуації в залежності від початкових умов.	24,5	85
10.	Передбачення результуючого продукту навчального дослідження технічного проекту.	32,7	113
11.	Здатність до аналізу, синтезу, систематизації знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	18,4	63
12.	Уміння виділення організаційно-плануючих компонентів навчальної діяльності у становленні фахівця технічної галузі.	22,4	77
13.	Усвідомлення цілей і завдань діяльності з оволодіння фундаментальними фізичними поняттями та професійними знаннями.	37,3	129
14.	Рівень самоконтролю і самооцінки у досягненні мети навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	26,8	92
15.	Виявлення зворотного зв'язку в освітньому процесі з фізики.	38,3	132
16.	Уміння шукати та знаходити причини своїх помилок.	47,1	162
17.	Прогноз ефективності обраного засобу на підставі мисленнєвого моделювання.	21,4	74
18.	Уміння осмислити теми нового матеріалу й основних проблем.	23,8	82



1	2	3	4
<b>Усього за середнім рівнем</b>		<b>29,2</b>	<b>1009</b>
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ (12 показників)</b>			
19.	Рівень активної інтелектуальної чи практичної діяльності в ході розв'язування задач з фізики.	44,7	154
20.	Створення STEM-засобів, які забезпечують наступність вивчення понять курсу фізики від механіки до Всесвіту.	25,9	89
21.	Володіння методами створення STEM освітнього середовища.	16,7	58
22.	Рівень сформованості професійно зорієнтованих знань фізичного спрямування.	40,4	139
23.	Володіння ланкою учіння: орієнтація-виконання-контроль для досягнення мети навчання.	46,2	159
24.	Знання сутності орієнтовної основи дій у навчанні фізики, як системи орієнтирів і вказівок для виконання STEM завдань.	18,5	64
25.	Ступінь повноти, міра узагальненості, спосіб одержання, спосіб формування орієнтовної основи вивчення фізики.	38,2	132
26.	Уміння оцінювати модель освітнього процесу з фізики та технічних дисциплін.	27,5	95
27.	Здатність виконувати навчальні пошуково-творчі завдання (на лабораторних та практичних заняттях).	47,2	163
28.	Здатність орієнтуватися на виявлення суттєвих зв'язків між поняттями та явищами фізики та техніки.	34,8	120
29.	Уміння аналізувати способи та результати власної професійно-спрямованої діяльності.	41,6	144
30.	Формування готовності до професійної діяльності.	39,3	136
<b>Усього за достатнім рівнем</b>		<b>35,1</b>	<b>1453</b>
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ (6 показників)</b>			
31.	Уміння вибору творчих завдань.	7,3	25
32.	Застосування методів наукового STEM дослідження до аналізу технічних ситуацій.	4,4	15
33.	Знання психолого-педагогічних принципів розвитку орієнтувань у фізичних теоріях та фундаментальних поняттях.	6,3	22
34.	Передбачення суперечностей у розвитку фізичних явищ у літальних апаратах.	5,6	19
35.	Уміння аналізувати навчальні проблеми з точки зору STEM.	9,6	33
36.	Місце гіпотези в навчальному експерименті.	7,2	24
<b>Усього за високим рівнем</b>		<b>6,67</b>	<b>138</b>
<b>Разом</b>		<b>27,83</b>	<b>3456</b>

**Результати констатувального експерименту за емоційно-рефлексивним компонентом (35 показників)  
(345 студентів)**

№ з/п	Показники за емоційно-рефлексивним компонентом (35 показників)	R <sub>сф</sub> (%)	К-ть правильних відповідей
1	2	3	4
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ (7 показників)</b>			
1.	Здатність до самопостереження.	51,3	177
2.	Самоаналіз та усвідомлення психоемоційного стану.	59,4	205
3.	Самоусвідомлення особливостей емоційного реагування, поведінки.	39,6	137
4.	Розуміння того, що відбувається в навколишньому світі.	63,5	219
5.	Творче ставлення до вивчення фізики в технічних ЗВО.	24,5	85
6.	Наявність власної позиції щодо прийнятих рішень у професійній діяльності.	49,3	170
7.	Здатність знаходити професійно та особистісно значущу інформацію для задоволення пізнавальних інтересів.	47,2	163
<b>Усього за початковим рівнем</b>		<b>47,86</b>	<b>1156</b>
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ (10 показників)</b>			
8.	Сформованість рефлексивної позиції в оцінюванні власної інноваційної діяльності.	42,4	146
9.	Інтелектуальні вміння виокремлювати основне, аналізувати, співставляти свої дії щодо застосування STEM.	17,5	60
10.	Уміння визначати переваги і недоліки власної компетентності у професійній галузі.	36,2	125
11.	Готовність майбутніх фахівців технічних ЗВО до професійної діяльності.	29,7	102
12.	Уміння генерувати нові ідеї й альтернативні рішення.	18,4	63
13.	Наполегливість у досягненні цілей самоактуалізації та саморозвитку.	23,1	80
14.	Вияв активності в навчанні фундаментальних понять з фізики.	36,3	125
15.	Здатність знаходити перспективу навчальних досліджень з фізики в професійно зорієнтованих дисциплінах.	21,8	75
16.	Уміння ефективно організовувати навчання засобами STEM.	24,7	85
17.	Самостійність у навчанні фізики на основі технологій STEM-освіти.	27,4	95
<b>Усього за середнім рівнем</b>		<b>27,71</b>	<b>956</b>
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ (12 показників)</b>			
18.	Уміння мобілізувати навчальні ресурси на ефективне використання STEM-технологій навчання.	19,5	67
19.	Уміння знаходити недоліки в авіаційних конструкціях літальних апаратів.	21,8	75
20.	Навички підбору ППЗ для проведення фізичного експерименту із засвоєння фундаментальних наскрізних	36,2	125

1	2	3	4
	понять.		
21.	Уміння швидко знаходити інформацію із застосування STEM у навчанні професійно зорієнтованих дисциплін.	24,3	84
22.	Прогноз ефективності обраного засобу на підставі мисленнєвого моделювання.	25,7	89
23.	Рівень формування рефлексивних умінь у розвитку рефлексивної компетентності студентів під час навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	17,8	61
24.	Уміння оцінювати й контролювати навчальні дії, виявляти суперечності в процесі навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	22,1	76
25.	Усвідомлення своєї навчально - дослідницької діяльності і самого себе як її суб'єкта в навчанні фізики.	31,6	109
26.	Поняття оцінно рефлексійного середовища навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	16,3	56
27.	Уміння створювати ефективні проблемно- конфліктні навчальні ситуації під час вивчення технічних дисциплін авіаційної галузі.	15,7	54
28.	Здатність аналізувати знання з фізики для одержання нового знання в технічній галузі.	14,3	49
29.	Освоєння STEM-інновацій та стан розвитку інтересу до планування самостійної навчальної діяльності.	26,4	91
<b>Усього за достатнім рівнем</b>		<b>22,61</b>	<b>936</b>
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ (6 показників)</b>			
30.	Здатність реалізувати навчальні й професійні проекти на основі знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	10,6	37
31.	Розуміння диференційованого змісту аналітико-синтетичної діяльності мислення в навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	7,6	26
32.	Уміння сприймати суперечність між актуалізованими потребами, прагненнями, психічними станами майбутніх фахівців технічної галузі і соціальним замовленням на конкурентоспроможного фахівця.	12,6	43
33.	Співвідношення професійно-рефлексивної позиції майбутнього фахівця технічної галузі з його корпоративними цінностями (моральність, культура, конфіденційність, педагогічна етика).	8,5	29
34.	З'ясування структурно-функціональної моделі розвитку рефлексивного спілкування під час навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	9,4	32
35.	Усвідомлення інтегральної характеристики гностичних, операційних, особистісних і професійних якостей майбутнього фахівця технічної галузі.	6,7	23
<b>Усього за високим рівнем</b>		<b>9,18</b>	<b>190</b>
<b>Разом</b>		<b>26,82</b>	<b>3238</b>

**Результати констатувального експерименту за психофізіологічним компонентом (38 показників) (345 студентів)**

№ з/п	Показники за психофізіологічним компонентом (38 показників)	R <sub>сф</sub> (%)	К-ть правильних відповідей
1	2	3	4
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ (8 показників)</b>			
Психофізіологічна готовність упровадження STEM:			
1.	– рівень функціонування фізіологічних підсистем майбутніх фахівців із забезпечення підтримки високої працездатності під час навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	37,3	129
2.	– упровадження провідних для здійснення професійного навчання когнітивних функцій (мислення, пам'яті, уваги та ін.);	45,7	158
3.	– забезпечення спроможності ефективно адаптуватись до зміни навчальних умов та вимог професійної підготовки майбутніх фахівців технічної галузі;	48,5	167
4.	– формування здатності до ефективної саморегуляції майбутніх фахівців технічної галузі у навчанні професійно зорієнтованих дисциплін.	39,6	137
Ефективні психофізіологічні чинники становлення фахівця технічної галузі:			
5.	Мотивація.	67,3	232
6.	Компетентність.	53,8	186
7.	Досвід.	45,2	156
8.	Ступінь повноти інформації.	39,3	136
<b>Усього за початковим рівнем</b>		<b>47,13</b>	<b>1301</b>
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ (10 показників)</b>			
9.	Розуміння психодіагностики особливостей розвитку мислення, пам'яті, уваги в ході навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	22,6	78
10.	Системна реакція на зовнішні і внутрішні впливи в ході навчання фізики.	31,3	108
Методики STEM, які застосовуються для навчання, діяти у особливих та екстремальних навчальних середовищах:			
11.	– дозволяють визначити індивідуальні особливості, потрібні для якісного засвоєння знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	42,4	146
12.	– дозволяють орієнтуватися на індивідуальні особливості навчання фізиці для використання в екстремальних умовах;	37,3	129
13.	– спрямованні засобів навчання фізики на створення екстремальних умов формування професійно важливих якостей майбутніх фахівців авіаційної галузі;	28,3	98
14.	– дозволяють прогнозувати вірогідність нестандартної, творчої поведінки в екстремальних	31,5	109

1	2	3	4
	умовах навчання.		
15.	Формування психофізіологічної готовності майбутніх авіаторів до майбутньої професійної діяльності.	41,6	144
16.	Формування системи психофізіологічних якостей, які забезпечують ефективну працездатність майбутнього фахівця технічної галузі.	38,3	132
17.	Засвоєння фахівцями стратегій та способів адекватних професійних взаємодій, розвитку у них STEM комунікативних навичок.	24,8	86
18.	Формування у компетентних фахівців технічної галузі високого рівня мотивації до професійної діяльності.	34,5	119
<b>Усього за середнім рівнем</b>		<b>33,30</b>	<b>1149</b>
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ (14 показників)</b>			
19.	Ступінь виразності засвоєння фундаментальних наскрізних знань і зрушень фізіологічних функцій суб'єктів навчання.	15,9	55
20.	Психофізіологічний стан є єдиною функціональною системою, як методологічна база навчання фізики майбутніх фахівців авіаційної галузі.	18,5	64
21.	Психофізіологічний стан у навчанні фізики є складною ієрархічною саморегулювальною системою, що являє собою динамічну єдність внутрішніх компонентів.	27,3	94
22.	Психофізіологічний стан як цілісна реакція майбутнього фахівця технічної галузі на зовнішні та внутрішні стимули, спрямована на досягнення корисного результату у навчанні фізики та технічних дисциплін.	25,7	89
23.	Психофізіологічне забезпечення готовності до діяльності.	34,5	119
24.	Уміння диференціювати ризикоефективні умови професійної діяльності за ступенем інтенсивності впливу чинників навчання фізики та технічних дисциплін.	12,8	44
25.	Психофізіологічне забезпечення навчальної діяльності з фізики для авіаційних фахівців:		
25.1.	– є системою знань, що забезпечують спрямовану на збільшення ефективності та надійності навчальну діяльність;	28,3	98
25.2.	– здійснюється за рахунок контролю, прогнозування та корекції мотивації у навчанні технічних дисциплін.	23,7	82
26.	Усвідомлення наявного та необхідного рівнів розвитку інтелекту.	28,3	98
27.	Визначення умов навчальної діяльності для створення процесу дії екстремальних факторів на майбутніх фахівців авіаційної галузі.	30,2	104
28.	Психофізіологічне забезпечення долання екстремальних умов прийняття рішень на основі знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	26,2	90
29.	Розвиток інтелектуальних цінностей в ході навчання	20,5	71

1	2	3	4
	фізики.		
30.	Спроможність студентів швидко адаптуватись до зміни різноманітних умов та вимог професійної діяльності.	34,1	118
<b>Усього за середнім рівнем</b>		<b>23,31</b>	<b>1126</b>
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ (6 показників)</b>			
31.	Самовизначення ступеню професійної придатності студента до авіатехнічної діяльності.	4,3	15
32.	Психофізіологічне забезпечення готовності майбутніх фахівців технічної галузі до навчальної діяльності, шляхом набуття когнітивних функцій.	8,4	29
33.	Ефективність психофізіологічних впливів зростає за врахування індивідуальних особливостей та можливостей майбутніх фахівців авіаційної галузі.	7,2	25
34.	Уміння аналізувати способи та результати власної професійно-спрямованої діяльності у процесі вирішення завдань з фізики.	8,5	29
35.	Оволодіння когнітивними функціями шляхом проведення спеціалізованих тренінгів, навчання технічної професійної діяльності.	14,3	49
36.	Засвоєння рольових нормативно-професійних компетентностей та цінностей за високого рівня мотивації до навчання.	11,6	40
<b>Усього за високим рівнем</b>		<b>9,03</b>	<b>187</b>
<b>Разом</b>		<b>28,70</b>	<b>3763</b>

## Результати формувального експерименту у КГ та ЕГ

Таблиця В.3.1

## Результати формувального експерименту за когнітивно-операційним компонентом (88 показників)

№ з/п	Показники за когнітивно-операційним компонентом (88 показників)	R <sub>сфк</sub>	К-ть	R <sub>сфе</sub>	К-ть
		(%)	правильних відповідей	(%)	правильних відповідей
		КГ (341 студент)		ЕГ (353 студента)	
1	2	3	4	5	6
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ (21 показник)</b>					
1.	Знання понять:				
1.1.	– імпульс та його властивості;	33,4	114	74,8	264
1.2.	– теорії класичної фізики;	42,3	144	68,3	173
1.3.	– властивості повітряного потоку;	30,1	103	58,4	206
1.4.	– термодинамічні величини (температура, теплота, вільна енергія, робота);	31,4	107	73,9	261
1.5.	– статистичні закономірності будови речовин;	37,4	128	57,5	203
1.6.	– хвильові властивості світла (дифракція, інтерференція, поляризація);	52,3	178	77,7	274
1.7.	– закони класичної механіки	49,6	169	83,8	295
2.	Знання понять:				
2.1.	– магнітне поле струму та його властивості;	39,2	134	66,8	236
2.2.	– закони Ньютона;	61,5	210	86,2	304
2.3.	– перетворення Галілея;	45,4	154	69,3	245
2.4.	– перетворення Лоренца;	18,3	62	48,3	170
2.5.	– закони Фарадея;	41,4	141	66,9	236
2.6.	– рівняння Максвелла;	39,4	134	58,3	206
2.7.	– закони відбивання та заломлення світла;	62,3	212	86,4	305
2.8.	– абсолютно тверде тіло.	43,4	148	58,5	207
3.	Симетрія відносно точки.	26,7	91	57,3	202
4.	Поворот тіла на певний кут навколо деякої осі.	21,3	79	44,7	158
5.	Будова та форма кристалів.	43,6	149	62,4	220
6.	Фундаментальні частинки.	26,2	89	52,7	186
7.	Знання базової термінології, законів, фактів з фізики.	48,6	166	69,5	245
8.	Уміння прогнозувати результати навчання з фізики.	30,5	104	57,6	203
<b>Усього за початковим рівнем</b>		<b>39,32</b>	<b>2816</b>	<b>64,73</b>	<b>4799</b>

1	2	3	4	5	6
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ (26 показників)</b>					
9.	Засвоєння студентом технологічних знань:	33,5	114	62,6	21
9.1.	– фундаментальні фізичні теорії;	27,1	92	55,1	195
9.2.	– сутність інноваційної самостійної навчальної діяльності в оволодінні технологіями;	25,3	86	48,3	170
9.3.	– методи навчання та методи дослідження та їх співвідношення у процесі учіння.	27,8	95	41,7	147
10.	Оволодіння професійною компетентністю:				
10.1.	– усвідомлення системи фундаментальних наскрізних понять з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	19,2	65	45,2	160
10.2.	– науково-дослідна здатність розробляти інноваційні освітні продукти діяльності;	51,6	176	68,4	241
10.3.	– створення власної технології STEM-навчання фундаментальних понять фізики;	26,5	90	58,6	207
10.4.	– узагальнення інженерно-технічного складника для новітнього тлумачення традиційних понять фізики.	17,4	59	46,7	165
11.	Визначення $m_i x_i$ літака для різних умов (завантажений, пустий та ін.).	29,1	99	61,5	217
12.	Визначення схеми сил, що діють на літак.	40,6	138	66,7	235
13.	Визначення:				
13.1.	– траєкторії посадки літака;	42,3	144	71,6	253
13.2.	– повної аеродинамічної сили літака;	39,5	135	58,6	207
13.3.	– балансування літака в повздовжньому русі;	42,6	145	74,7	264
13.4.	– визначення сили лобового опору тіл різної форми;	38,4	131	67,4	238
13.5.	– дослідження підйомної сили крила літака.	54,7	187	82,3	291
14.	Усвідомлення знань:				
14.1.	– поняття шарнірно рухомої опори;	32,1	109	68,4	241
14.2.	– кососиметричне та симетричне навантаження;	22,3	76	53,2	188
14.3.	– симетрія рівняння Бернуллі;	32,6	111	58,5	207
14.4.	– симетрія однорідного	38,7	132	62,8	222



## Продовження табл. В.3.1

1	2	3	4	5	6
	середовища;				
14.5.	– симетрія зображень в оптиці.	51,2	175	69,6	246
15.	Особливості понять:				
15.1.	– перетворення часу в класичній механіці;	41,5	142	72,7	257
15.2.	– інваріантність;	39,8	136	66,3	234
15.3.	– електромагнітне поле та хвиля;	49,4	168	72,4	256
15.4.	– консервативні сили;	29,3	100	58,5	207
15.5.	– потенціальна, кінетична, повна енергія.	43,1	147	75,3	266
16.	Навички самостійного здобуття інформації з підручників та інших джерел.	53,7	183	82,5	291
17.	Уміння самостійної пізнавальної діяльності за рахунок забезпечення студентів потрібними відомостями, порадами й рекомендаціями щодо роботи з основними видами навчальної інформації.	56,5	193	76,4	270
<b>Усього за середнім рівнем</b>		<b>38,66</b>	<b>3428</b>	<b>64,24</b>	<b>5896</b>
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ (28 показників)</b>					
18.	Поняття:				
18.1.	– квантовий гармонічний осцилятор;	20,1	69	51,7	183
18.2.	– теорема про три сили;	31,2	106	53,4	189
18.3.	– теорема про зміну кінетичної енергії точки;	44,7	152	62,8	222
18.4.	– закони збереження руху мас механічної системи;	53,4	182	74,4	263
18.5.	– властивості гіроскопу з трьома ступенями свободи.	32,6	111	57,3	202
19.	Володіння знаннями, важливими для ефективного виконання завдань з фізики:				
19.1.	– класичні динамічні змінні;	30,4	104	61,2	216
19.2.	– квантові динамічні змінні;	25,6	87	58,6	207
19.3.	– замкнена система, перетворення часу;	41,5	142	63,8	225
19.4.	– гільбертовий простір;	23,7	81	54,9	194
19.5.	– векторний та скалярний потенціали;	32,5	111	58,1	205
19.6.	– рівняння нерозривності, ідеальна рідина.	41,6	142	67,5	238
20.	Використання STEM для одержання 4-складових інтегративних відомостей про навчальну інформацію з фізики та професійно зорієнтованих	32,4	110	66,3	234

1	2	3	4	5	6
	дисциплін.				
21.	Виокремлення теоретичного й технологічного складників:				
21.1.	– сукупність фундаментальних наскрізних знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	35,9	122	72,3	255
21.2.	– знання, які є інженерною основою пошукової пізнавальної діяльності майбутнього фахівця;	31,6	107	63,8	225
21.3.	– теоретичні знання про основні поняття та методи фізики, які є основою технологічної підготовки фахівців авіаційної галузі.	31,8	108	62,1	219
22.	Виявлення інженерної креативності та системності під час відтворення фундаментальних понять з фізики.	29,3	100	64,2	227
23.	Прояв оперативності мислення в ситуаціях пошуку та застосування поняття симетрії в технічних ЗВО.	45,1	154	68,3	241
24.	Володіння загальнотеоретичними вміннями успішно застосовувати STEM підходи в здобутті знань зорієнтованих на технічну галузь.	27,5	94	61,8	218
25.	Взаємозв'язок класичної та квантової фізики.	19,4	66	52,7	186
26.	Уміння прогнозувати навчання фізики на інженерну проєктну діяльність фахівця технічної галузі.	18,6	63	48,2	170
27.	Розуміння понять:				
27.1.	– наукові фізичні та технічні факти;	42,3	144	75,3	266
27.2.	– наукові поняття, процеси;	33,7	115	58,6	207
27.3.	– фізична величина;	25,2	86	57,5	203
27.4.	– закон, правило, закономірність;	45,1	154	73,9	261
27.5.	– теорія та її наслідки;	54,2	185	76,6	270
27.6.	– правило, принцип, постулат;	38,5	131	55,1	195
27.7.	– гіпотеза;	29,7	101	56,9	201
27.8.	– модель.	24,6	84	67,3	238
<b>Усього за достатнім рівнем</b>		<b>33,63</b>	<b>3211</b>	<b>62,32</b>	<b>6160</b>
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ (13 показників)</b>					
28.	Володіння методологічними знаннями з обґрунтування фізичних закономірностей.	7,2	25	18,7	66
29.	Високий рівень здатності до навчання фізики на основі STEM-	5,1	17	21,4	76

Продовження табл. В.3.1

1	2	3	4	5	6
	технологій.				
30.	Знання понять:				
30.1.	– теорема Пойтінга;	3,6	12	14,3	50
30.2.	– диференціальні рівняння руху центра мас механічної системи;	6,5	22	18,9	67
30.3.	– особливості польоту в умовах турбулентної атмосфери;	9,8	33	31,6	112
30.4.	– центрування літака за допомогою баласту та вантажу.	11,3	39	22,6	80
31.	Знання фундаментальних понять:				
31.1.	– рівняння Шредінгера;	4,3	15	12,7	45
31.2.	– рівняння Максвелла;	5,2	18	20,6	72
31.3.	– закон збереження механічної енергії;	13,5	46	34,2	121
31.4.	– закон збереження для тензора енергії-імпульсу системи;	3,7	13	7,8	28
31.5.	– центр аеродинамічного тиску та фокус.	6,4	22	17,8	63
32.	Кваркова будова речовин.	9,3	32	24,7	87
33.	Симетрія та її властивості.	15,1	51	42,2	149
<b>Усього за високим рівнем</b>		<b>7,78</b>	<b>345</b>	<b>22,15</b>	<b>1016</b>
<b>Разом</b>		<b>32,66</b>	<b>9800</b>	<b>57,53</b>	<b>17871</b>

**Результати формувального експерименту за орієнтаційно-контрольним компонентом (36 показників)**

№ з/п	Показники за орієнтаційно-контрольним компонентом (36 показників)	R <sub>сфк</sub> (%)	К-ть правильних відповідей	R <sub>сфе</sub> (%)	К-ть правильних відповідей
		КГ (341 студент)		ЕГ (353 студента)	
1	2	3	4	5	6
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ (8 показників)</b>					
1.	Виявляє первинне розуміння STEM-засобів навчання.	20,5	70	41,5	146
2.	Відтворення навчального матеріалу з фізики у професійних дисциплінах.	41,6	142	65,4	231
3.	Роль поняття симетрії у формуванні професійної здатності фахівця авіаційної галузі.	23,4	80	48,1	170
4.	Уміння визначати роль контрольних функцій фахівця авіаційної галузі.	43,7	149	76,3	269
5.	Використання фундаментальних понять з фізики для аналізу технічних ситуацій.	44,9	153	67,5	238
6.	Уміння підбирати необхідні прилади та обладнання для виконання системи демонстрацій з професійно спрямованої фізики.	16,5	56	32,4	114
7.	Уміння спостерігати динаміку фізичних явищ у професійній діяльності.	21,4	73	48,7	172
8.	Розвиток передбачливості у технологічних процесах.	16,5	56	38,2	135
<b>Усього за початковим рівнем</b>		<b>28,56</b>	<b>779</b>	<b>52,23</b>	<b>1475</b>
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ (10 показників)</b>					
9.	Проектування наступності розвитку ситуації в залежності від початкових умов.	22,6	77	45,9	162
10.	Передбачення результуючого продукту навчального дослідження технічного проекту.	30,2	103	62,8	222
11.	Здатність до аналізу, синтезу, систематизації знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	18,4	63	39,5	139
12.	Уміння виділення організаційно-плануючих компонентів навчальної діяльності у становленні фахівця технічної галузі.	19,8	68	41,3	146
13.	Усвідомлення цілей і завдань діяльності з оволодіння фундаментальними фізичними поняттями та професійними знаннями.	35,5	121	71,9	254

1	2	3	4	5	6
14.	Рівень самоконтролю і самооцінки у досягненні мети навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	24,9	85	51,4	181
15.	Виявлення зворотного зв'язку в освітньому процесі з фізики.	36,1	123	52,5	185
16.	Уміння шукати та знаходити причини своїх помилок.	44,8	153	69,1	244
17.	Прогноз ефективності обраного засобу на підставі мисленнєвого моделювання.	19,7	67	41,6	147
18.	Уміння осмислити теми нового матеріалу й основних проблем.	21,3	73	46,7	165
<b>Усього за середнім рівнем</b>		<b>27,26</b>	<b>933</b>	<b>52,26</b>	<b>1845</b>
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ (12 показників)</b>					
19.	Рівень активної інтелектуальної чи практичної діяльності в ході розв'язування задач з фізики.	42,8	146	65,7	232
20.	Створення STEM-засобів, які забезпечують наступність вивчення понять курсу фізики від механіки до Всесвіту.	23,9	81	44,7	158
21.	Володіння методами створення STEM-освітнього середовища.	13,1	45	37,2	131
22.	Рівень сформованості професійно зорієнтованих знань фізичного спрямування.	37,5	128	56,1	198
23.	Володіння ланкою учіння: орієнтація-виконання-контроль для досягнення мети навчання.	44,3	151	65,3	231
24.	Знання сутності орієнтовної основи дій у навчанні фізики, як системи орієнтирів і вказівок для виконання STEM завдань.	16,7	57	38,5	136
25.	Ступінь повноти, міра узагальненості, спосіб одержання, спосіб формування зорієнтовної основи вивчення фізики.	36,9	126	59,4	210
26.	Уміння оцінювати модель навчального процесу з фізики та технічних дисциплін.	24,1	82	48,7	172
27.	Здатність виконувати навчальні пошуково-творчі завдання (на лабораторних та практичних заняттях).	43,9	150	64,5	228
28.	Здатність орієнтуватися на виявлення суттєвих зв'язків між поняттями та явищами фізики та техніки.	31,8	108	52,7	186
29.	Уміння аналізувати способи та результати власної професійно-спрямованої діяльності.	39,7	135	63,5	224
30.	Формування готовності до професійної діяльності.	35,3	120	57,3	202
<b>Усього за достатнім рівнем</b>		<b>32,48</b>	<b>1329</b>	<b>54,49</b>	<b>2308</b>

1	2	3	4	5	6
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ (6 показників)</b>					
31.	Уміння вибору творчих завдань.	5,6	19	21,3	75
32.	Застосування методів наукового STEM дослідження до аналізу технічних ситуацій.	3,2	11	19,5	69
33.	Знання психолого-педагогічних принципів розвитку орієнтувань у фізичних теоріях та фундаментальних поняттях.	5,8	20	18,7	66
34.	Передбачення суперечностей у розвитку фізичних явищ у лігальних апаратах.	4,3	15	15,7	55
35.	Уміння аналізувати навчальні проблеми з точки зору STEM.	8,7	30	20,2	71
36.	Місце гіпотези в навчальному експерименті.	6,8	23	18,4	65
<b>Усього за високим рівнем</b>		<b>5,77</b>	<b>118</b>	<b>18,93</b>	<b>401</b>
<b>Разом</b>		<b>25,73</b>	<b>3159</b>	<b>47,44</b>	<b>6029</b>

**Результати формувального експерименту за психофізіологічним компонентом (38 показників)**

№ з/п	Показники за психофізіологічним компонентом (38 показників)	R <sub>сфк</sub> (%)	К-ть правильних відповідей	R <sub>сфе</sub> (%)	К-ть правильних відповідей
		КГ (341 студент)		ЕГ (353 студента)	
1	2	3	4	5	6
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ (8 показників)</b>					
	Психофізіологічна готовність упровадження STEM:				
1.	– рівень функціонування фізіологічних підсистем майбутніх фахівців із забезпечення підтримки високої працездатності під час навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	34,1	116	57,8	204
2.	– упровадження провідних для здійснення професійного навчання когнітивних функцій (мислення, пам'яті, уваги та ін.);	40,7	139	64,3	227
3.	– забезпечення спроможності ефективно адаптуватись до зміни навчальних умов та вимог професійної підготовки майбутніх фахівців технічної галузі;	43,2	147	72,1	255
4.	– формування здатності до ефективної саморегуляції майбутніх фахівців технічної галузі у навчанні професійно зорієнтованих дисциплін.	37,4	128	69,4	245
	Ефективні психофізіологічні чинники становлення фахівця технічної галузі:				
5.	Мотивація.	63,7	217	85,7	302
6.	Компетентність.	51,4	175	76,5	270
7.	Досвід.	43,7	149	77,9	275
8.	Ступінь повноти інформації.	34,6	118	62,5	221
<b>Усього за початковим рівнем</b>		<b>43,58</b>	<b>1189</b>	<b>70,78</b>	<b>1999</b>
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ (10 показників)</b>					
9.	Розуміння особливостей розвитку мислення, пам'яті, уваги в ході навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	20,6	70	51,6	182
10.	Системна реакція на зовнішні і внутрішні впливи в ході навчання фізики.	29,5	101	58,4	206
	Методики STEM, які застосовуються для навчання, діяти у особливих та екстремальних навчальних середовищах:				

1	2	3	4	5	6
11.	– дозволяють визначити індивідуальні особливості, потрібні для якісного засвоєння знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	39,1	133	72,3	255
12.	– дозволяють орієнтуватися на індивідуальні особливості навчання фізиці для використання в екстремальних умовах;	35,4	121	79,8	282
13.	– спрямуванні засобів навчання фізики на створення екстремальних умов формування професійно важливих якостей майбутніх фахівців авіаційної галузі;	24,7	84	48,2	170
14.	– дозволяють прогнозувати вірогідність нестандартної, творчої поведінки в екстремальних умовах навчання.	28,6	98	59,6	210
15.	Формування психофізіологічної готовності майбутніх авіаторів до майбутньої професійної діяльності.	38,2	130	66,3	234
16.	Формування системи психофізіологічних якостей, які забезпечують ефективну працездатність майбутнього фахівця технічної галузі.	35,7	122	74,8	264
17.	Засвоєнні фахівцями стратегій та способів адекватних професійних взаємодій, розвитку у них STEM комунікативних навичок.	22,3	76	55,4	196
18.	Формування компетентних фахівців технічної галузі високого рівня мотивації до професійної діяльності.	31,9	109	62,5	221
<b>Усього за середнім рівнем</b>		<b>30,62</b>	<b>1044</b>	<b>62,89</b>	<b>2220</b>
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ (14 показників)</b>					
19.	Ступінь виразності засвоєння фундаментальних наскрізних знань і зрушень фізіологічних функцій суб'єктів навчання.	16,4	56	45,3	160
20.	Психофізіологічний стан є єдиною функціональною системою, як методологічна база навчання фізики майбутніх фахівців авіаційної галузі.	14,3	49	43,7	154
21.	Психофізіологічний стан у навчанні фізики є складною ієрархічною саморегулювальною системою, що являє собою динамічну єдність внутрішніх компонентів.	25,1	86	56,8	201
22.	Психофізіологічний стан як цілісна реакція майбутнього фахівця технічної галузі на зовнішні та внутрішні стимули, спрямована на досягнення корисного	23,8	81	57,3	202



1	2	3	4	5	6
	результату у навчанні фізики та технічних дисциплін.				
23.	Психофізіологічне забезпечення готовності до діяльності.	32,4	110	67,4	238
24.	Уміння диференціювати ризикоефективні умови професійної діяльності за ступенем інтенсивності впливу чинників навчання фізики та технічних дисциплін.	10,5	36	37,4	132
25.	Психофізіологічне забезпечення навчальної діяльності з фізики для авіаційних фахівців:				
25.1	– є системою знань, що забезпечують спрямовану на збільшення ефективності та надійності навчальну діяльність;	26,3	90	56,3	199
25.2	– здійснюється за рахунок контролю, прогнозування та корекції мотивації у навчанні технічних дисциплін.	21,5	73	48,6	172
26.	Усвідомлення наявного та необхідного рівнів розвитку інтелекту.	26,2	89	51,4	181
27.	Визначення умов навчальної діяльності для створення процесу дії екстремальних факторів на майбутніх фахівців авіаційної галузі.	29,6	101	55,3	195
28.	Психофізіологічне забезпечення долання екстремальних умов прийняття рішень на основі знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	25,4	87	53,7	190
29.	Розвиток інтелектуальних цінностей в ході навчання фізики.	18,7	64	37,5	132
30.	Спроможність студентів швидко адаптуватись до зміни різноманітних умов та вимог професійної діяльності.	32,1	109	67,4	238
<b>Усього за середнім рівнем</b>		<b>21,59</b>	<b>1031</b>	<b>48,44</b>	<b>2394</b>
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ (6 показників)</b>					
31.	Самовизначення ступеню професійної придатності студента до авіатехнічної діяльності.	2,6	9	23,5	83
32.	Психофізіологічне забезпечення готовності майбутніх фахівців технічної галузі до навчальної діяльності, шляхом набуття когнітивних функцій.	6,1	21	24,9	88
33.	Ефективність психофізіологічних впливів зростає за врахування індивідуальних особливостей та можливостей майбутніх фахівців авіаційної галузі.	5,3	18	18,4	65
34.	Уміння аналізувати способи та результати власної професійно-	6,7	23	19,8	70

Продовження табл. В.3.3

1	2	3	4	5	6
	спрямованої діяльності у процесі вирішення завдань з фізики.				
35.	Оволодіння когнітивними функціями шляхом проведення спеціалізованих тренінгів, навчання технічної професійної діяльності.	12,8	44	32,7	115
36.	Засвоєння рольових нормативно-професійних компетентностей та цінностей за високого рівня мотивації до навчання.	9,4	32	28,5	101
<b>Усього за високим рівнем</b>		<b>7,18</b>	<b>147</b>	<b>16,67</b>	<b>522</b>
<b>Разом</b>		<b>26,32</b>	<b>3411</b>	<b>53,19</b>	<b>7135</b>

**Результати формувального експерименту за емоційно-рефлексивним компонентом (35 показників)**

№ з/п	Показники за емоційно-рефлексивним компонентом (35 показників)	R <sub>сфк</sub> (%)	К-ть правильних відповідей	R <sub>сфе</sub> (%)	К-ть правильних відповідей
		КГ (341 студент)		ЕГ (353 студента)	
1	2	3	4	5	6
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ (7 показників)</b>					
1.	Здатність до самопостереження.	49,5	169	70,6	249
2.	Самоаналіз та усвідомлення психоемоційного стану.	57,1	195	88,6	313
3.	Самоусвідомлення особливостей емоційного реагування, поведінки.	36,3	124	73,4	259
4.	Розуміння того, що відбувається в навколишньому світі.	59,2	202	89,1	315
5.	Творче ставлення до вивчення фізики в технічних ЗВО.	20,5	70	45,3	160
6.	Наявність власної позиції щодо прийнятих рішень у професійній діяльності.	47,6	162	76,4	270
7.	Здатність знаходити професійно та особистісно значущу інформацію для задоволення пізнавальних інтересів.	42,9	146	67,8	239
<b>Всього за початковим рівнем</b>		<b>44,74</b>	<b>1068</b>	<b>73,04</b>	<b>1805</b>
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ (10 показників)</b>					
8.	Сформованість рефлексивної позиції в оцінюванні власної інноваційної діяльності.	39,8	136	64,2	227
9.	Інтелектуальні вміння виокремлювати основне, аналізувати, співставляти свої дії щодо застосування STEM.	15,2	52	39,1	138
10.	Уміння визначати переваги і недоліки власної компетентності у професійній галузі.	34,7	118	62,7	221
11.	Готовність майбутніх фахівців технічних ЗВО до професійної діяльності.	27,5	94	50,6	179
12.	Уміння генерувати нові ідеї й альтернативні рішення.	15,8	54	35,3	125
13.	Наполегливість у досягненні цілей самоактуалізації та саморозвитку.	19,3	66	39,5	139
14.	Вияв активності в навчанні фундаментальних понять з фізики.	33,9	116	58,4	206
15.	Здатність знаходити перспективу навчальних досліджень з фізики в професійно зорієнтованих дисциплінах.	17,5	60	41,7	147
16.	Уміння ефективно організовувати	21,7	74	48,4	171

1	2	3	4	5	6
	навчання засобами STEM.				
17.	Самостійність у навчанні фізики на основі технологій STEM-освіти.	23,6	80	50,2	177
<b>Усього за середнім рівнем</b>		<b>24,93</b>	<b>850</b>	<b>49</b>	<b>1730</b>
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ</b> (12 показників)					
18.	Уміння мобілізувати навчальні ресурси на ефективне використання STEM-технологій навчання.	17,3	59	38,4	136
19.	Уміння знаходити недоліки в авіаційних конструкціях літальних апаратів.	19,4	66	41,7	147
20.	Навички підбору ППЗ для проведення фізичного експерименту із засвоєння фундаментальних наскрізних понять.	33,7	115	68,9	243
21.	Уміння швидко знаходити інформацію із застосування STEM у навчанні професійно зорієнтованих дисциплін.	21,9	75	49,2	174
22.	Прогноз ефективності обраного засобу на підставі мисленнєвого моделювання.	23,6	80	48,1	170
23.	Рівень формування рефлексивних умінь у розвитку рефлексивної компетентності студентів під час навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	15,3	51	37,4	132
24.	Уміння оцінювати й контролювати навчальні дії, виявляти суперечності в процесі навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	20,2	69	46,3	163
25.	Усвідомлення своєї навчально дослідницької діяльності і самого себе як її суб'єкта навчання фізики.	27,9	95	51,8	183
26.	Поняття оцінно рефлексійного середовища навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	14,5	49	35,2	124
27.	Уміння створювати ефективні проблемно конфліктні навчальні ситуації під час вивчення технічних дисциплін авіаційної галузі.	13,2	45	34,6	122
28.	Здатність аналізувати знання з фізики для одержання нового знання в технічній галузі.	11,5	39	30,7	108
29.	Освоєння STEM-інновацій та стан розвитку інтересу до планування самостійної навчальної діяльності.	22,8	78	44,9	158
<b>Усього за достатнім рівнем</b>		<b>20,06</b>	<b>821</b>	<b>43,91</b>	<b>1860</b>
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ</b> (6 показників)					
30.	Здатність реалізувати навчальні й професійні проекти на основі знань з	7,4	25	21,8	77

1	2	3	4	5	6
	фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.				
31.	Розуміння диференційованого змісту аналітико-синтетичної діяльності мислення в навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	5,3	18	19,5	69
32.	Уміння сприймати суперечність між актуалізованими потребами, прагненнями, психічними станами майбутніх фахівців технічної галузі і соціальним замовленням на конкурентоспроможного фахівця.	10,8	37	29,7	105
33.	Співвідношення професійно-рефлексивної позиції майбутнього фахівця технічної галузі з його корпоративними цінностями (моральність, культура, конфіденційність, педагогічна етика).	6,7	23	18,3	65
34.	З'ясування структурно-функціональної моделі розвитку рефлексивного спілкування під час навчання фізики та професійно орієнтованих дисциплін.	7,5	26	23,5	83
35.	Усвідомлення інтегральної характеристики гностичних, операційних, особистісних і професійних якостей майбутнього фахівця технічної галузі.	4,1	14	21,9	77
<b>Усього за високим рівнем</b>		<b>6,99</b>	<b>143</b>	<b>22,47</b>	<b>476</b>
<b>Разом</b>		<b>24,15</b>	<b>2882</b>	<b>47,52</b>	<b>5871</b>

**Результати формувального експерименту за мотиваційним компонентом  
(36 показників)**

№ з/п	Показники за мотиваційним компонентом (36 показників)	R <sub>сфк</sub> (%)	К-ть правильних відповідей	R <sub>сфе</sub> (%)	К-ть правильних відповідей
		КГ (341 студент)		ЕГ (353 студента)	
1	2	3	4	5	6
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ (8 показників)</b>					
1.	Зацікавленість студентів у ґрунтовних знаннях:				
1.1.	– будови літака;	32,3	110	54,8	193
1.2.	– призначення пристроїв управління літаком;	27,1	92	62,1	219
1.3.	– закономірностями форми кожного пристрою.	25,6	87	49,3	174
2.	Знання наукового, інженерного, технічного та математичного складників STEM-освіти для розв'язку фізичних задач фахівців технічної галузі.	19,1	65	31,2	110
3.	Розкриття зв'язків між явищами природи, технікою і STEM-освітою.	34,5	118	63,5	224
4.	Уміння майбутніх фахівців технічних ЗВО створювати проблемні ситуації в навчанні фізики.	25,7	88	48,7	172
5.	Уміння охопити суть змісту задач, завдань, що спонукає до пошуку способів розв'язування завдань.	39,4	134	72,1	254
6.	Спонукальна зацікавленість у навчанні з використанням комп'ютерів та ІКТ.	50,2	171	76,9	270
<b>Усього за початковим рівнем</b>		<b>31,7</b>	<b>865</b>	<b>57,22</b>	<b>1616</b>
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ (10 показників)</b>					
7.	Уміння використовувати методи наукового дослідження з використанням віртуальних моделей.	21,4	78	49,7	175
8.	Роль STEM-технологій у досягненні навчальної мети на заняттях з фізики.	22,3	95	45,6	161
9.	Практичне досягнення ефективності формування практичних умінь і навичок з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	15,6	63	37,4	132
10.	Показники визначення динаміки рівня розвитку творчих здібностей	20,8	82	51,2	181

1	2	3	4	5	6
	у засвоєнні фундаментальних понять з фізики.				
11.	Зацікавленість у позитивній динаміці глибини і міцності засвоєння знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	34,9	127	66,8	236
12.	Уміння аналізувати реальні ситуації технічного характеру майбутнього фахівця.	25,6	98	49,1	173
13.	Прагнення до ознайомлення із сучасними досягненнями науки і техніки.	34,1	116	69,5	245
14.	Місце експериментальних задач у STEM-освіті.	17,6	60	48,5	171
15.	Місце STEM-технологій у розв'язуванні задач практичного характеру у технічних ЗВО.	19,7	67	31,7	112
16.	Уміння визначати призначення блоків літаків.	38,3	131	71,5	252
<b>Усього за середнім рівнем</b>		<b>26,89</b>	<b>917</b>	<b>52,07</b>	<b>1838</b>
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ (12 показників)</b>					
17.	Розкриття ролі поняття симетрії та прояву її властивостей у фаховій підготовці.	25,3	86	67,4	238
18.	Розвиток зацікавленості в умінні ставити і вирішувати технічні задачі майбутнім фахівцем технічної галузі.	33,6	115	78,5	277
19.	Діагностика умінь формулювати і робити висновки з аналізу блок схеми на прикладі літака.	19,7	67	45,3	160
20.	Бажання використовувати знання законів фізики в оволодінні майбутньою професією авіаційної галузі.	38,3	131	78,1	276
21.	Самооцінювання знань про принципи роботи сучасних технічних пристроїв авіаційного профілю діяльності.	28,7	98	64,2	227
22.	Зацікавленість у формуванні вмінь складати схему орієнтованої основи дій у навчанні фізики та професійно орієнтованих дисциплін.	12,4	42	36,4	128
23.	Уміння визначати рівень розвитку інтересу до вивчення фундаментальних наскрізних понять з фізики.	23,7	81	59,1	209

## Продовження табл. В.3.5

1	2	3	4	5	6
24.	Знання закономірностей створення ситуації впевненості у власних здібностях і силах з оволодіння фундаментальними поняттями з фізики.	15,8	54	48,5	171
25.	Постійне забезпечення актуалізації чуттєвого досвіду і виявлення опорних знань з фізики при аналізі будови літака.	38,1	130	69,1	244
26.	Бажання самоурізноманітнення процесу навчання фізики.	20,8	71	65,3	231
27.	Уміння самостійно здобувати новітні знання з фаху.	14,3	49	47,5	168
28.	Знання форм і методів, повідомлення нових знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	52,1	178	84,1	297
<b>Усього за достатнім рівнем</b>		<b>26,93</b>	<b>1102</b>	<b>61,99</b>	<b>2626</b>
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ (6 показників)</b>					
29.	Уміння розробляти проекти комп'ютерного віртуального моделювання фізичних та технічних явищ авіаційної галузі.	6,7	23	14,9	53
30.	Досконале володіння STEM-технологіями.	5,1	17	13,5	46
31.	Уміння використання у навчанні фахівці галузі:				
31.1.	–3-D принтерів;	9,2	31	28,4	100
31.2.	–цифрових лабораторій;	10,1	34	29,1	103
31.3.	–роботів.	32,4	110	65,3	231
32.	Уміння створювати віртуальні моделі демонстрування фізичних законів у роботі авіаційних пристроїв літаків.	8,3	28	25,7	91
33.	Визначення знань фізики у приладах та пристроях: висотомір, радіолокація, авіоніка, двигуни, датчики, атмосферний тиск.	12,7	43	49,3	174
<b>Усього за високим рівнем</b>		<b>13,97</b>	<b>286</b>	<b>33,38</b>	<b>707</b>
<b>Разом</b>		<b>25,82</b>	<b>3170</b>	<b>53,41</b>	<b>6787</b>



## Результати педагогічного експерименту у КГ та ЕГ

Таблиця В.4.1

## Результати педагогічного експерименту за мотиваційним компонентом

Результати педагогічного експерименту за мотиваційним компонентом та його показниками									
(всього студентів у КГ – 341, в ЕГ – 353)									
№ з/п	ПОКАЗНИКИ ЗА МОТИВАЦІЙНИМ КОМПОНЕНТОМ	t	p <sub>к</sub>	p <sub>е</sub>	R <sub>сфк</sub> , %	R <sub>сфе</sub> , %	P <sub>рк</sub> , ·10 <sup>-2</sup>	P <sub>ре</sub> , ·10 <sup>-2</sup>	p <sub>ср</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ</b>									
1.	Зацікавленість студентів у ґрунтовних знаннях:								
1.1.	будови літака;	6,14	110	193	32,3	54,8	2,53	2,65	3,66
1.2.	призначення пристроїв управління літаком;	9,92	92	219	27,1	62,1	2,41	2,58	3,53
1.3.	закономірностями форми кожного пристрою.	6,66	87	174	25,6	49,3	2,36	2,66	3,56
2.	Знання наукового, інженерного, технічного та математичного складників STEM-освіти для розв'язку фізичних задач фахівців технічної галузі.	3,71	65	110	19,1	31,2	2,13	2,47	3,26
3.	Розкриття зв'язків між явищами природи, технікою і STEM-освітою.	7,98	118	224	34,5	63,5	2,57	2,56	3,63
4.	Уміння майбутніх фахівців технічних ЗВО створювати проблемні ситуації в навчанні фізики.	6,46	88	172	25,7	48,7	2,37	2,66	3,56
5.	Уміння охопити суть змісту задач, завдань, що спонукає до пошуку способів розв'язування завдань.	9,18	134	255	39,4	72,1	2,65	2,39	3,56
6.	Спонукальна зацікавленість у навчанні з використанням комп'ютерів та ІКТ.	7,59	171	271	50,2	76,9	2,71	2,24	3,52
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ</b>									
7.	Уміння використовувати методи наукового дослідження з використанням віртуальних моделей.	8,16	73	175	21,4	49,7	2,22	2,66	3,47

Продовження табл. В.4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8.	Роль STEM-технологій у досягненні навчальної мети на заняттях з фізики.	6,70	76	161	22,3	45,6	2,25	2,65	3,48
9.	Практичне досягнення ефективності формування практичних умінь і навичок з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	6,73	53	132	15,6	37,4	1,96	2,58	3,24
10.	Показники визначення динаміки рівня розвитку творчих здібностей у засвоєнні фундаментальних понять з фізики.	8,81	71	181	20,8	51,2	2,20	2,66	3,45
11.	Зацікавленість у позитивній динаміці глибини і міцності засвоєння знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	8,87	119	236	34,9	66,8	2,58	2,51	3,60
12.	Уміння аналізувати реальні ситуації технічного характеру майбутнього фахівця.	6,60	87	173	25,6	49,1	2,36	2,66	3,56
13.	Прагнення до ознайомлення з сучасними досягненнями науки й техніки.	9,97	116	245	34,1	69,5	2,57	2,45	3,55
14.	Місце експериментальних задач у STEM-освіті	9,18	60	171	17,6	48,5	2,06	2,66	3,37
15.	Місце STEM-технологій у розв'язуванні практичних задач у технічних ЗВО.	3,66	67	112	19,7	31,7	2,15	2,48	3,28
16.	Уміння визначати призначення блоків літаків.	9,32	131	252	38,3	71,5	2,63	2,40	3,56
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ</b>									
17.	Розкриття ролі поняття симетрії та вияву її властивостей у фаховій підготовці.	12,27	86	238	25,3	67,4	2,35	2,49	3,43
18.	Розвиток зацікавленості в умінні ставити й розв'язувати технічні задачі майбутнім фахівцем технічної галузі.	13,34	115	277	33,6	78,5	2,56	2,19	3,37
19.	Діагностика вмінь формулювати й робити висновки з аналізу блок-схеми на прикладі літака.	7,50	67	160	19,7	45,3	2,15	2,65	3,41
20.	Бажання використовувати знання законів фізики в оволодінні майбутньою професією авіаційної галузі.	11,60	131	276	38,3	78,1	2,63	2,20	3,43

Продовження табл. В.4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21.	Самооцінювання знань про принципи роботи сучасних технічних пристроїв авіаційного профілю діяльності.	10,04	98	227	28,7	64,2	2,45	2,55	3,54
22.	Зацікавленість у формуванні умінь складати схему орієнтованої основи дій у навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	7,69	42	128	12,4	36,4	1,78	2,56	3,12
23.	Уміння визначати рівень розвитку інтересу до вивчення фундаментальних наскрізних понять з фізики.	10,16	81	209	23,7	59,1	2,30	2,62	3,49
24.	Знання закономірностей створення ситуації впевненості у власних здібностях і силах з оволодіння фундаментальними поняттями з фізики.	9,87	54	171	15,8	48,5	1,98	2,66	3,31
25.	Постійне забезпечення актуалізації чуттєвого досвіду і виявлення опорних знань з фізики під час аналізу будови літака.	8,61	130	244	38,1	69,1	2,63	2,46	3,60
26.	Бажання самоурізноманітнення процесу навчання фізики.	13,27	71	231	20,8	65,3	2,20	2,53	3,35
27.	Уміння самостійно здобувати новітні знання з фаху.	10,17	49	168	14,3	47,5	1,90	2,66	3,26
28.	Знання форм і методів, повідомлення нових знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	9,60	178	297	52,1	84,1	2,71	1,95	3,33
	<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ</b>								
29.	Уміння розробляти проекти комп'ютерного віртуального моделювання фізичних та технічних явищ авіаційної галузі.	3,52	23	53	6,7	14,9	1,35	1,90	2,33
30.	Досконале володіння STEM-технологіями.	3,86	17	48	5,1	13,5	1,19	1,82	2,17
31.	Уміння використання у навчанні фізики:								
31.1.	3-D принтерів;	6,70	31	100	9,2	28,4	1,57	2,40	2,87
31.2.	цифрових лабораторій;	6,51	34	103	10,1	29,1	1,63	2,42	2,92
31.3.	роботів.	9,18	110	231	32,4	65,3	2,53	2,53	3,58
32.	Уміння створювати віртуальні моделі демонстрування фізичних законів у роботі авіаційних пристроїв літаків.	6,29	28	91	8,3	25,7	1,49	2,33	2,76
33.	Визначення знань фізики у приладах та пристроях: висотомір, радіолокація, авіоніка, двигуни, датчики, атмосферний тиск.	11,39	43	174	12,7	49,3	1,80	2,66	3,21

Таблиця В.4.2

## Результати педагогічного експерименту за орієнтаційно-контрольним компонентом

Результати педагогічного експерименту за орієнтаційно-контрольним компонентом та його показниками									
(всього студентів у КГ – 341, в ЕГ – 353)									
№ з/п	ПОКАЗНИКИ ЗА ОРІЄНТАЦІЙНО-КОНТРОЛЬНИМ КОМПОНЕНТОМ	t	p <sub>к</sub>	p <sub>е</sub>	R <sub>сфк</sub> , %	R <sub>сфе</sub> , %	P <sub>рк</sub> , ·10 <sup>-2</sup>	P <sub>ре</sub> , ·10 <sup>-2</sup>	P <sub>ср</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ</b>									
1.	Виявляє первинне розуміння STEM-засобів навчання.	6,15	70	146	20,5	41,5	2,19	2,62	3,41
2.	Відтворення навчального матеріалу з фізики у професійних дисциплінах.	6,47	142	231	41,6	65,4	2,67	2,53	3,68
3.	Роль поняття симетрії у формуванні професійної здатності фахівця авіаційної галузі.	7,03	80	170	23,4	48,1	2,29	2,66	3,51
4.	Уміння визначати роль контрольних функцій фахівця авіаційної галузі.	9,28	149	269	43,7	76,3	2,69	2,26	3,51
5.	Використання фундаментальних понять з фізики для аналізу технічних ситуацій.	6,16	153	238	44,9	67,5	2,69	2,49	3,67
6.	Уміння підбирати необхідні прилади та обладнання для виконання системи демонстрацій з професійно спрямованої фізики.	4,97	56	114	16,5	32,4	2,01	2,49	3,20
7.	Уміння спостерігати динаміку фізичних явищ у професійній діяльності.	7,88	73	172	21,4	48,7	2,22	2,66	3,47
8.	Розвиток передбачливості у технологічних процесах.	6,63	56	135	16,5	38,2	2,01	2,59	3,28
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ</b>									
9.	Проектування наступності розвитку ситуації в залежності від початкових умов.	6,68	77	162	22,6	45,9	2,26	2,65	3,49
10.	Передбачення результуючого продукту навчального дослідження технічного проекту.	9,11	103	222	30,2	62,8	2,49	2,57	3,58

Продовження табл. В.4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11.	Здатність до аналізу, синтезу, систематизації знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	6,31	63	139	18,4	39,5	2,10	2,60	3,34
12.	Уміння виділення організаційно-плануючих компонентів навчальної діяльності у становленні фахівця технічної галузі.	6,33	68	146	19,8	41,3	2,16	2,62	3,39
13.	Усвідомлення цілей і завдань діяльності з оволодіння фундаментальними фізичними поняттями та професійними знаннями.	10,32	121	254	35,5	71,9	2,59	2,39	3,53
14.	Рівень самоконтролю і самооцінки у досягненні мети навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін	7,48	85	181	24,9	51,4	2,34	2,66	3,54
15.	Виявлення зворотного зв'язку в освітньому процесі з фізики.	4,41	123	185	36,1	52,5	2,60	2,66	3,72
16.	Уміння шукати та знаходити причини своїх помилок.	6,66	153	244	44,8	69,1	2,69	2,46	3,65
17.	Прогноз ефективності обраного засобу на підставі мисленнєвого моделювання.	6,45	67	147	19,7	41,6	2,15	2,62	3,39
18.	Уміння осмислити теми нового матеріалу й основних проблем.	7,34	109	221	21,3	46,7	2,22	2,66	3,46
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ</b>									
19.	Рівень активної інтелектуальної чи практичної діяльності в ході розв'язування задач з фізики.	6,22	146	232	42,8	65,7	2,68	2,53	3,68
20.	Створення STEM-засобів, які забезпечують наступність вивчення понять курсу фізики від механіки до Всесвіту.	5,92	81	158	23,9	44,7	2,31	2,65	3,51
21.	Володіння методами створення STEM освітнього середовища.	7,64	45	131	13,1	37,2	1,83	2,57	3,16
22.	Рівень сформованості професійно-орієнтованих знань фізичного спрямування.	5,00	128	198	37,5	56,1	2,62	2,64	3,72
23.	Володіння ланкою учіння: орієнтація-виконання-контроль для досягнення мети навчання.	5,68	109	221	44,3	65,3	2,69	2,53	3,70

Продовження табл. В.4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24.	Знання сутності орієнтовної основи дій у навчанні фізики, як системи орієнтирів і вказівок для виконання STEM завдань.	6,64	57	136	16,7	38,5	2,02	2,59	3,28
25.	Ступінь повноти, міра узагальненості, спосіб одержання, спосіб формування орієнтовної основи вивчення фізики.	6,09	126	210	36,9	59,4	2,61	2,61	3,70
26.	Уміння оцінювати модель навчального процесу з фізики та технічних дисциплін.	6,97	82	172	24,1	48,7	2,32	2,66	3,53
27.	Здатність виконувати навчальні пошуково-творчі завдання (на лабораторних та практичних заняттях).	5,56	150	228	43,9	64,5	2,69	2,55	3,70
28.	Здатність орієнтуватися на виявлення суттєвих зв'язків між поняттями та явищами фізики та техніки.	5,70	108	186	31,8	52,7	2,52	2,66	3,66
29.	Уміння аналізувати способи та результати власної професійно-спрямованої діяльності.	6,46	135	224	39,7	63,5	2,65	2,56	3,69
30.	Формування готовності до професійної діяльності	5,96	120	202	35,3	57,3	2,59	2,63	3,69
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ</b>									
31.	Уміння вибору творчих завдань.	6,26	19	75	5,6	21,3	1,25	2,18	2,51
32.	Застосування методів наукового STEM дослідження до аналізу технічних ситуацій.	7,04	11	69	3,2	19,5	0,95	2,11	2,31
33.	Знання психолого-педагогічні принципи розвитку орієнтувань у фізичних теоріях та фундаментальних поняттях.	5,31	20	66	5,8	18,7	1,27	2,08	2,43
34.	Передбачення суперечностей у розвитку фізичних явищ у літальних апаратах	5,12	15	55	4,3	15,7	1,10	1,94	2,23
35.	Уміння аналізувати навчальні проблеми з точки зору STEM.	4,38	30	71	8,7	20,2	1,53	2,14	2,63
36.	Місце гіпотези в навчальному експерименті.	4,69	23	65	6,8	18,4	1,36	2,06	2,47

Таблиця В.4.3

### Результати педагогічного експерименту за психофізіологічним компонентом

Результати педагогічного експерименту за психофізіологічним компонентом та його показниками									
(всього студентів у КГ – 341, в ЕГ – 353)									
№ з/п	ПОКАЗНИКИ ЗА ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНИМ КОМПОНЕНТОМ	t	p <sub>к</sub>	p <sub>е</sub>	R <sub>сфк</sub> , %	R <sub>сфе</sub> , %	P <sub>рк</sub> , ·10 <sup>-2</sup>	P <sub>ре</sub> , ·10 <sup>-2</sup>	p <sub>ср</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ									
	Психофізіологічна готовність упровадження STEM:								
1.	рівень функціонування фізіологічних підсистем майбутніх фахівців із забезпечення підтримки високої працездатності під час навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	6,45	116	204	34,1	57,8	2,57	2,63	3,67
2.	упровадження провідних для здійснення професійного навчання когнітивних функцій (мислення, пам'яті, уваги та ін.);	6,40	139	227	40,7	64,3	2,66	2,55	3,69
3.	забезпечення спроможності ефективно адаптуватись до зміни навчальних умов та вимог професійної підготовки майбутніх фахівців технічної галузі;	8,05	147	255	43,2	72,1	2,68	2,39	3,59
4.	формування здатності до ефективної саморегуляції майбутніх фахівців технічної галузі у навчанні професійно зорієнтованих дисциплін;	8,92	128	245	37,4	69,4	2,62	2,45	3,59
	Ефективні психофізіологічні чинники становлення фахівця технічної галузі:								
5.	Мотивація	6,87	217	303	63,7	85,7	2,60	1,86	3,20
6.	Компетентність	7,12	175	270	51,4	76,5	2,71	2,26	3,52
7.	Досвід	9,84	149	275	43,7	77,9	2,69	2,21	3,48
8.	Ступінь повноти інформації	7,66	118	221	34,6	62,5	2,58	2,58	3,64

Продовження табл. В.4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ</b>									
9.	Розуміння психодіагностики особливостей розвитку мислення, пам'яті, уваги в ході навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	9,00	70	182	20,6	51,6	2,19	2,66	3,45
10.	Системна реакція на зовнішні і внутрішні впливи в ході навчання фізики.	8,02	101	206	29,5	58,4	2,47	2,62	3,60
	Методики STEM, які застосовуються для навчання, діяти у особливих та екстремальних навчальних середовищах:								
11.	дозволяють визначити індивідуальні особливості, потрібні для якісного засвоєння знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	9,33	133	255	39,1	72,3	2,64	2,38	3,56
12.	дозволяють орієнтуватися на індивідуальні особливості навчання фізиці для використання в екстремальних умовах;	13,22	121	282	35,4	79,8	2,59	2,14	3,36
13.	спрямування засобів навчання фізики на створення екстремальних умов формування професійно важливих якостей майбутніх фахівців авіаційної галузі;	6,64	84	170	24,7	48,2	2,34	2,66	3,54
14.	дозволяють прогнозувати вірогідність нестандартної, творчої поведінки в екстремальних умовах навчання.	8,66	98	210	28,6	59,6	2,45	2,61	3,58
15.	Формування психофізіологічної готовності майбутніх авіаторів до майбутньої професійної діяльності.	7,72	130	234	38,2	66,3	2,63	2,52	3,64
16.	Формування системи психофізіологічних якостей, які забезпечують ефективну працездатність майбутнього фахівця технічної галузі.	11,25	122	264	35,7	74,8	2,59	2,31	3,47
17.	Засвоєння фахівцями стратегій та способів адекватних професійних взаємодій, розвитку у них STEM комунікативних навичок.	9,52	76	196	22,3	55,4	2,25	2,65	3,48
18.	Формування компетентних фахівців технічної галузі високого рівня мотивації до професійної діяльності.	8,48	109	221	31,9	62,5	2,52	2,58	3,61



Продовження табл. В.4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ</b>									
19.	Ступінь виразності засвоєння фундаментальних наскрізних знань і зрушень фізіологічних функцій суб'єктів навчання.	8,70	56	160	16,4	45,3	2,01	2,65	3,32
20.	Психофізіологічний стан є єдиною функціональною системою, як методологічна база навчання фізики майбутніх фахівців авіаційної галузі.	9,05	49	154	14,3	43,7	1,90	2,64	3,25
21.	Психофізіологічний стан у навчанні фізики є складною ієрархічною саморегулювальною системою, що являє собою динамічну єдність внутрішніх компонентів.	8,98	86	201	25,1	56,8	2,35	2,64	3,53
22.	Психофізіологічний стан як цілісна реакція майбутнього фахівця технічної галузі на зовнішні та внутрішні стимули, спрямована на досягнення корисного результату у навчанні фізики та технічних дисциплін.	9,57	81	202	23,8	57,3	2,31	2,63	3,50
23.	Психофізіологічне забезпечення готовності до діяльності.	9,84	110	238	32,4	67,4	2,53	2,49	3,56
24.	Уміння диференціювати ризикоефективні умови професійної діяльності за ступенем інтенсивності впливу чинників навчання фізики та технічних дисциплін.	8,78	36	132	10,5	37,4	1,66	2,58	3,06
25.	Психофізіологічне забезпечення навчальної діяльності з фізики для авіаційних фахівців:								
25.1.	є системою знань, що забезпечують спрямовану на збільшення ефективності та надійності навчальну діяльність;	8,43	90	199	26,3	56,3	2,38	2,64	3,56
25.2.	здійснюється за рахунок контролю, прогнозування та корекції мотивації у навчанні технічних дисциплін.	7,81	73	172	21,5	48,6	2,22	2,66	3,47
26.	Усвідомлення наявного та необхідного рівнів розвитку інтелекту.	7,06	89	181	26,2	51,4	2,38	2,66	3,57
27.	Визначення умов навчальної діяльності для створення процесу дії екстремальних факторів на майбутніх фахівців авіаційної галузі.	7,10	101	195	29,6	55,3	2,47	2,65	3,62

Продовження табл. В.4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
28.	Психофізіологічне забезпечення долання екстремальних умов прийняття рішень на основі знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	7,97	87	190	25,4	53,7	2,36	2,65	3,55
29.	Розвиток інтелектуальних цінностей в ході навчання фізики.	5,64	64	132	18,7	37,5	2,11	2,58	3,33
30.	Спроможність студентів швидко адаптуватись до зміни різноманітних умов та вимог професійної діяльності.	9,94	109	238	32,1	67,4	2,53	2,49	3,55
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ</b>									
31.	Самовизначення ступеню професійної придатності студента до авіатехнічної діяльності.	8,65	9	83	2,6	23,5	0,86	2,26	2,42
32.	Психофізіологічне забезпечення готовності майбутніх фахівців технічної галузі до навчальної діяльності, шляхом набуття когнітивних функцій.	7,12	21	88	6,1	24,9	1,30	2,30	2,64
33.	Ефективність психофізіологічних впливів зростає за врахування індивідуальних особливостей та можливостей майбутніх фахівців авіаційної галузі.	5,47	18	65	5,3	18,4	1,21	2,06	2,39
34.	Уміння аналізувати способи та результати власної професійно-спрямованої діяльності у процесі вирішення завдань з фізики.	5,21	23	70	6,7	19,8	1,35	2,12	2,52
35.	Оволодіння когнітивними функціями шляхом проведення спеціалізованих тренінгів, навчання технічної професійної діяльності.	6,45	44	115	12,8	32,7	1,81	2,50	3,08
36.	Засвоєння рольових нормативно-професійних компетентностей та цінностей за високого рівня мотивації до навчання.	6,64	32	101	9,4	28,5	1,58	2,40	2,88

Таблиця В.4.4

**Результати педагогічного експерименту за емоційно-рефлексивним компонентом**

Результати педагогічного експерименту за емоційно-рефлексивним компонентом та його показниками									
(всього студентів у КГ – 341, в ЕГ – 353)									
№ з/п	ПОКАЗНИКИ ЗА ЕМОЦІЙНО-РЕФЛЕКСИВНИМ КОМПОНЕНТОМ	t	p <sub>к</sub>	p <sub>е</sub>	R <sub>сфк</sub> , %	R <sub>сфе</sub> , %	P <sub>рк</sub> , ·10 <sup>-2</sup>	P <sub>ре</sub> , ·10 <sup>-2</sup>	p <sub>ср</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ</b>									
1.	Здатність до самоспостереження.	5,81	169	249	49,5	70,6	2,71	2,42	3,63
2.	Самоаналіз та усвідомлення психоемоційного стану.	9,94	195	313	57,1	88,6	2,68	1,69	3,17
3.	Самоусвідомлення особливостей емоційного реагування, поведінки.	10,57	124	259	36,3	73,4	2,60	2,35	3,51
4.	Розуміння того, що відбувається в навколишньому світі.	9,53	202	315	59,2	89,1	2,66	1,66	3,14
5.	Творче ставлення до вивчення фізики в технічних ЗВО.	7,22	70	160	20,5	45,3	2,19	2,65	3,43
6.	Наявність власної позиції щодо прийнятих рішень у професійній діяльності.	8,17	162	270	47,6	76,4	2,70	2,26	3,52
7.	Здатність знаходити професійно та особистісно значущу інформацію для задоволення пізнавальних інтересів.	6,81	146	239	42,9	67,8	2,68	2,49	3,66
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ</b>									
8.	Сформованість рефлексивної позиції в оцінюванні власної інноваційної діяльності.	6,63	136	227	39,8	64,2	2,65	2,55	3,68
9.	Інтелектуальні вміння виокремлювати основне, аналізувати, співставляти свої дії щодо застосування STEM.	7,37	52	138	15,2	39,1	1,94	2,60	3,24
10.	Уміння визначати переваги і недоліки власної компетентності у професійній галузі.	6,89	128	221	37,4	62,7	2,62	2,57	3,67
11.	Готовність майбутніх фахівців технічних ЗВО до професійної діяльності.	6,42	94	179	27,5	50,6	2,42	2,66	3,60
12.	Уміння генерувати нові ідеї й альтернативні рішення.	6,06	54	125	15,8	35,3	1,98	2,54	3,22

Продовження табл. В.4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13.	Наполегливість у досягненні цілей самоактуалізації та саморозвитку.	6,00	66	139	19,3	39,5	2,14	2,60	3,37
14.	Вияв активності в навчанні фундаментальних понять з фізики.	6,68	116	206	33,9	58,4	2,56	2,62	3,67
15.	Здатність знаходити перспективу навчальних досліджень з фізики в професійно зорієнтованих дисциплінах.	7,26	60	147	17,5	41,7	2,06	2,62	3,33
16.	Уміння ефективно організовувати навчання засобами STEM.	7,69	74	171	21,7	48,4	2,23	2,66	3,47
17.	Самостійність у навчанні фізики на основі технологій STEM-освіти.	7,56	80	177	23,6	50,2	2,30	2,66	3,52
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ</b>									
18.	Уміння мобілізувати навчальні ресурси на ефективне використання STEM-технологій навчання.	6,39	59	136	17,3	38,4	2,05	2,59	3,30
19.	Уміння знаходити недоліки в авіаційних конструкціях літальних апаратів.	6,58	66	147	19,4	41,7	2,14	2,62	3,39
20.	Навички підбору ППЗ для проведення фізичного експерименту із засвоєння фундаментальних наскрізних понять.	9,91	115	243	33,7	68,9	2,56	2,46	3,55
21.	Уміння швидко знаходити інформацію із застосування STEM у навчанні професійно зорієнтованих дисциплін.	7,85	75	174	21,9	49,2	2,24	2,66	3,48
22.	Прогноз ефективності обраного засобу на підставі мисленнєвого моделювання.	6,97	80	170	23,6	48,1	2,30	2,66	3,52
23.	Рівень формування рефлексивних умінь у розвитку рефлексивної компетентності студентів під час навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	6,84	52	132	15,3	37,4	1,95	2,58	3,23
24.	Уміння оцінювати й контролювати навчальні дії, виявляти суперечності в процесі навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	7,61	69	163	20,2	46,3	2,17	2,65	3,43
25.	Усвідомлення своєї навчально-дослідницької діяльності і самого себе як її суб'єкта в навчанні фізики.	6,64	95	183	27,9	51,8	2,43	2,66	3,60

Продовження табл. В.4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
26.	Поняття оцінно-рефлексійного середовища навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	6,51	49	124	14,5	35,2	1,91	2,54	3,18
27.	Уміння створювати ефективні проблемно-конфліктні навчальні ситуації під час вивчення технічних дисциплін авіаційної галузі.	6,85	45	122	13,2	34,6	1,83	2,53	3,13
28.	Здатність аналізувати знання з фізики для одержання нового знання в технічній галузі.	6,40	39	108	11,5	30,7	1,73	2,45	3,00
29.	Освоєння STEM-інновацій та стан розвитку інтересу до планування самостійної навчальної діяльності.	6,33	78	158	22,8	44,9	2,27	2,65	3,49
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ</b>									
30.	Здатність реалізувати навчальні й професійні проекти на основі знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	5,51	25	77	7,4	21,8	1,42	2,20	2,62
31.	Розуміння диференційованого змісту аналітико-синтетичної діяльності мислення в навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	5,84	18	69	5,3	19,5	1,21	2,11	2,43
32.	Уміння сприймати суперечність між актуалізованими потребами, прагненнями, психічними станами майбутніх фахівців технічної галузі і соціальним замовленням на конкурентоспроможного фахівця.	6,39	37	105	10,8	29,7	1,68	2,43	2,96
33.	Співвідношення професійно-рефлексивної позиції майбутнього фахівця технічної галузі з його корпоративними цінностями (моральність, культура, конфіденційність, педагогічна етика).	4,71	23	65	6,7	18,3	1,35	2,06	2,46
34.	З'ясування структурно-функціональної моделі розвитку рефлексивного спілкування під час навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	5,99	26	83	7,5	23,5	1,43	2,26	2,67
35.	Усвідомлення інтегральної характеристики гностичних, операційних, особистісних і професійних якостей майбутнього фахівця технічної галузі.	7,27	14	77	4,1	21,9	1,07	2,20	2,45

## Система STEM-освітніх показників за компонентами

Таблиця В.5.1

## Система STEM-освітніх показників за когнітивно-операційної компоненти

№ з/п	ПОКАЗНИКИ ЗА КОГНІТИВНО-ОПЕРАЦІЙНОЇ КОМПОНЕНТИ	STEM-показники	R <sub>сфк</sub> , %	R <sub>сфе</sub> , %
1	2	3	4	5
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ</b>				
1	Знання понять:			
1.1.	імпульс та його властивості;	Інженерія (технічна), математика	33,4	74,8
1.2.	теорії класичної фізики;	Наука (фізика), математика, інженерія (технічна)	42,3	68,3
1.3.	властивості повітряного потоку;	Математика, інженерія (технічна)	30,1	58,4
1.4.	термодинамічні величини (температура, теплота, вільна енергія, робота);	Наука (фізика), математика, інженерія (технічна)	31,4	73,9
1.5.	статистичні закономірності будови речовин;	Наука (фізика, хімія), математика (теорія ймовірності), інженерія (технічна)	37,4	57,5
1.6.	хвильові властивості світла (дифракція, інтерференція, поляризація);	Математика, наука (фізика) інженерія (технічна)	52,3	77,7
1.7.	закони класичної механіки.	Наука (фізика), математика, інженерія (технічна)	49,6	83,8
2.	Знання понять:			
2.1.	магнітне поле струму та його властивості;	Наука (фізика, електротехніка), інженерія (технічна)	39,2	66,8
2.2.	закони Ньютона;	Інженерія (технічна), наука (фізика), математика	61,5	86,2
2.3.	перетворення Галілея;	Інженерія (технічна), математика	45,4	69,3
2.4.	перетворення Лоренца;	Наука (фізика), інженерія (технічна), математика	18,3	48,3
2.5.	закони Фарадея;	Наука (фізика), інженерія (технічна)	41,4	66,9
2.6.	рівняння Максвелла;	Математика, інженерія (технічна), наука (фізика)	39,4	58,3
2.7.	закони відбивання та заломлення світла;	Математика, інженерія (технічна), наука (фізика)	62,3	86,4
2.8.	абсолютно тверде тіло.	Наука (фізика, теоретична механіка, авіоніка), інженерія (технічна)	43,4	58,5

Продовження табл.В.5.1

1	2	3	4	5
3.	Симетрія відносно точки.	Наука (фізика), математика	26,7	57,3
4.	Поворот тіла на певний кут навколо деякої осі.	Математика, інженерія (технічна)	21,3	44,7
5.	Будова та форма кристалів.	Наука (фізика, хімія), інженерія (педагогічна, технічна)	43,6	62,4
6.	Фундаментальні частинки.	Наука (фізика), інженерія (педагогічна, технічна)	26,2	52,7
7.	Знання базової термінології, законів, фактів з фізики.	Інженерія (педагогічна, технічна)	48,6	69,5
8.	Уміння прогнозувати результати навчання з фізики.	Наука (педагогіка), технології (педагогічні)	30,5	57,6
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ</b>				
9.	Засвоєння студентом технологічних знань:			
9.1.	фундаментальні фізичні теорії;	Наука (фізика), інженерія (педагогічна, технічна), технології (педагогічні)	33,5	62,6
9.2.	сутність інноваційної самостійної навчальної діяльності в оволодінні технологіями;	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технології (педагогічні)	27,1	55,1
9.3.	методи навчання та методи дослідження і їх співвідношення у процесі учіння.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технології (педагогічні)	25,3	48,3
10.	Оволодіння професійною компетентністю:			
10.1.	усвідомлення системи фундаментальних наскрізних понять з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	Інженерія (педагогічна), технології (педагогічні)	19,2	45,2
10.2.	науково-дослідна здатність розробляти інноваційні освітні продукти діяльності;	Наука (педагогіка), технології (педагогічні)	51,6	68,4
10.3.	створення власної технології STEM-навчання фундаментальних понять фізики;	Наука (фізика), інженерія (педагогічна), технології (педагогічні)	26,5	58,6

Продовження табл. В.5.1

1	2	3	4	5
10.4.	узагальнення інженерно-технічного складника для новітнього тлумачення традиційних понять фізики;	Інженерія (педагогічна, технічна), технології (технічні, педагогічні)	17,4	46,7
11	Визначення $m_{x_i}$ літака для різних умов (завантажений, пустий та ін);	Наука (повітряні перевезення), технології (технічні)	29,1	61,5
12.	Визначення схеми сил, що діють на літак.	Наука (принцип польотів, аеродинаміка), інженерія (технічна), математика	34,6	47,3
13.	Визначення:			
13.1.	траєкторії посадки літака;	Наука (повітряна навігація, принцип польотів), математика, інженерія (технічна)	42,3	71,6
13.2.	повної аеродинамічної сили літака;	Наука (авіоніка, принцип польотів, фізика), математика, інженерія (технічна)	39,5	58,6
13.3.	балансування літака в повздовжньому русі;	Наука (фізика, повітряні перевезення), математика, інженерія (технічна)	42,6	74,7
13.4.	визначення сили лобового опору тіл різної форми;	Наука (фізика, принцип польотів), математика, інженерія (технічна)	38,4	67,4
13.5.	дослідження підйомної сили крила літака;	Наука (принцип польотів), математика, інженерія (технічна)	54,7	82,3
14.	Усвідомлення знання про:			
14.1.	поняття шарнірно рухомої опори;	Наука (теоретична механіка, опір матеріалів), математика, інженерія (технічна)	32,1	68,4
14.2.	кососиметричне та симетричне навантаження;	Наука (фізика, опір матеріалів, повітряне судно), математика, інженерія (технічна)	22,3	53,2
14.3.	симетрія рівняння Бернуллі;	Математика, інженерія (технічна)	32,6	58,5
14.4.	симетрія однорідного середовища;	Наука (фізика), математика, інженерія (технічна)	38,7	62,8
14.5.	симетрія зображень в оптиці.	Наука (фізика), математика, інженерія (технічна)	51,2	69,6



Продовження табл. В.5.1

1	2	3	4	5
15.	Особливості понять:			
15.1.	перетворення часу в класичній механіці;	Наука (теоретична механіка, повітряна навігація, інженерна графіка), математика	41,5	72,7
15.2.	інваріантність;	Наука (фізика, теоретична механіка), математика	39,8	66,3
15.3.	електромагнітне поле та хвиля;	Наука (фізика, електротехніка, радіоелектроніка), математика, інженерія (технічна)	49,4	72,4
15.4.	консервативні сили;	Наука (теоретична механіка), математика, інженерія (технічна)	29,3	58,5
15.5.	потенціальна, кінетична, повна енергія;	Наука (фізика, теоретична механіка), математика, інженерія (технічна)	43,1	75,3
16.	Навички самостійного здобуття інформації з підручників та інших джерел.	Наука (педагогіка), технології (педагогічні)	53,7	82,5
17.	Уміння самостійної пізнавальної діяльності за рахунок забезпечення студентів потрібними відомостями, порадами й рекомендаціями щодо роботи з основними видами навчальної інформації.	Наука (педагогіка), технології (педагогічні)	56,5	76,4
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ</b>				
18.	Поняття:			
18.1.	квантовий гармонічний осцилятор;	Наука (фізика), математика, інженерія (технічна)	20,1	51,7
18.2.	теорема про три сили;	Наука (опір матеріалів, теоретична механіка), математика, інженерія (технічна)	31,2	53,4
18.3.	теорема про зміну кінетичної енергії точки;	Наука (фізика) математика, інженерія	44,7	62,8
18.4.	закони збереження руху мас механічної системи;	Математика, інженерія (технічна механіка)	53,4	74,4
18.5.	властивості гіроскопу з трьома ступенями свободи;	Математика, інженерія (технічна механіка, авіоніка)	32,6	57,3
19.	Володіння знаннями, необхідними для			

Продовження табл. В.5.1

1	2	3	4	5
	ефективного виконання завдань з фізики:			
19.1.	класичні динамічні змінні;	Математика, інженерія (технічна механіка)	30,4	61,2
19.2.	квантові динамічні змінні;	Наука (квантова теорія), математика, інженерія	25,6	58,6
19.3.	замкнена система, перетворення часу;	Математика, інженерія (фізика)	41,5	63,8
19.4.	гільбертовий простір;	Математика, інженерія (фізика)	23,7	54,9
19.5.	векторний та скалярний потенціали;	Наука (фізика, теоретична механіка, електротехніка), математика, інженерія	32,5	58,1
19.6.	рівняння нерозривності, ідеальна рідина.	Інженерія (технічна), математика	41,6	67,5
20.	Використання STEM для одержання 4-складових інтегративних відомостей про навчальну інформацію з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін	Наука (ІКТ), математика, інженерія (педагогічна, технічна), технології (педагогічні, технічні)	32,4	66,3
21.	Виокремлення теоретичної й технологічної складників:			
21.1.	сукупність фундаментальних наскрізних знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	Наука (педагогіка), математика, інженерія (педагогічна)	35,9	72,3
21.2.	знання, які є інженерною основою пошукової пізнавальної діяльності майбутнього фахівця;	Наука (педагогіка), математика, інженерія (педагогічна, технічна)	31,6	63,8
21.3.	теоретичні знання про основні поняття та методи фізики, які є основою технологічної підготовки фахівців авіаційної галузі;	Наука (педагогіка), математика, інженерія (технічна, педагогічна)	31,8	62,1
22.	Виявлення інженерної креативності та системності під час відтворення фундаментальних понять з фізики.	Наука (педагогіка), математика, інженерія (технічна)	29,3	64,2
23.	Прояв оперативності мислення в ситуаціях пошуку та застосування поняття симетрії в	Наука (педагогіка), інженерія (технічна)	45,1	68,3

Продовження табл. В.5.1

1	2	3	4	5
	технічних ЗВО.			
24.	Володіння загальнотеоретичними умінями успішно застосовувати STEM підходи в здобутті знань орієнтованих на технічну галузь.	Наука (педагогіка), математика, інженерія (технічна)	27,5	61,8
25.	Взаємозв'язок класичної та квантової фізики.	Наука (класична та квантова теорія), математика, інженерія (технічна)	19,4	52,7
26.	Уміння прогнозувати навчання фізики на інженерну проєктну діяльність фахівця технічної галузі.	Наука (педагогіка, професійно зорієнтовані дисципліни), математика, інженерія (технічна, педагогічна)	18,6	48,2
27.	Розуміння понять:			
27.1.	наукові фізичні та технічні факти;	Наука (фізика), математика, інженерія (технічна)	42,3	75,3
27.2.	наукові поняття, процеси;	Наука (філософія), математика, інженерія (педагогічна, технічна)	33,7	58,6
27.3.	фізична величина;	Наука (методологія), математика, інженерія (педагогічна), технології (педагогічні)	25,2	57,5
27.4.	закон, правило, закономірність;	Інженерія (педагогічна, технічна), технології (технічні)	45,1	73,9
27.5.	теорія та її наслідки;	Наука (методологія), математика, інженерія (педагогічна)	54,2	76,6
27.6.	правило, принцип, постулат;	Наука (методологія), інженерія, технології	38,5	55,1
27.7.	гіпотеза;	Наука (методологія), інженерія (педагогічна), технології (педагогічні)	29,7	56,9
27.8.	Модель.	Наука (методологія), інженерія (педагогічна, технічна), технології (педагогічні), математика	24,6	67,3
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ</b>				
28.	Володіння методологічними знаннями з обґрунтування фізичних закономірностей.	Наука (філософія, методологія), інженерія (педагогічна), технології (педагогічні)	7,2	18,7
29.	Високий рівень здатності до навчання фізики	Наука (педагогіка), інженерія (технічна,	5,1	21,4

Продовження табл. В.5.1

1	2	3	4	5
	на основі STEM-технологій.	педагогічна), технології (технічні, педагогічні)		
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ</b>				
30.	Знання понять:			
30.1.	теорема Пойтінга;	Наука (технічна механіка), математика, інженерія (технічна), технології (технічні)	3,6	14,3
30.2.	диференціальні рівняння руху центра мас механічної системи;	Математика (технічна механіка), інженерія (технічна, авіаційна), технології (технічні)	6,5	18,9
30.3.	особливості польоту в умовах турбулентної атмосфери;	Наука (самоорганізуючі системи, повітряне судно, авіаційна метеорологія), математика, інженерія (технічна), технології (технічні, авіаційні)	9,8	31,6
30.4.	центрування літака за допомогою баласту та вантажу.	Наука (технічна механіка, повітряні перевезення, теоретична механіка), математика, інженерія (технічна), технології (технічні)	11,3	22,6
31.	Знання фундаментальних понять:			
31.1.	рівняння Шредінгера;	Наука (квантова фізика), математика, інженерія (технічна), технології (технічні)	4,3	12,7
31.2.	рівняння Максвелла;	Наука (класична електродинаміка), математика, інженерія (технічна), технології (технічні)	5,2	20,6
31.3.	закон збереження механічної енергії;	Математика, інженерія (технічна), технології (технічні)	13,5	34,2
31.4.	закон збереження для тензора енергії-імпульсу системи;	Математика, інженерія (технічна), технології (технічні)	3,7	7,8
31.5.	Центр аеродинамічного тиску та фокус	Наука (аеродинаміка, фізика), інженерія (технічна), технології (технічні)	6,4	17,8
32.	Кваркова будова речовин.	Наука (квантова фізика), математика, інженерія (технічна), технології (технічні)	9,3	24,7
33.	Симетрія та її властивості.	Наука (класична й квантова фізика), математика, інженерія (технічна), технології (технічні)	15,1	42,2

Таблиця В.5.2

## Система STEM-освітніх показників за мотиваційним компонентом

№ з/п	ПОКАЗНИКИ ЗА МОТИВАЦІЙНИМ КОМПОНЕНТОМ	STEM-показники	R <sub>ефк.</sub> , %	R <sub>сфе.</sub> , %
1	2	3	4	5
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ</b>				
1.	Зацікавленість студентів у ґрунтовних знаннях:			
1.1.	будови літака;	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	32,3	54,8
1.2.	призначення пристроїв управління літаком;	Наука (інженерна педагогіка), технологія (педагогічна)	27,1	62,1
1.3.	закономірностями форми кожного пристрою.	Наука (інженерна педагогіка), технологія (педагогічна)	25,6	49,3
2.	Знання наукового, інженерного, технічного та математичного складників STEM-освіти для розв'язку фізичних задач фахівців технічної галузі.	Наука (педагогіка, професійно зорієнтовані дисципліни), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), математика	19,1	31,2
3.	Розкриття зв'язків між явищами природи, технікою і STEM-освітою.	Наука (педагогіка, методологія), інженерія (педагогічна, технічна), технологія (педагогічна)	34,5	63,5
4.	Уміння майбутніх фахівців технічних ЗВО створювати проблемні ситуації в навчанні фізики.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	25,7	48,7
5.	Уміння охопити суть змісту задач, завдань, що спонукає до пошуку способів розв'язування завдань.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), математика.	39,4	72,1
6.	Спонукаюча зацікавленість у навчанні з використанням комп'ютерів та ІКТ.	Наука (інженерна психологія), технологія (педагогічна)	50,2	76,9
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ</b>				
7.	Уміння використовувати методи наукового дослідження з використанням віртуальних моделей.	Наука (інженерна педагогіка), технологія (педагогічна)	21,4	49,7
8.	Роль STEM-технологій у досягненні навчальної мети на заняттях з фізики.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	22,3	45,6

Продовження табл. В.5.2

1	2	3	4	5
9.	Практичне досягнення ефективності формування практичних умінь і навичок з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	Наука (інженерна психологія), технологія (педагогічна)	15,6	37,4
10.	Показники визначення динаміки рівня розвитку творчих здібностей у засвоєнні фундаментальних понять з фізики.	Наука (інженерна психологія), технологія (педагогічна), наука (фізика), математика	20,8	51,2
11.	Зацікавленість у позитивній динаміці глибини і міцності засвоєння знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	Технологія (педагогічна), наука (інженерна психологія)	34,9	66,8
12.	Уміння аналізувати реальні технічні ситуації майбутнього фахівця.	Технологія (педагогічна), наука (інженерна педагогіка)	25,6	49,1
13.	Прагнення до ознайомлення із сучасними досягненнями науки й техніки.	Технологія (педагогічна, технічна), наука (інженерна педагогіка)	34,1	69,5
14.	Місце експериментальних задач у STEM-освіті.	Наука (методологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна, технічна), математика	17,6	48,5
15.	Місце STEM-технологій у розв'язуванні практичних задач у технічних ЗВО.	Інженерія (педагогічна, технічна), технологія (педагогічна: методологія), математика	19,7	31,7
16.	Уміння визначати призначення блоків літаків.	Інженерія (педагогічна, технічна), технологія (технічна)	38,3	71,5
17.	Розкриття ролі поняття симетрії та прояву її властивостей у фаховій підготовці.	Наука (технічна механіка, аеродинаміка, принципи польоту), інженерія (технічна), технологія (технічна, педагогічна)	25,3	67,4
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ</b>				
18.	Розвиток зацікавленості в умінні ставити і вирішувати технічні задачі майбутнім фахівцем технічної галузі.	Наука (інженерна психологія), технологія (педагогічна)	33,6	78,5
19.	Діагностика вмінь формулювати і робити висновки з аналізу блок-схеми на прикладі літака.	Наука (інженерна психологія), технологія (технічна, педагогічна), наука (повітряне судно)	19,7	45,3

Продовження табл. В.5.2

1	2	3	4	5
20.	Бажання використовувати знання законів фізики в оволодінні майбутньою професією авіаційної галузі.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), математика	38,3	78,1
21.	Самооцінювання знань про принципи роботи сучасних технічних пристроїв авіаційного профілю діяльності.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), наука (педагогіка)	28,7	64,2
22.	Зацікавленість у формуванні вмінь складати схему орієнтованої основи дій у навчанні фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	Наука (психологія), технологія (педагогічна), інженерія (педагогічна)	12,4	36,4
23.	Уміння визначати рівень розвитку інтересу до вивчення фундаментальних наскрізних понять з фізики.	Наука (педагогіка, психологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	23,7	59,1
24.	Знання закономірностей створення ситуації упевненості у власних здібностях і силах з оволодіння фундаментальними поняттями з фізики.	Наука (психологія, педагогіка), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	15,8	48,5
25.	Постійне забезпечення актуалізації чуттєвого досвіду і виявлення опорних знань з фізики при аналізі будови літака.	Наука (інженерна педагогіка), технологія (педагогічна)	38,1	69,1
26.	Бажання самоурізноманітнення процесу навчання фізики.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	20,8	65,3
27.	Уміння самостійно здобувати новітні знання з фаху.	Технологія (педагогічна), наука (інженерна психологія)	14,3	47,5
28.	Знання форм і методів, повідомлення нових знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), математика	52,1	84,1
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ</b>				
29.	Уміння розробляти проекти комп'ютерного віртуального моделювання фізичних та технічних явищ авіаційної галузі.	Інженерія (технічна), технологія (технічна), математика	6,7	14,9
30.	Досконале володіння STEM-технологіями.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), наука (педагогіка, професійно зорієнтовані дисципліни)	5,1	13,5

Продовження табл. В.5.2

1	2	3	4	5
31.	Уміння використання у навчанні фізики:			
31.1.	– 3-D принтерів;	Наука (системи автоматичного проектування, програмування), інженерія (технічна), технологія (технічна)	9,2	28,4
31.2.	– цифрових лабораторій;	Наука (інженерна цифровізація), технологія (технічна)	10,1	29,1
31.3.	– роботів.	Наука (інженерна механіка, мехатроніка), технологія (технічна)	32,4	65,3
32.	Уміння створювати віртуальні моделі демонстрування фізичних законів у роботі авіаційних пристроїв літаків.	Технологія (педагогічна), наука (інженерна педагогіка)	8,3	25,7
33.	Визначення знань фізики у приладах та пристроях: висотомір, радіолокація, авіоніка, двигуни, датчики, атмосферний тиск.	Наука (професійно зорієнтовані дисципліни), інженерія (технічна, педагогічна), технологія (технічна, педагогічна)	12,7	49,3



Таблиця В.5.3

## Система STEM-освітніх показників за орієнтаційно-контрольним компонентом

№ з/п	ПОКАЗНИКИ ЗА ОРІЄНТАЦІЙНО-КОНТРОЛЬНИМ КОМПОНЕНТОМ	STEM-показники	R <sub>сфк</sub> , %	R <sub>сфе</sub> , %
1	2	3	4	5
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ</b>				
1.	Виявляє первинне розуміння STEM засобів навчання.	Наука (інженерна педагогіка), технології (педагогічні)	20,5	41,5
2.	Відтворення навчального матеріалу з фізики у професійних дисциплінах.	Інженерія (педагогічна), технології (педагогічні), наука (педагогіка)	41,6	65,4
3.	Роль поняття симетрії у формуванні професійної здатності фахівця авіаційної галузі.	Наука (технічна механіка), інженерія (технічна), технології (технічні)	23,4	48,1
4.	Уміння визначати роль контрольних функцій фахівця авіаційної галузі.	Інженерія (педагогічна), технології (педагогічні)	43,7	76,3
5.	Використання фундаментальних понять з фізики для аналізу технічних ситуацій.	Наука (методологія), інженерія (педагогічна), технології (педагогічні)	44,9	67,5
6.	Уміння підбирати необхідні прилади та обладнання для виконання системи демонстрацій з професійно спрямованої фізики.	Наука (інженерна педагогіка), технології (педагогічні)	16,5	32,4
7.	Уміння спостерігати динаміку фізичних явищ у професійній діяльності.	Інженерія (педагогіка), технології (педагогічні), наука (педагогіка)	21,4	48,7
8.	Розвиток передбачливості у технологічних процесах.	Технологія (педагогічні), інженерія (педагогічна)	16,5	38,2
9.	Проектування наступності розвитку ситуації в залежності від початкових умов.	Інженерія (педагогічна), технології (педагогічні)	22,6	45,9
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ</b>				
10.	Передбачення результуючого продукту навчального	Технологія (педагогічна), інженерія	30,2	62,8

Продовження табл. В.5.3

1	2	3	4	5
	дослідження технічного проєкту.	(педагогічна), наука (педагогіка, психологія)		
11.	Здатність до аналізу, синтезу, систематизації знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	Наука (педагогіка, методологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	18,4	39,5
12.	Уміння виділення організаційно-плануючих компонентів навчальної діяльності у становленні фахівця технічної галузі.	Інженерія (педагогічна), технології (педагогічні), наука (педагогіка, методологія)	19,8	41,3
13.	Усвідомлення цілей і завдань діяльності з оволодіння фундаментальними фізичними поняттями та професійними знаннями.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	35,5	71,9
14.	Рівень самоконтролю і самооцінки у досягненні мети навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	Наука (педагогіка, психологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	24,9	51,4
15.	Виявлення зворотного зв'язку в освітньому процесі з фізики.	Наука (педагогіка, методологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	36,1	52,5
16.	Уміння шукати та знаходити причини своїх помилок.	Наука (педагогіка, методологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	44,8	69,1
17.	Прогноз ефективності обраного засобу на підставі мисленнєвого моделювання.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), наука (педагогіка, методологія), математика	19,7	41,6
18.	Уміння осмислити теми нового матеріалу й основних проблем.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	21,3	46,7
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ</b>				
19.	Рівень активної інтелектуальної чи практичної діяльності в ході розв'язування задач з фізики.	Наука (психологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), математика	42,8	65,7
20.	Створення STEM-засобів, які забезпечують наступність	Наука (інженерна педагогіка, знання про	23,9	44,7

Продовження табл. В.5.3

1	2	3	4	5
	вивчення понять курсу фізики від механіки до Всесвіту.	Всесвіт), технологія (педагогічна)		
21.	Володіння методами створення STEM освітнього середовища.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	13,1	37,2
22.	Рівень сформованості професійно зорієнтованих знань фізичного спрямування.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), математика	37,5	56,1
23.	Володіння ланкою учіння: орієнтація-виконання-контроль для досягнення мети навчання.	Наука (психологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	44,3	65,3
24.	Знання сутності орієнтовної основи дій у навчанні фізики, як системи орієнтирів і вказівок для виконання STEM завдань.	Наука (методологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), математика	16,7	38,5
25.	Ступінь повноти, міра узагальненості, спосіб одержання, спосіб формування орієнтовної основи вивчення фізики.	Технологія (педагогічна), інженерія (педагогічна), наука (педагогіка, методологія)	36,9	59,4
26.	Уміння оцінювати модель навчального процесу з фізики та технічних дисциплін.	Інженерія (педагогічна, технічна), технологія (педагогічна), наука (педагогіка, психологія), математика	24,1	48,7
27.	Здатність виконувати навчальні пошуково-творчі завдання (на лабораторних та практичних заняттях).	Наука (педагогіка), технології (педагогічні), інженерія (педагогічна), математика	43,9	64,5
28.	Здатність орієнтуватися на виявлення суттєвих зв'язків між поняттями та явищами фізики та техніки.	Технологія (педагогічна), інженерія (педагогічна), наука (педагогіка, методологія), математика	31,8	52,7
29.	Уміння аналізувати способи та результати власної професійно-спрямованої діяльності.	Наука (педагогіка, методологія), технології (педагогічні)	39,7	63,5
30.	Формування готовності до професійної діяльності.	Наука (інженерна психологія), технології (педагогічні)	35,3	57,3

Продовження табл. В.5.3

1	2	3	4	5
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ</b>				
31.	Уміння вибору творчих завдань.	Наука (педагогіка), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), математика	5,6	21,3
32.	Застосування методів наукового STEM дослідження до аналізу технічних ситуацій.	Наука (педагогіка), технологія (педагогічна), інженерія (педагогічна)	3,2	19,5
33.	Знання психолого-педагогічних принципів розвитку орієнтувань у фізичних теоріях та фундаментальних поняттях.	Наука (психологія, педагогіка), технологія (педагогічна), інженерія (педагогічна)	5,8	18,7
34.	Передбачення суперечностей у розвитку фізичних явищ у літальних апаратах.	Наука (педагогіка, методологія), технологія (педагогічна), інженерія (педагогічна)	4,3	15,7
35.	Уміння аналізувати навчальні проблеми з точки зору STEM.	Наука (педагогіка, методологія), технологія (педагогічна), інженерія (педагогічна), математика	8,7	20,2
36.	Місце гіпотези в навчальному експерименті.	Наука (педагогіка, методологія), технологія (педагогічна), математика	6,8	18,4

Таблиця В.5.4

## Система STEM-освітніх показників за психофізіологічним компонентом

№ з/п	ПОКАЗНИКИ ЗА ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНИМ КОМПОНЕНТОМ	STEM-показники	R <sub>сфк</sub> , %	R <sub>сфе</sub> , %
1	2	3	4	5
<b>ПОЧАТКОВИЙ РІВЕНЬ</b>				
	Психофізіологічна готовність упровадження STEM:	Наука (психологія, педагогіка, філософія)		
1.	– рівень функціонування фізіологічних підсистем майбутніх фахівців із забезпечення підтримки високої працездатності під час навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), наука (фізіологія)	34,1	57,8
2.	– упровадження провідних для здійснення професійного навчання когнітивних функцій (мислення, пам'яті, уваги та ін.);	Наука (інженерна психологія), технологія (педагогічна)	40,7	64,3
3.	– забезпечення спроможності ефективно адаптуватись до зміни навчальних умов та вимог професійної підготовки майбутніх фахівців технічної галузі;	Наука (інженерна педагогіка), технологія (педагогічна)	43,2	72,1
4.	– формування здатності до ефективної саморегуляції майбутніх фахівців технічної галузі у навчанні професійно зорієнтованих дисциплін	Наука (інженерна психологія), технологія (педагогічна)	37,4	69,4
	Ефективні психофізіологічні чинники становлення фахівця технічної галузі:			
5.	Мотивація.	Наука (інженерна педагогіка), технологія (педагогічна)	63,7	85,7
6.	Компетентність.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), наука (педагогіка)	51,4	76,5
7.	Досвід.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	43,7	77,9
8.	Ступінь повноти інформації.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), математика	34,6	62,5
<b>СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ</b>				
9.	Розуміння психодіагностики особливостей розвитку	Наука (інженерна психологія), технологія	20,6	51,6

Продовження табл. В.5.3

1	2	3	4	5
	мислення, пам'яті, уваги в ході навчання фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	(педагогічна)		
10.	Системна реакція на зовнішні і внутрішні впливи в ході навчання фізики.	Наука (психологія), технологія (педагогічна), інженерія (педагогічна)	29,5	58,4
	Методики STEM, які застосовуються для навчання, діяти у особливих та екстремальних навчальних середовищах:	Наука (педагогіка, методологія)		
11.	дозволяють визначити індивідуальні особливості, потрібні для якісного засвоєння знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін;	Технологія (педагогічна), наука (інженерна педагогіка), математика	39,1	72,3
12.	дозволяють орієнтуватися на індивідуальні особливості навчання фізиці для використання в екстремальних умовах;	Наука (інженерна педагогіка), технологія (педагогічна), наука (педагогіка)	35,4	79,8
13.	спрямуванні засобів навчання фізики на створення екстремальних умов формування професійно важливих якостей майбутніх фахівців авіаційної галузі;	Інженерія (педагогічна), технології (педагогічні)	24,7	48,2
14.	дозволяють прогнозувати вірогідність нестандартної, творчої поведінки в екстремальних умовах навчання.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	28,6	59,6
15.	Формування психофізіологічної готовності майбутніх авіаторів до майбутньої професійної діяльності.	Наука (психологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	38,2	66,3
16.	Формування системи психофізіологічних якостей, які забезпечують ефективну працездатність майбутнього фахівця технічної галузі.	Технологія (педагогічна), наука (інженерна психофізіологія)	35,7	74,8
17.	Засвоєнні фахівцями стратегій та способів адекватних професійних взаємодій, розвитку у них STEM комунікативних навичок.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), наука (педагогічна), математика	22,3	55,4
18.	Формування компетентних фахівців технічної галузі високого рівня мотивації до професійної діяльності.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	31,9	62,5

Продовження табл. В.5.3

1	2	3	4	5
<b>ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ</b>				
19.	Ступінь виразності засвоєння фундаментальних наскрізних знань і зрушень фізіологічних функцій суб'єктів навчання.	Наука (фізика, психофізіологія), технологія (педагогічна), інженерія (педагогічна)	16,4	45,3
20.	Психофізіологічний стан є єдиною функціональною системою, як методологічна база навчання фізики майбутніх фахівців авіаційної галузі.	Наука (психофізіологія), технологія (педагогічна), інженерія (педагогічна)	14,3	43,7
21.	Психофізіологічний стан у навчанні фізики є складною ієрархічною саморегульовальною системою, що являє собою динамічну єдність внутрішніх компонентів.	Наука (психологія, фізіологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	25,1	56,8
22.	Психофізіологічний стан як цілісна реакція майбутнього фахівця технічної галузі на зовнішні та внутрішні стимули, спрямована на досягнення корисного результату у навчанні фізики та технічних дисциплін.	Наука (психологія, фізіологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), математика	23,8	57,3
23.	Психофізіологічне забезпечення готовності до діяльності.	Наука (інженерна психофізіологія), технологія (педагогічна)	32,4	67,4
24.	Уміння диференціювати ризикоефективні умови професійної діяльності за ступенем інтенсивності впливу чинників навчання фізики та технічних дисциплін.	технологія, наука (інженерна психологія)	10,5	37,4
25.	Психофізіологічне забезпечення навчальної діяльності з фізики для авіаційних фахівців:			
25.1.	є системою знань, що забезпечують спрямовану на збільшення ефективності та надійності навчальну діяльність;	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	26,3	56,3
25.2.	здійснюється за рахунок контролю, прогнозування та корекції мотивації у навчанні технічних дисциплін.	Наука (інженерна педагогіка), технологія (педагогічна)	21,5	48,6
26.	Усвідомлення наявного та необхідного рівнів розвитку інтелекту.	Інженерія (педагогічна), наука (інженерна психологія), технологія (педагогічна), математика	26,2	51,4

Продовження табл. В.5.3

1	2	3	4	5
27.	Визначення умов навчальної діяльності для створення процесу дії екстремальних факторів на майбутніх фахівців авіаційної галузі.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), наука (інженерна психологія)	29,6	55,3
28.	Психофізіологічне забезпечення додання екстремальних умов прийняття рішень на основі знань з фізики та професійно зорієнтованих дисциплін.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), наука (психологія, фізіологія)	25,4	53,7
29.	Розвиток інтелектуальних цінностей в ході навчання фізики.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	18,7	37,5
30.	Спроможність студентів швидко адаптуватись до зміни різноманітних умов та вимог професійної діяльності.	Технологія (педагогічна), наука (інженерна педагогіка), інженерія (педагогічна)	32,1	67,4
<b>ВИСОКИЙ РІВЕНЬ</b>				
31.	Самовизначення ступеню професійної придатності студента до авіатехнічної діяльності.	Наука (інженерна психологія), технологія (педагогічна)	2,6	23,5
32.	Психофізіологічне забезпечення готовності майбутніх фахівців технічної галузі до навчальної діяльності, шляхом набуття когнітивних функцій.	Наука (психологія, фізіологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	6,1	24,9
33.	Ефективність психофізіологічних впливів зростає за врахування індивідуальних особливостей та можливостей майбутніх фахівців авіаційної галузі.	Інженерія (педагогічна), наука (психологія, фізіологія), технологія (педагогічна)	5,3	18,4
34.	Уміння аналізувати способи та результати власної професійно-спрямованої діяльності у процесі вирішення завдань з фізики.	Наука (педагогіка, методологія), інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна)	6,7	19,8
35.	Оволодіння когнітивними функціями шляхом проведення спеціалізованих тренінгів, навчання технічної професійної діяльності.	Технологія (педагогічна), інженерія (педагогічна), наука (педагогіка), математика	12,8	32,7
36.	Засвоєння рольових нормативно-професійних компетентностей та цінностей за високого рівня мотивації до навчання.	Інженерія (педагогічна), технологія (педагогічна), наука (педагогіка, психологія)	9,4	28,5



## ДОДАТОК Д

### Довідки про впровадження результатів дослідження



УКРАЇНА

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058 тел (044) 497-51-51, факс: (044) 408-30-27  
E-mail post@nau.edu.ua [Http://www.nau.edu.ua](http://www.nau.edu.ua)

Система менеджменту якості університету сертифікована за ISO 9001:2008, ДСТУ ISO 9001:2009

*25.05.2018 №19-74/3*

#### ДОВІДКА

*про впровадження результатів дисертаційного дослідження «Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти на основі технологій STEM-освіти» докторанта кафедри фізики та методики її викладання Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимирца Винниченка Кузьменко Ольги Степанівни*

Результати наукового дослідження Кузьменко О. С. використовуються на кафедрі загальної фізики Навчально-наукового інституту Інформаційно-діагностичних систем у виконанні кафедральної науково-дослідної роботи № 21/14.01.08 «Теоретичні і методичні засади реалізації STEM підходу у навчанні фізики майбутніх інженерів авіаційної галузі» (термін виконання 01.09.2017 р – 30.06.2019 р.) та у організації відповідної проєктної діяльності студентів.

Зміст методики вивчення фізики на основі STEM-технологій висвітлений у підручнику та навчальних посібниках: 1) Sadovyi N. Method and technique of experiment for optics. / N. Sadovyi, O. Gavrylenko, O. Kuzmenko. – Kirovohrad.: EPD KSPU named after Volodymyr Vynnychenko, 2012. – 256 p. (Signature stamp is conferred on the Ministry of Education and Science of Ukraine); 2) Физика. Пособие для выполнения лабораторных работ / А.Н. Бурмисторов, В.Г. Борота, Ю.Г. Ковальов, О.С. Кузьменко, В.В. Фоменко : Составители : О.С. Кузьменко, В.В. Фоменко. – 2-е изд., перераб. и доп.- Кировоград : Изд-во КЛА НАУ, 2013. – 172 с.; 3) Кузьменко О.С. Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням. / О.С. Кузьменко, М.І. Садовий, В.П. Вовкотруб. - Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Кіровоград: КЛА НАУ, 2015. – 204 с.; 4) Kuz'menko O. Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics. / O. Kuz'menko, Sadovyi N. – Kropivnitskiy.: KFA NAU, 2017. – 324 p.

Навчально-методичний комплекс, розроблений О. С. Кузьменко, є однією з сучасних методик підготовки фахівців технічного напрямку навчання в контексті розвитку STEM-освіти, сприяє глибшій реалізації дидактичних принципів інтегрованого та розвивального навчання, а також фаховому вдосконаленню й професійному саморозвитку майбутніх інженерів.

Результати впровадження обговорено на засіданні кафедри загальної фізики НН ЦДС, протокол № 4 від 24 квітня 2018 р.

Проректор з наукової роботи  
Національного авіаційного університету  
доктор технічних наук, професор



*[Signature]*  
В. П. Харченко

Завідувач кафедри загальної фізики,  
доктор фіз.-мат. наук, професор

*[Signature]*  
А. П. Поліщук



УКРАЇНА

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЧЕРКАСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІМЕНІ БОГДАНА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО**

Бульвар Т.Шевченка, 81, м. Черкаси, 18031, тел./факс: (0472) 35-44-63, 37-21-42,  
 e-mail: oic@cdu.edu.ua Код ЄДРПОУ 02125622

28.02.2018 № 40/23  
 на № \_\_\_\_\_

**ДОВІДКА**

**про впровадження результатів дослідження**  
**Кузьменко Ольги Степанівни**  
**«Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних**  
**закладів вищої освіти на основі технологій STEM-освіти»,**  
**поданого на здобуття наукового ступеня доктора педагогічних наук**  
**із спеціальності 13.00.02 – теорія та методика навчання (фізика)**

Протягом 2016-2018 років О.С. Кузьменко впроваджувала результати дослідження у процес підготовки фахівців з фізики в умовах розвитку STEM-освіти. За її методичними рекомендаціями працювали викладачі кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ННІ інформаційних та освітніх технологій Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького.

Розкриття особливостей застосування STEM-технологій до навчання фізики в закладах вищої освіти сприяло формуванню STEM-компетентностей, що набувають студенти під час виконання різнорівневих завдань та робіт фізичного практикуму.

Розроблені О.С. Кузьменко підручники, навчальні посібники та навчально-методичне забезпечення: «Фізика. Пособие для выполнения лабораторных работ», «Методичні вказівки по виконанню розрахунково-графічної роботи з фізики (робота №1)», «Механика и молекулярная физика: Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-микро», «Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics», «Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням», «Method and technique of experiment for optics», – успішно використовуються на кафедрі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ННІ інформаційних та освітніх технологій Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького у процесі навчання студентів напряму підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» з дисципліни «Фізика».



За результатами перевірки встановлено, що запропоноване сучасне обладнання в умовах розвитку STEM-освіти відповідає ергономічним вимогам до засобів навчання, забезпечує диференційоване вивчення фізики, активізує самостійну пізнавальну діяльність студентів, стимулює інтерес до навчання фізики. Високої оцінки заслуговує ефективність експериментів, які проводяться зі STEM-технологій для вивчення оптики та механіки. Їх різноманітність надає можливість значно підвищити зацікавленість студентів до навчання та науковий рівень вивчення фізики.

Розроблена Кузьменко О.С. система нових лабораторних робіт на основі STEM-технологій заслуговує схвалення та може успішно запроваджуватися для підвищення ефективності фізичної освіти у технічних закладах вищої освіти в умовах розвитку STEM-освіти.

Результати впровадження обговорено й схвалено на засіданні кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ННІ інформаційних та освітніх технологій Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького (протокол №8 від 27.02.2018 р.).

Проректор з наукової, інноваційної та міжнародної діяльності



С. В. Корновенко



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95  
 Тел.: (0432) 56-08-48 Факс: (0432) 46-57-72 Ел. пошта: vntu@vntu.edu.ua

22.06.18 № 15-82/1

**ДОВІДКА**

на № \_\_\_\_\_ **про впровадження результатів дисертаційної роботи на тему**  
**«Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів**  
**вищої освіти на основі технологій STEM-освіти»**  
 докторанта кафедри фізики та методики її викладання Центральноукраїнського  
 державного педагогічного університету  
 імені Володимира Винниченка **Кузьменко Ольги Степанівни**

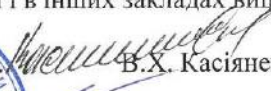
Результати дисертаційної роботи Кузьменко Ольги Степанівни використовувались у навчально-виховному процесі на кафедрі загальної фізики Вінницького національного технічного університету упродовж 2016-2018 рр. В процесі викладання курсу фізики на основі STEM-технологій використовувалися посібники:

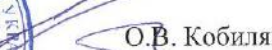
1. Sadovyi N. Method and technique of experiment for optics. / N. Sadovyi, O. Gavrylenko, **O. Kuzmenko**. – Kirovohrad.: EPD KSPU named after Volodymyr Vynnychenko, 2012. – 256 p. (Signature stamp is conferred on the Ministry of Education and Science of Ukraine).

2. Кузьменко О.С. Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням. / О.С. Кузьменко, М.І. Садовий, В.П. Вовкотруб. - Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Кіровоград: КЛА НАУ, 2015. – 204 с.

За результатами проведеного педагогічного експерименту встановлено підвищення якості знань студентів на 14-21% в експериментальних групах де проводилися заняття за розробленою системою знань вища за якість знань, де заняття проводилися за традиційною методикою. Наукова робота Кузьменко О.С. має практичне значення, адже, запровадження авторської методики дозволило підвищити зацікавленість студентів до вивчення фізики, розширити кількість та підвищити якість експериментів, що проводяться на лабораторних заняттях з фізики.

Позитивно оцінюємо розроблену Кузьменко О.С. структуру та зміст методичної системи навчання фізики в контексті розвитку STEM-освіти. Все це дає підстави вважати, що результати дослідження Кузьменко Ольги Степанівни впроваджено у навчально-виховний процес Вінницького національного технічного університету. Отримані результати можна використовувати і в інших закладах вищої освіти.

Зав. кафедри загальної фізики, проф., д.ф.м.н.  В.Х. Касіяненко

Зав. кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, проф., д.пед.н.  О.В. Кобилянський

Проректор з наукової роботи, проф., д.т.н.  С.П. Павлов







УКРАЇНА  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Полтавська обл., 39600, т./ф. (05366) 3-60-00, т.3-62-19  
e-mail: office@kdu.edu.ua, www.kdu.edu.ua, ЄДРПОУ 05385631

13.04.18. № 30-10/394

на № \_\_\_\_\_

**ДОВІДКА**

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження «Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти на основі технологій STEM-освіти» докторанта кафедри фізики та методики її викладання Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка**

**Кузьменко Ольги Степанівни**

Кузьменко Ольга Степанівна протягом 2016–2018 рр. запроваджувала результати дисертаційного дослідження у процесі підготовки кваліфікованих фахівців з фізики в контексті розвитку STEM-освіти. За її методикою працювали викладачі фізики кафедри біотехнологій та біоінженерії Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Результати формуального експерименту показали, що використання розробленого Кузьменко О.С. навчального комплексу, який складається з підручників і навчальних посібників: «Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics», «Method and technique of experiment for optics», відповідає сучасним дидактичним вимогам і вимогам навчальних програм з фізики та забезпечує успішне опанування студентами програмного матеріалу з фізики, активізує навчально-пізнавальну діяльність студентів, стимулює інтерес до вивчення фізики.

Необхідно відзначити ефективність і різноманітність експериментів, що пропонуються у навчальному посібнику «Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням». Їх виконання дозволило значно підвищити зацікавленість студентів до експериментування з оптики.

За результатами формуального експерименту встановлено, що запропоноване в умовах розвитку STEM-освіти сучасне фізичне обладнання відповідає ергономічним вимогам до засобів навчання, забезпечує диференційоване вивчення фізики, активізує самостійну пізнавальну діяльність студентів, стимулює інтерес до вивчення фізики.

Отже, розроблений Кузьменко О.С. комплекс нових лабораторних робіт на основі STEM-технологій може успішно запроваджуватися для підвищення ефективності фізичної освіти у технічних закладах вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти.

Довідку обговорено та схвалено на засіданні кафедри біотехнологій та біоінженерії Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, протокол № 7 від 29 березня 2018 р.

В.о. зав. кафедри «Біотехнологій та біоінженерія», доцент, к.т.н.

Т. Ф. Козловська

Проректор з науково-педагогічної роботи та новітніх технологій в освіті, доцент, к.т.н.

С. А. Сергієнко





МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

## НАЦІОНАЛЬНИЙ ЦЕНТР «МАЛА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ»

від 25 травня 2018 р. № 172 / 1.1 / 7-370

### ДОВІДКА

*про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
«Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних  
закладів вищої освіти на основі технологій STEM-освіти» докторанта кафедри  
фізики та методики її викладання Центральноукраїнського державного  
педагогічного університету імені Володимира Винниченка  
Кузьменко Ольги Степанівни*

Дана довідка видана Кузьменко Ользі Степанівні, в тому, що запропоновані у дисертаційному дослідженні концептуальні засади навчання фізики в умовах розвитку STEM-освіти впроваджені в роботу Національного центру «Малої академії наук України».

Зміст методики вивчення фізики на основі STEM-технологій висвітлена у підручнику та навчальних посібниках:

1) Sadovyi N. Method and technique of experiment for optics. / N. Sadovyi, O. Gavrylenko, **O. Kuzmenko**. – Kirovohrad.: EPD KSPU named after Volodymyr Vynnychenko, 2012. – 256 p. (Signature stamp is conferred on the Ministry of Education and Science of Ukraine)

2) Фізика. Посібник для виконання лабораторних робіт / А.Н. Бурмисторов, В.Г. Борота, Ю.Г. Ковальов, **О.С. Кузьменко**, В.В. Фоменко : Составители : О.С. Кузьменко, В.В. Фоменко. – 2-е изд., перераб. и доп.- Кировоград : Изд-во КЛА НАУ, 2013. – 172 с.

3) Кузьменко О.С. Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням. / **О.С. Кузьменко**, М.І. Садовий, В.П. Вовкотруб. - Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Кіровоград: КЛА НАУ, 2015. – 204 с.

4) Kuz'menko O. Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics. / O. Kuz'menko, Sadovyi N. – Kropivnitskiy.: KFA NAU, 2017. – 324 p.

Внаслідок впровадження цього навчального методичного комплексу з'являється можливість щодо пошуку шляхів модернізації підготовки фахівців технічного напрямку навчання в контексті розвитку STEM-освіти, що дозволяє глибше реалізувати дидактичні принципи інтегрованого та розвивального

навчання, а також здійснювати диференціацію навчального процесу, що сприяє фаховому вдосконаленню й професійному саморозвитку суб'єктів навчання в технічних закладах вищої освіти.

В рамках договору про співпрацю між Національним центром «Мала академія наук України» та Льотною академією Національного авіаційного університету № 29/17 від 22.02.2017 р. була проведена сумісна робота з напрямку STEM-освіти, а саме:

1) проведено I та II Міжнародний науково-практичний семінар «STEM-освіта – проблеми та перспективи» в 2016 р. та 2017 р., керівником якого є Кузьменко Ольга Степанівна;

2) проводиться робота з дослідно-експериментальної теми «Науково-методичні засади створення та функціонування Всеукраїнського науково-методичного віртуального STEM-центру» наказ Міністерства освіти і науки України № 708 від 17.05.2017 р.» (Кузьменко О.С. – координатор в Кіровоградській області);

3) проведено I Міжнародну науково-практичну конференцію «Актуальні аспекти розвитку STEM-освіти у навчанні природничо-наукових дисциплін» 16-17 травня 2018 р.

Довідку обговорено й схвалено на засіданні вченої ради Національного центру «Мала академія наук України», протокол № 4 від 18 квітня 2018 р.

Директор



О.В. Лісовий



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬОТНА АКАДЕМІЯ  
НАЦІОНАЛЬНОГО АВІАЦІЙНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

25005, м. Кропивницький, вул. Добровольського, 1, тел. 0522344026, факс 0522344026, nis-  
glau@ukr.net

№ 01-02/324 від 22.05.2018

**ДОВІДКА**

**Про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
«Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних  
закладів вищої освіти на основі технологій STEM-освіти»  
докторанта кафедри фізики та методики її викладання  
Центральноукраїнського державного педагогічного університету  
імені Володимира Винниченка  
Кузьменко Ольги Степанівни**

Упровадження результатів дисертаційного дослідження Кузьменко Ольги Степанівни на тему «Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти на основі технологій STEM-освіти» здійснювалась протягом 2012-2018 рр. на базі Льотної академії Національного авіаційного університету.

Розроблена методика навчання фізики, видана у формі навчальних посібників та методичних рекомендацій: «Фізика. Посobie для виконання лабораторних работ», «Методичні вказівки по виконанню розрахунково-графічної роботи з фізики (робота № 1)», «Механика и молекулярная физика: Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-микро», «Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics», «Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням», «Method and technique of experiment for optics» пройшла апробацію під час навчання фізики у студентів нефізичних спеціальностей.

У навчально-виховному процесі факультетів «Льотної експлуатації», «Обслуговування повітряного руху» та «Менеджменту» використовувався теоретичний та практичний матеріал розробленої методичної системи навчання фізики з використанням STEM-технологій, вивчення якого дало



можливість ознайомити студентів даних спеціальностей із фундаментальними теоріями, законами та показати їх прикладне застосування. Впровадження STEM-технологій у навчанні фізики вплинуло на якість підготовки майбутніх фахівців з технічного напрямку навчання (якість знань покращилася на 10-15%), що підтверджує доцільність використання запропонованої методичної системи у навчальному процесі навчальних закладів.

Кузьменко Ольгою Степанівною виконується науково-дослідна робота **«Впровадження інноваційних технологій в процесі навчання фізико-математичних дисциплін в умовах розвитку STEM-освіти»** (держ. реєстр. № 0117U000789) – зареєстровано 02.2017 р. та вона є координатором в Кіровоградській області дослідно-експериментальної роботи за темою **«Науково-методичні засади створення та функціонування Всеукраїнського науково-методичного віртуального STEM-центру»** наказ Міністерства освіти і науки України № 708 від 17.05.2017 р., що здійснюється Льотною академією Національного авіаційного університету.

Кузьменко О.С. розробила програму курсів підвищення кваліфікації з напрямку STEM-освіти для педагогічних працівників з дисципліни «Фізика», яка схвалена на засіданні Вченої ради Державної наукової установи «Інституту модернізації змісту освіти» МОН України, м. Київ - протокол № 6 від 21 грудня 2017 року.

Ольга Степанівна є керівником «STEM-центру» академії – наказ № 82/од від 07.03.2017 р. та керівником науково-дослідної лабораторії «STEM-освіти та інноваційної освіти» - Наказ № 14 від 15 січня 2017 р.

Кузьменко О.С. розроблено положення про «STEM-центр» академії – протокол №3 від 12.05.2017 р. і концепцію про «STEM-центр» академії – протокол № 3 від 12.05.2017 р.

Ольгою Степанівною підписані договори про науково-методичне співробітництво в контексті розвитку STEM-освіти з провідними інституціями та вищими закладами освіти, а саме:

- Кам'янець-Подільським національним університетом імені Івана Огієнка від 01.09.2016 р.;
- Закладом освіти «Мозирським державним педагогічним університетом імені І.П. Шамякіна» (Республіка Білорусь) 10.06.2016 р.;
- ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти» № 64/17 від 25.04.2017 р.;
- Інститутом педагогіки НАПН України № 35/18 від 13.03.2018 р.
- Національним центром «Мала академія наук України» та Кіровоградською льотною академією Національного авіаційного університету № 29/17 від 22.02.2017 р.

Кузьменко О.С. виступила координатором в Кіровоградській області з проведення Всеукраїнського фестивалю із STEM-освіти та «Марафону STEM-уроків» у вересні 2017 р. спільно з ДНУ «Інституту модернізації змісту освіти» на базі ДЮОЦу.

Провела Всеукраїнський фестиваль «STEM-SPRING-2018» - який відбудеться в Льотній академії Національного авіаційного університету 20-21

квітня 2018 р. (обрано Кузьменко О.С. в організаційний комітет з проведення Всеукраїнського фестивалю «STEM-SPRING-2018» Наказ № 7 від 02.02.2018 р. Державна наукова установа «Інститут модернізації змісту освіти», м. Київ та Наказ № 124 від 20 березня 2018 р. Льотна академія Національного авіаційного університету, м. Кропивницький.

Кузьменко О.С. є науковим керівником Міжнародного науково-практичного семінару «STEM-освіта – проблеми та перспективи», що проводився в 2016, 2017 рр. в Льотній академії Національного авіаційного університету та науковим керівником Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні аспекти розвитку STEM-освіти у навчанні природничо-наукових дисциплін», яка відбудеться 16-17 травня 2018 р.

Ольгою Степанівною розроблено положення про організацію та проведення Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні аспекти розвитку STEM-освіти у навчанні природничо-наукових дисциплін» протокол №3 від 12.05.2017 р.

Керівник секції «STEM-освіта в підготовці операторів складних систем» при проведенні Міжнародної науково-практичної конференції «Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем», 2016, 2017 рр.

Керівник секції «Актуальні проблеми STEM – освіти» при проведенні 37 Всеукраїнської науково-практичної конференції «Авіація та космонавтика: стан, досягнення і перспективи», яка присвячена Всесвітньому Дню авіації і космонавтики» 12 квітня 2017 р. та 12 квітня 2018 р.

Кузьменко О.С. виступила науковим керівником студентської роботи на тему «Інноваційні технології фізичного експерименту у навчанні студентів льотної академії з урахуванням тенденцій розвитку STEM-освіти» (курсант 271 к/в – Лаврук А.).

Прийняла участь у Всеукраїнському заході «Краща STEM-публікація-2017» та здобула II-е місце у номінації «Підготовка кадрів та освіта дорослих» в рамках конференції «STEM-світ інноваційних можливостей. Інтеграція як провідний принцип STEM-освіти» та IX Міжнародної виставки «Сучасні заклади освіти - 2018» і VII Міжнародної виставки «World Edu – 2018», що проходила в м. Києві 16 березня 2018 р.

Довідку обговорено і схвалено на засіданні Вченої ради Льотної академії Національного авіаційного університету, протокол № 2 від 21.05.2018 р.

**Начальник Льотної академії  
Національного авіаційного університету,  
д.т.н., професор**



**С.М. Неділько**

**Помічник начальника академії з ЗП та ІНР,  
к.пед.н., с.н.с.**

**М.В. Сидоров**

## ДОДАТОК Е

## Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

Додаток Е.1

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Монографія*

1. Кузьменко О. С. Теоретичні і методичні засади навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти в контексті розвитку STEM-освіти : монографія. Кропивницький : КОД, 2018. 624 с.

*Навчальний посібник*

2. Kuz'menko O. (Kuzmenko O.), Sadovyi N. Physics. Mechanics. Molecular Physics and Thermodynamics, Electromagnetism. Oscillations and wave optics. Quantum and atomic physics. Kropivnitskiy : KFA NAU, 2017. 324 p.

*Статті у наукових фахових виданнях України*

3. Кузьменко О. С. Використання інформаційних технологій у лабораторному практикумі з фізики. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. праць*. Кіровоград, 2012. Вип. 108. Ч. 1. С. 257–264.

4. Кузьменко О. С. Використання нового навчального обладнання у фізичному експерименті з оптики. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка : зб. наук. праць*. Чернігів, 2012. Вип. 99. С. 353–356.

5. Кузьменко О. С. Організація самостійної пізнавально-пошукової діяльності курсантів льотної академії під час проведення фізичного практикуму. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2012. Вип. 18. С. 166–168.

6. Кузьменко О. С. Використання сучасних технологій під час проведення фізичного практикуму з оптики. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія №5. Педагогічні науки: реалії та перспективи: зб. наук. праць*. Київ, 2012. Вип. 33. С. 102–109.

7. Кузьменко О. С., Величко С. П. Розвиток навчального експерименту на основі сучасного обладнання з фізики. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти: зб. наук. праць*. Кіровоград, 2013. Вип. 4. Ч. 1. С. 159–165.

8. Кузьменко О. С. Формування професійної компетентності студентів вищих навчальних закладів з позиції акмеологічного підходу. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2013. Вип. 19. С. 93–96.

9. Кузьменко О. С. Розвиток наукового мислення студентів в процесі розв'язування задач професійного спрямування із загального курсу фізики. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія:*

*Педагогіка. Соціальна робота: зб. наук. праць.* Ужгород, 2013. № 28. С. 91–94.

10. Кузьменко О. С. Сучасні підходи до постановки фізичних експериментів для студентів нефізичних спеціальностей. *Педагогічні науки : теорія, історія, інноваційні технології.* 2013. № 6 (32). С. 351–359.

11. Кузьменко О. С. Методологічні аспекти формування наукового світогляду студентів льотної академії при проведенні робіт фізичного практикуму. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти: зб. наук. праць.* Кіровоград, 2014. Вип. 5. Ч. 3. С. 71–75.

12. Кузьменко О. С. Вивчення симетрії слабких взаємодій у процесі вивчення фізики студентами вищих навчальних закладів. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна.* Кам'янець-Подільський, 2014. Вип. 20. С. 31–34.

13. Кузьменко О. С. Поняття симетрії та асиметрії у процесі навчання фізики у вищих навчальних закладах. *Збірник наукових праць. Педагогічні науки.* Херсон, 2014. Вип. LXVI. С. 336–340.

14. Кузьменко О. С. Вивчення симетрії елементарних частинок. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти: зб. наук. праць.* Кіровоград, 2015. Вип. 7. Ч. 1. С. 132–135.

15. Кузьменко О. С. Вивчення симетрії фізичних законів студентами вищих навчальних закладів авіаційного профілю. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка: зб. наук. праць.* Чернігів, 2015. Вип. 127. С. 86–89.

16. Кузьменко О. С. Вивчення поняття симетрії в процесі навчання фізики твердого тіла. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Бердянськ, 2015. Вип. 3. С. 145–151.

17. Кузьменко О. С. Вивчення гіроскопів як симетричних тіл у процесі навчання фізики студентами вищих навчальних закладів авіаційного профілю. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти.* Кіровоград, 2015. Вип. 8. Ч. 1. С. 152–154.

18. Кузьменко О. С., Борота В. Г. Вивчення студентами динамічних симетрій у процесі навчання загального курсу фізики у вищих навчальних закладах. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології: наук. журнал.* Суми, 2015. №7 (51). С. 102–109.

19. Кузьменко О. С. Фізичні задачі як ефективний засіб стимулювання активності та самостійності студентів у процесі вивчення поняття симетрії. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна.* Кам'янець-Подільський, 2015. Вип. 21. С. 110–113.

20. Кузьменко О. С. Сутність та напрямки розвитку STEM-освіти. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти.* Кіровоград, 2016. Вип. 9. Ч. 3. С. 188–190.

21. Кузьменко О. С., Борота В. Г. Методика вивчення положень навчання про симетрію в загальному курсі фізики для студентів нефізичних спеціальностей у вищих навчальних закладах. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка*. Чернігів, 2016. Вип. 138. С. 80–84.

22. Кузьменко О. С. Формування фізичних компетентностей студентів у процесі навчання фізики у вищих навчальних закладах. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія № 5. Педагогічні науки: реалії та перспективи*. Київ, 2016. Вип. 53. С. 109–113.

23. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Трансляція як елемент симетрії у процесі навчання фізики в технічних вузах в умовах розвитку STEM-освіти. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кропивницький, 2016. Вип. 10. Ч. 2. С. 65–68.

24. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Формування професійного мислення студентів технічних вузів у процесі вивчення фізики. *Збірник наукових праць «Педагогічні науки»*. Херсон, 2016. Вип. LXXI. Том 1. С. 43–47.

25. Кузьменко О. С. Деякі аспекти запровадження STEM-освіти при вивченні симетрії у процесі навчання фізики в технічних вузах. *Теорія і методика професійної освіти (електронне наукове фахове видання)*. Серія: педагогічні науки, 2016. Вип. №10 (2). URL: <https://ivetscienceip.to.wixsite.com/tmpo/kopiya-11-2016> (дата звернення: 04.04.2016).

26. Кузьменко О. С. Методичні особливості вивчення поняття симетрії у процесі вивчення загального курсу фізики в вищих навчальних закладах авіаційного профілю в умовах розвитку STEM-освіти. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, Вип. 22. 2016. С. 89–91.

27. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. STEM-освіта як основний орієнтир в оновленні інноваційних технологій у процесі навчання фізики у вищих навчальних закладах технічного профілю. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кропивницький, 2017. Вип. 11. Ч. 3. С. 73–76.

28. Кузьменко О. С. Інноваційні засоби та форми організації навчального процесу з фізики в умовах розвитку STEM-освіти в вищих технічних навчальних закладах. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кропивницький, 2017. Вип. 12. Ч. 2. С. 85–92.

29. Кузьменко О. С., Гончарова Н. О. Особливості змістовного наповнення навчального посібника з фізики для вищих технічних навчальних закладів в контексті впровадження stem-освіти (інтегрований підхід). *Проблеми сучасного підручника: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип. 19. С. 151–158.

30. Кузьменко О. С. Формування STEM-компетентностей студентів під час розв'язування фізичних задач з поєднанням принципу симетрії в вищих технічних навчальних закладах. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2017. Вип. 23. С. 20–22.

31. Кузьменко О. С. STEM-моделювання фізичних явищ у процесі навчання студентів професійно-технічним дисциплінам в закладах вищої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Кропивницький, 2018. Вип. 168. С. 120–124.

32. Кузьменко О. С. Дослідження ефективності методичної системи навчання фізики на основі STEM-технологій у технічних закладах вищої освіти. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський, 2018. Вип. 24. С. 15–18.

*Статті у наукових періодичних виданнях інших держав*

33. Кузьменко О. С. Формування фундаментальних фізичних понять в студентів вищих навчальних закладів сучасними засобами навчання. *Science and Education a New Dimension. Pedagogy and Psychology*. Budapest, 2014. II (16), Issue: 33. С. 53–56.

34. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Вивчення фундаментальних фізичних понять із використанням властивостей симетрії на основі фізичного та комп'ютерного моделювання в вищих навчальних закладах технічного профілю. *Scientific journal Innovation solutions in modern science*. Dubai, 2016. №5(5). С. 62–73.

35. Dembitska S. V., **Kuz'menko O. S. (Kuzmenko O. S.)** Organization of the self-employed work of students of technical universities at the study of physics. *Virtus: Scientific Journal / Editor-in-chief M. A. Zhurba*. Canada, March, 2018. #22, Part 1. P. 94–98.

**Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

*Матеріали науково-практичних конференцій*

36. Кузьменко О. С. Использование симметрии при решении задач по физике. *Физическое образование: проблемы и перспективы развития: материалы XIII Междунар. науч.-метод. конф., 3–6 марта 2014 г.* Москва: МПГУ, 2014. Ч. 2. С. 135–137.

37. Кузьменко О. С. Использование современного оборудования при изучении физики в высшем учебном заведении. *Современный физический практикум: материалы XIII Междунар. учеб.-метод. конф., 23–25 сентября 2014 г.* Новосибирск: Издательский дом МФО, 2014. С. 150.

38. Неділько С. М., **Кузьменко О. С.** Актуальність розвитку STEM-освіти в світі. *STEM-освіта – проблеми та перспективи: матеріали I Міжнар. наук.-практ. семінару, 28–29 жовтня 2016 р.* Кропивницький: КЛА НАУ, 2016. С. 34–35.

39. Кузьменко О. С., Дембіцька С. В. Особливості вивчення фізики у вищих навчальних закладах технічного профілю в умовах розвитку STEM-освіти. *Сучасні тенденції навчання природничо-математичних та*

технологічних дисциплін у загальноосвітній та вищій школі : матеріали III Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф., 17–22 жовтня 2016 р. Кропивницький (Кіровоград): РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2016. С. 51–52.

40. Кузьменко О. С., Ситник Ю. Б. Наукова та інженерна складова STEM-освіти у процесі вивчення дисциплін фізики та безпеки польотів з поєднанням інтегрованого підходу. *STEM-освіта – проблеми та перспективи*: матеріали II Міжнар. наук.-практ. семінару, 25–26 жовтня 2017 р. Кропивницький: КЛА НАУ, 2017. С. 59–62.

41. Кузьменко О. С., Шульгін В. А. Використання поняття симетрії в розрахункових схемах і навантаженнях через трансдисциплінарний підхід в контексті розвитку STEM-освіти. *Актуальні аспекти розвитку STEM-освіти у навчанні природничо-наукових дисциплін* : матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф., 16–17 травня 2018 р. Кропивницький: Льотна академія НАУ, 2018. С. 86–89.

### **Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

#### *Навчальні посібники*

42. Кузьменко О. С., Садовий М. І., Вовкотруб В. П. Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням : навч. посіб. для студ. ВНЗ. Кіровоград : КЛА НАУ, 2015. 204 с.

43. Фізика. Пособие для выполнения лабораторных работ / А. Н. Бурмистров, В. Г. Борота, Ю. Г. Ковалев, О. С. Кузьменко, В. В. Фоменко: Составители: О. С. Кузьменко, В. В. Фоменко. 2-е изд., перераб. и доп. Кіровоград: КЛА НАУ, 2013. 172 с.

#### *Статті в наукових періодичних виданнях*

44. Кузьменко О. С. Теоретико-методичні особливості використання сучасних комп'ютерно-орієнтованих засобів навчання у процесі вивчення фізики. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: зб. наук. праць*. Кривий Ріг, 2012. Вип. X. Т. 2. С. 178–183.

45. Кузьменко О. С. Використання інтерферометрів при виконанні фізичного експерименту. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: зб. наук. праць*. Кривий Ріг, 2013. Вип. XI. Т. 2. С. 124–129.

46. Кузьменко О. С. Вивчення симетрії у процесі навчання з квантової механіки у вищих навчальних закладах. *Фізико-математична освіта. Науковий журнал*. 2015. Вип. № 2(5). С. 23–28.

47. Кузьменко О. С. Концептуальні засади розвитку методики навчання фізики в умовах розвитку STEM-навчання у вищих навчальних закладах авіаційного профілю. *Наукові записки Малої академії наук України. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Київ, 2017. Вип. 9. С. 38–50.

48. Кузьменко О. С. Фізичний експеримент як фактор розвитку STEM-освіти у вищих навчальних закладах технічного профілю. *Наукові записки Малої академії наук України. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр.* Київ, 2017. Вип. 10. С. 131–143.

49. Кузьменко О. С. Використання STEM-технологій у навчальному процесі з фізики в вищих навчальних закладах технічного профілю. *Науковий*



*вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр. Кропивницький, 2017. Вип. 1. С. 331–336.*

50. Кузьменко О. С. Використання поняття симетрії для формування наукового світогляду студентів у процесі навчання фізики в умовах розвитку STEM-освіти. *Науковий вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр. Кропивницький, 2017. Вип. 2. С. 173–179.*

*Авторське свідоцтво*

51. А.с. Навчальний посібник «Інтерферометри. Фізичний практикум з оптики з новим та нетрадиційним обладнанням» / **О. С. Кузьменко**, М. І. Садовий, В. П. Вовкотруб. № 76354; заявл. 30.11.17.; опубл. 27.04.2018, Бюл. № 48.

*Методичні рекомендації, положення, концепція*

52. Борота В. Г., **Кузьменко О. С.**, Остапчук С. А. Механика и молекулярная физика. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по физике на базе комплекта «L-микро» для курсантов академии всех специальностей. 2-е. изд. перераб. и доп. Кировоград : КЛА НАУ, 2012. 100 с.

53. Борота В. Г., **Кузьменко О. С.** Фізика. Методичні вказівки по виконанню розрахунково-графічної роботи з фізики (робота № 1). Кировоград : КЛА НАУ, 2014. 48 с.

54. Положення про «STEM-центр» академії / укладач: О. С. Кузьменко. Кропивницький: КЛА НАУ, 2017. 10 с.

55. Положення про науково-дослідну лабораторію «STEM-освіти та інноваційної освіти» академії / укладач: О. С. Кузьменко. Кропивницький : КЛА НАУ, 2017. 9 с.

56. Концепція про «STEM-центр» академії / укладач: О. С. Кузьменко. Кропивницький : КЛА НАУ, 2017. 10 с.

**Додаток Е.2**

**Відомості про апробацію результатів дисертації**

Основні результати дослідження доповідалися на науково-методичних та науково-практичних конференціях, семінарах, фестивалях та WEB-форумах з проблем удосконалення навчально-виховного процесу з фізики та підготовки фахівців з вищою освітою:

*Міжнародних:*

– «Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі» (Кривий Ріг, 2012, 213), заочна форма участі;

– «Актуальні проблеми природничо-математичної освіти в середній і вищій школі» (Херсон, 2012, 2014, 2016), заочна форма участі;

– «Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем» (Кропивницький (Кіровоград), 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017), очна форма участі;

– «Сучасна освіта у гуманістичній парадигмі» (Керч, 2013), заочна форма участі;



- «Засоби і технології сучасного навчального середовища» (Кіровоград, 2012, 2013, 2014), очна форма участі;
- «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Харків–Кропивницький (Кіровоград), 2013, 2015, 2017), заочна форма участі;
- «Физическое образование: проблемы и перспективы развития» (Москва, 2014), заочна форма участі;
- «Сучасні тенденції навчання фізики у загальноосвітній та вищій школі» (Кіровоград, 2014, 2015), очна форма участі;
- «Современный физический практикум» (Москва, 2014), заочна форма участі;
- «Управління якістю підготовки майбутнього вчителя фізико-технологічного профілю» (Кам'янець-Подільський, 2014), заочна форма участі;
- Scientific and Professional conference «Pedagogy and Psychology in the age of globalization – 2014», (Budapest, 2014), заочна форма участі;
- «Электронное обучение в непрерывном образовании 2015» (Ульяновск, 2015), заочна форма участі;
- «Проблеми інформатизації» (Харків, 2015), заочна форма участі;
- «Дидактика фізики як концептуальна основа формування компетентнісних і світоглядних якостей майбутнього фахівця фізико-технологічного профілю» (Кам'янець-Подільський, 2015), очна форма участі;
- «Вопросы современной педагогики и психологии: свежий взгляд и новые решения» (Екатеринбург, 2016), заочна форма участі;
- «Проблемы и перспективы современной науки» (Москва, 2016), заочна форма участі;
- «Дидактичні механізми дієвого формування компетентнісних якостей майбутніх фахівців фізико-технологічних спеціальностей» (Кам'янець-Подільський, 2016), очна форма участі;
- «Сучасні тенденції навчання природничо-математичних та технологічних дисциплін у загальноосвітній та вищій школі» (Кропивницький, 2016), очна форма участі;
- «Інноваційні технології навчання обдарованої молоді» (Київ, 2016), очна форма участі;
- «Иновационные технологии обучения физико-математическим и профессионально-техническим дисциплинам» (Мозир, 2017), заочна форма участі;
- «Проблеми та інновації в природничо-математичній, технологічній і професійній освіті» (Кропивницький, 2017, 2018), очна форма участі;
- «Problems and prospects of specialists' professional training in terms of European integration» (Кропивницький, 2017), очна форма участі;
- «STEM-освіта: стан впровадження та перспективи розвитку» (Київ, 2017), очна форма участі;

– «Актуальні аспекти розвитку STEM-освіти у навчанні природничо-наукових дисциплін» (Кропивницький, 2018), очна форма участі.

*Всеукраїнських:*

– «Формування компетентностей учнів і студентів засобами природничо-математичних дисциплін» (Херсон, 2012), заочна форма участі;

– «Актуальні проблеми і перспективи дидактики фізики» (Черкаси, 2012), заочна форма участі;

– «Фізика і хімія твердого тіла. Стан, досягнення і перспективи» (Луцьк, 2012, 2014), заочна форма участі;

– «Сучасні проблеми та перспективи навчання дисциплін природничо-математичного циклу» (Суми, 2013), заочна форма участі;

– «Технології компетентісно-орієнтованого навчання природничо-математичних дисциплін» (Херсон, 2015), заочна форма участі;

– «Науково-дослідна робота в системі підготовки фахівців-педагогів у практичній, технологічній та економічній галузях», (Бердянськ, 2015), заочна форма участі;

– «Особливості підвищення якості природничої освіти в умовах технологізованого суспільства» (Миколаїв, 2015), заочна форма участі;

– «Чернігівські методичні читання з фізики 2016. Формування навчального середовища, адекватного новому змісту навчання фізики» (Чернігів, 2016), очна форма участі.

*Міжрегіональних:* «Теоретико-методичні засади вивчення сучасної фізики та нанотехнологій у загальноосвітніх та вищих навчальних закладах» (Суми, 2015), заочна форма участі.

*Міжнародних науково-практичних семінарах:*

– «STEM-освіта – проблеми та перспективи» (Кропивницький, 2016, 2017), очна форма участі;

– «Комбінаторні конфігурації та їх застосування» (Кропивницький, 2016), очна форма участі.

*Всеукраїнських фестивалів:*

– «Фестиваль STEM освіти – 2017», очна форма участі;

– «Ukrainian STEM Educational Festival – 2018», очна форма участі.

*Всеукраїнському науково-практичному форумі:*

– WEB-форум «Розбудова єдиного інформаційного простору української освіти – вимога часу» (Київ–Харків, 2018), он-лайн форма участі.