

УДК 378.013.3

БЄЛКОВА Надія Володимирівна –
 доктор економічних наук, доцент,
 учений секретар Науково-дослідного центру
 індустріальних проблем розвитку Національної академії наук України
<https://orcid.org/0000-0002-5082-2905>
 e-mail: nadezdabelikova@gmail.com

ШМАТКОВ Данііл Ігоревич –
 кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики, електротехніки і електроенергетики
 Української інженерно-педагогічної академії
<http://orcid.org/0000-0003-2952-4070>
 e-mail: d.shmatkov@uipa.edu.ua

ШЕЛКОВИЙ Олександр Олександрович –
 аспірант кафедри фізики, електротехніки і електроенергетики
 Української інженерно-педагогічної академії
<http://orcid.org/0000-0002-8486-090X>
 e-mail: shelkoviy.o@gmail.com

РЕДУКЦІЯ ЗМІСТУ НАВЧАННЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ СЕРЕДОВИЩА ІСНУВАННЯ

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми. Зміст навчання дисциплін екологічного спрямування постійно оновлюється на тлі національної та світової політики, що передбачає обов'язковість підвищення освіченості громадян у цих питаннях. Зміст навчання моніторингу середовища існування у вищій школі поєднує в собі метрологічний, екологічні напрями тощо. Все це обумовлює перевантаження студентів змістом дисципліни, а також висуває вимоги до викладача з раціонального формування її програми. Нормативні вимоги до часу, відведеного на навчання моніторингу середовища існування обмежують зміст, що може бути охоплений тими, хто навчається, а також висвітлений тими, хто навчає. У цьому контексті існує потреба у науково обґрунтованому методі зменшення інформації до такого об'єму, що буде відповідати умовам його застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зміст навчання моніторингу середовища існування підпорядковується напрямам відповідних вимірювань, методиці їх проведення аналізу результатів тощо. У збірнику «Довкілля України» [2] наведено результати моніторингу за різними регіонами. Ці результати стосуються використання водних ресурсів, моніторингу атмосферного повітря, добрив і застосування пестицидів, внесення охорони та використання лісових ресурсів, утворення відходів та поводження з ними, оцінки витрат на охорону навколишнього природного середовища. При цьому кожний напрям аналізується за окремими складовими. Вимірювання, аналіз та впровадження результатів моніторингу середовища існування формує зміст навчання дисципліни. Проте, в умовах скорочення часу на навчання, надання переваги самостійному

та дистанційному навчанню, формування програми дисципліни може викликати складнощі у викладача через необхідність відання переваги важливим складовим.

Відомими є інноваційні методики навчання дисципліни, як, наприклад, застосування системи моніторингу навколишнього середовища в лабораторії [5], яка включає в себе циркуляційний водяний канал, оснащений природним річковим випробувальним блоком, тестовим блоком тощо. В корисній моделі імітуються режими течії, рельєф місцевості тощо. Застосовується всмоктуючий насос, резервуар для водопостачання, порт і пірс тощо. Джерела забруднення та функціональні зони розподіляються згідно з проблемою, яку розглядають студенти. Проте в корисній моделі не описано специфіки методик проведення відповідних вимірювань, що обмежує функціональність технічного рішення. Крім того, наведене технічне рішення стосується лише одного аспекту предметної галузі. Навчання моніторингу стану водних ресурсів є надзвичайно актуальним через те, що нестача води та її стан є глобальними проблемами людства, що потребують вирішення, починаючи з надання громадянам якісної освіти [3]. Існує потреба у розробці методу, що може застосовуватись до більш широкого кола питань моніторингу стану водних ресурсів середовища існування.

Відомим напрямом спрощення навчання за умови відповідності часу, що на нього відводиться, є дидактична редукція. Згідно з Г. Грюнером [4], дидактична редукція може бути горизонтальною або вертикальною. Зменшення кількості інформації, що отримують студенти, є вертикальною дидактичною редукцією, графічне, символічне або інша зміна представлення інформації є

горизонтальною дидактичною редукцією.

Розглянемо методи дидактичної редукції, що можуть бути застосовані до моніторингу середовища існування.

Відомим є метод дидактичної редукції навчання наук про вимірювання, що передбачає застосування семантичного моделювання та теорії графів [7]. Метод забезпечує елементаризацію змісту навчання.

Інший науковець пропонує емпіричні та аналітичні редукційні методи із застосуванням відповідних математичних моделей, заснованих на теорії обробки сигналів і теорії систем [6]. Математичні моделі можуть містити як кількісні змінні, так і якісні. За запропонованим підходом обираються дві групи величин: величини, що впливають на процес (вхідні величини); величини, які є результатом процедур процесу і відповідей процесу (вихідних величин). Математичні моделі процесів не описують будь-які фізичні або інші механізми і появи реальних процесів, вони описують тільки залежності обраних величин. Науковець доводить те, що редукційний підхід спрощує аналіз предметної галузі і сприяє загальному розумінню структурних питань.

Як видно, з наведеного короткого аналізу, відомі методи дидактичної редукції, які можливо застосувати до моніторингу середовища існування, здебільшого побудовані на застосуванні математичних теорій і стосуються горизонтальної редукції. Вертикальній редукції не приділено достатньої уваги. Постає потреба у розробці відповідного методу та апробації його у межах навчання конкретних аспектів дисципліни.

Метою статті є розробка методу вертикальної редукції змісту навчання моніторингу стану водних ресурсів середовища існування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Відповідно до теоретичного аналізу науково-технічної та науково-методичної літератури, на підставі вивчення і узагальнення досвіду розробки методів дидактичної редукції [4: 6], із застосуванням методів ентропії, регресії та кластеризації розроблено метод вертикальної дидактичної редукції змісту навчання моніторингу стану водних ресурсів середовища існування.

Розглянемо розроблений метод більш детально. Він включає наступні етапи: 1) відбір об'єктів дослідження та визначення часткових показників оцінки стану водних ресурсів; 2) збір даних для аналізу; 3) стандартизація часткових показників та розрахунок інтегрального показника стану водних ресурсів; 4) визначення часткових показників, що є найбільш важливими за своїм впливом на інтегральний показник оцінки

стану водних ресурсів на основі множинної регресії; 5) кластеризація об'єктів дослідження з метою визначення їх відмінних характеристик та типових представників кластерів; 6) формування висновків та впровадження редукції змісту навчання моніторингу стану водних ресурсів середовища існування тощо.

На початку застосування методу здійснюється відбір об'єктів дослідження та визначаються часткові показники, які можуть бути використані для моніторингу стану водних ресурсів.

У даному дослідженні визначено, що моніторинг стану водних ресурсів може проводитися для будь-яких територіальних екологічних систем – країн, регіонів, міст, населених пунктів, які мають різні характеристики.

Сформована на даному етапі вибірка часткових показників має достатньо повно характеризувати стан водних ресурсів за різними параметрами. Часткові показники мають бути доступними для вимірювання або наявними в статистичних джерелах. У відповідності з цими вимогами на другому етапі запропонованого методу проводиться збір даних для аналізу стану водних ресурсів.

Після формування сукупності часткових показників на третьому етапі проводиться стандартизація кожного часткового показника для кожного об'єкту дослідження з урахуванням його впливу на зміни стану системи водних ресурсів.

Для стандартизації використовуються наступні формули. Для показників стимуляторів (збільшення яких здійснює позитивний вплив на стан системи) [1]:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (1)$$

Для показників дестимуляторів (збільшення яких здійснює негативний вплив на стан системи) [1]:

$$Z_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (2)$$

де Z_{ij} – стандартизоване значення i -го часткового показника для j -го об'єкту дослідження;

X_{\max} – максимальне значення серед усіх часткових показників ($i=m$) для усіх об'єктів дослідження ($j=k$);

X_{\min} – максимальне значення серед усіх часткових показників ($i=m$) для усіх об'єктів дослідження ($j=k$).

На цьому ж етапі запропонованого методу відбувається розрахунок інтегрального показника оцінки стану водних ресурсів, що включає відповідні часткові показники.

Інтегральний показник оцінки стану водних ресурсів запропоновано розраховувати за методом ентропії через те, що водні ресурси є складовою середовища існування як складної екологічної системи. При цьому можна стверджувати, що на їх стан та розвиток впливає багато чинників, як забруднення від виробництва, транспорту, житлово-комунального господарства, сільськогосподарської діяльності, природні чинники та умови.

Ці чинники здійснюють вплив у комплексі та мають неупорядкований характер, тому системі водних ресурсів притаманна ентропія, яку і дозволяє врахувати запропонований метод розрахунку інтегрального показника.

Формула розрахунку інтегрального показника оцінки стану водних ресурсів має такий вигляд [1; 8]:

$$K_{\text{вод}} = \sum_{j=1}^n H_j \cdot b_{ij} \quad (3)$$

$$i = \overline{1, m}$$

де $K_{\text{вод}}$ – інтегральний показник оцінки стану водних ресурсів;

H_j – ентропія j -ї ознаки стану водних ресурсів;

b_j – кількісна оцінка j -ї ознаки для i -го об'єкта дослідження;

m – кількість об'єктів;

n – кількість ознак.

де Z_{ij} – стандартизоване значення i -го часткового показника для j -го об'єкту дослідження;

X_{max} – максимальне значення серед усіх часткових показників ($i=m$) для усіх об'єктів дослідження ($j=k$);

X_{min} – максимальне значення серед усіх часткових показників ($i=m$) для усіх об'єктів дослідження ($j=k$).

На цьому ж етапі запропонованого методу відбувається розрахунок інтегрального показника оцінки стану водних ресурсів, що включає відповідні часткові показники.

Інтегральний показник оцінки стану водних ресурсів запропоновано розраховувати за методом ентропії через те, що водні ресурси є складовою середовища існування як складної екологічної системи. При цьому можна стверджувати, що на їх стан та розвиток впливає багато чинників, як забруднення від виробництва, транспорту, житлово-комунального господарства, сільськогосподарської діяльності, природні чинники та умови.

Ці чинники здійснюють вплив у комплексі та мають неупорядкований

характер, тому системі водних ресурсів притаманна ентропія, яку і дозволяє врахувати запропонований метод розрахунку інтегрального показника.

Формула розрахунку інтегрального показника оцінки стану водних ресурсів має такий вигляд [1; 8]:

Код показника	Назва показника	Тип впливу на систему
п.12	Забір води з природних водних об'єктів, млн. м ³	Дестимулятор
п.13	Забір прісної води із природних водних об'єктів на одну особу, м ³	Дестимулятор
п.14	Втрати води при транспортуванні за регіонами, млн. м ³	Дестимулятор
п.15	Використання свіжої води за регіонами, включаючи прісну та морську води, млн. м ³	Дестимулятор
п.16	Використання свіжої води у розрахунку на одну особу за регіонами, включаючи прісну та морську воду, використану на потреби національної економіки та населення, млн. м ³	Дестимулятор
п.17	Економія забору води за рахунок оборотного та повторно-послідовного водопостачання, млн. м ³	Стимулятор
п.18	Загальне водовідведення, млн. м ³	Дестимулятор
п.19	Скидання зворотних вод у поверхневі водні об'єкти, млн. м ³	Дестимулятор
п.20	Скидання забруднених зворотних вод у поверхневі водні об'єкти, млн. м ³	Дестимулятор
п.21	Скидання забруднених зворотних вод без очищення у поверхневі водні об'єкти, млн. м ³	Дестимулятор
п.22	Скидання недостатньо очищених забруднених зворотних вод у поверхневі водні об'єкти, млн. м ³	Дестимулятор
п.23	Скидання нормативно чистих без очистки зворотних вод у поверхневі водні об'єкти, млн. м ³	Дестимулятор
п.24	Потужність очисних споруд, млн. м ³	Стимулятор

Згідно з запропонованим методом, за кожним частковим показником у системі об'єктів вимірювання розраховано стандартне відхилення та обчислено вектор матриці, w_{ij}^k .

На рис. 1 наведено гістограму розподілу об'єктів дослідження за визначеним інтегральним показником оцінки стану водних ресурсів у 2017 р.

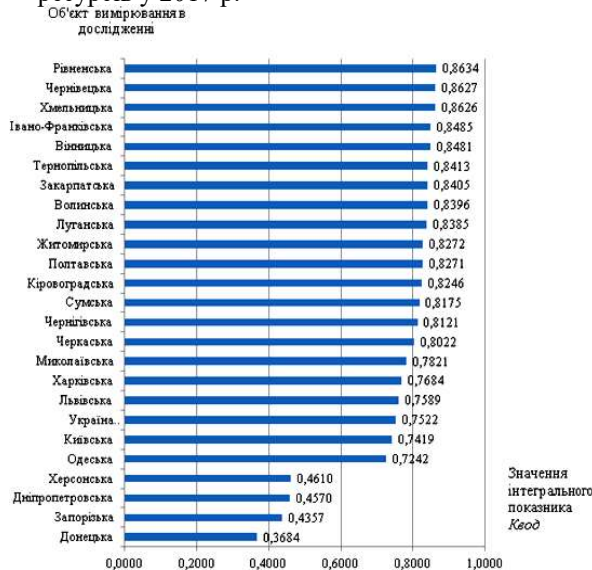


Рисунок 1 – Розподілення об'єктів вимірювання за значеннями інтегрального показника оцінки стану водних ресурсів середовища існування.

Із застосуванням ПП «STATISTICA 8.0» методом множинної регресії отримано наступні параметри рівняння оцінки впливу часткових показників на інтегральний показник оцінки стану водних ресурсів (табл. 2).

Таблиця 2 – Параметри регресійної моделі для визначення вагомості впливу часткових показників на зміну інтегрального показника оцінки стану водних ресурсів

Склад часткових показників до моделювання	Коефіцієнти β у регресійній моделі		Склад часткових показників після моделювання	Достовірність моделі (R^2)
	n12	0,2633		
n12, n13, n14, n15, n16, n17, n18, n19, n20, n21, n22, n23, n24	n18	0,4541	n12, n18, n20, n16, n17, n24, n14	0,999
	n20	0,3745		
	n16	0,2615		
	n17	0,1101		
	n24	0,1580		
	n14	0,1364		

З табл. 2 видно, що одержана модель є адекватною, про що свідчать високі значення коефіцієнта детермінації, $R^2 = 0,999$, скоректованого коефіцієнта детермінації, Adjusted $R^2 = 0,999$, та низькі значення стандартної помилки оцінювання, Std. Error of estimate = 0,002.

Адекватність модель також підтверджується картиною розподілу залишків моделі навколо прямої, як показано на рис. 2.

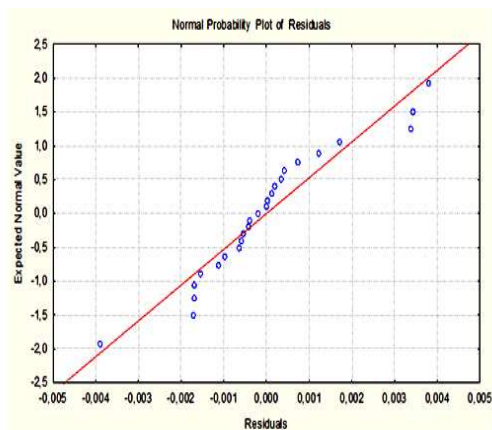


Рисунок 2 – Графік розподілу залишків регресійної моделі оцінки впливу часткових показників на інтегральний показник оцінки стану водних ресурсів

П'ятий етап запропонованого методу передбачає групування об'єктів дослідження для визначення відмінних характеристик між групами та типових представників для скорочення обсягу змісту навчання (табл. 3, рис. 3).

Кластерний аналіз проведено методом к-середніх за правилом повних зв'язків у ПП «STATISTICA 8.0» з метою створення трьох найбільш розбіжних кластерів об'єктів дослідження, які характеризуються різними значеннями часткових показників оцінки стану водних ресурсів.

Таблиця 3 – Результати кластеризації об'єктів дослідження за значеннями часткових показників моніторингу оцінки стану водних ресурсів.

Кластер 1		Кластер 2		Кластер 3	
Склад кластеру	Евклідова відстань між об'єктами	Склад кластеру	Евклідова відстань між об'єктами	Склад кластеру	Евклідова відстань між об'єктами
Дніпропетровська	0,246894	Херсонська	0	Вінницька	0,058401
Донецька	0,209031			Волинська	0,056371
Запорізька	0,294465			Житомирська	0,039841
				Закарпатська	0,063128
				Івано-Франківська	0,038557
				Київська	0,122423
				Кіровоградська	0,054191
				Луганська	0,046855
				Львівська	0,133225
				Миколаївська	0,122181
				Одеська	0,149014
				Полтавська	0,031956
				Рівненська	0,104976
				Сумська	0,053032
				Тернопільська	0,063413
				Харківська	0,178337
				Хмельницька	0,062346
				Черкаська	0,040136
				Чернівецька	0,085260
				Чернігівська	0,048335

Отже, до кластеру 1 потрапило три регіони: Дніпропетровський, Запорізький та Донецький. Ці регіони характеризуються найгіршим станом водних ресурсів в Україні. Результати підтверджується і найбільш низькими значеннями інтегральних показників оцінки стану водних ресурсів у цих регіонах (23, 24 та 25-е місця у рейтингу). В межах редукції змісту навчання моніторингу стану водних ресурсів середовища існування запропоновано визначення типових представників кластеру за найменшими значеннями евклідової відстані від об'єкту до центру кластеру.

Типовим представником кластеру 1 є Донецький регіон, який має найменшу евклідову відстань від центру кластеру.

До кластеру 2 потрапив 1 регіон – Херсонська область, яка має кращі у порівнянні з представниками кластеру 1 значення усіх часткових показників оцінки стану водних ресурсів, але значно поступається регіонам, що потрапили до третього кластеру.

До кластеру 3 потрапили 20 регіонів. Стан

їх водних ресурсів можна визначити як високий. Типовими представниками кластеру є Івано-Франківський, Житомирський та Полтавський регіони. За цими регіонами в процесі навчання можливо аналізувати інших представників кластеру, що призводить до зменшення часу.

Як видно з рис. 3, середні значення досліджуваних показників у рамках визначених кластерів диференційовані, а відстані між центрами кластерів достатньо значні.

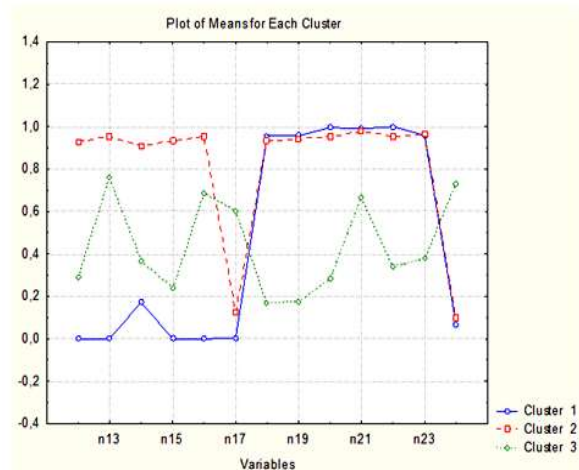


Рисунок 3 – Графік розподілу значень для кластерів об'єктів дослідження за частковими показниками оцінки стану водних ресурсів

Відповідно до шостого етапу реалізації методу, здійснено формування висновків та впровадження редукції змісту навчання моніторингу стану водних ресурсів середовища існування.

Отже, в результаті впровадження методу на етапі застосування методу регресії отримано наступні показники, що чинять найбільший вплив, із відповідними коефіцієнтами впливу на інтегральний показник:

- забір води з природних водних об'єктів – 0,263;
- загальне водовідведення – 0,4541;
- скидання забруднених зворотних вод у поверхневі водні об'єкти – 0,3745;
- використання свіжої води у розрахунку на одну особу за регіонами, включаючи прісну та морську воду, використану на потреби національної економіки та населення – 0,02614;
- економія забору води за рахунок оборотного та повторно-послідовного водопостачання – 0,1101;
- потужність очисних споруд – 0,1580;
- втрати води при транспортуванні за регіонами – 0,1364.

Інші показники не чинять статистично значущого впливу на інтегральний показник і можуть бути, за наявності часу, проаналізовані у навчальному процесі після показників, що чинять такий вплив, у довільному порядку.

На підставі отриманих результатів викладач може формувати програму навчання, а студенти, можуть аналізувати показники стану водних ресурсів середовища існування в процесі навчання або в процесі своєї професійної діяльності у послідовності за ступенем впливу показників на інтегральний показник стану водних ресурсів середовища існування.

Кластерний аналіз призвів до поєднання у сукупність та визначення характерних представників, що дозволяє в процесі навчальної діяльності аналізувати усіх представників кластеру послідовно починаючи, з найбільш характерного представника кластеру. Крім того, формування трьох кластерів дає можливість оцінювати їх у системі «погано – нормально – добре».

Застосування методу призводить до зменшення часу на проведення вимірювань, розрахунків, аналізу за отримання наближеного результату при статистично малих похибках, що дозволяє максимізувати інформацію щодо отриманих результатів в умовах обмеженого часу на навчання моніторингу стану водних ресурсів середовища існування, а також в умовах обмеженого часу його безпосереднього здійснення у майбутній професійній діяльності.

Висновки та перспективи подальших розробок напрямку. Отже, розроблено метод вертикальної редукції змісту навчання моніторингу стану водних ресурсів середовища існування. Метод відповідає характерним ознакам дидактичної редукції – допомагає надати змісту певної форми і узгодити його із нормованим часом, використовується з метою трансформації змісту задля створення ключових інформаційних точок. При цьому достатність змісту обґрунтовано, перевірено та підтверджено методами математичної статистики, що дозволило трансформувати якісні змінні «достатньо» та «важливо» у кількісні змінні.

Додаткових досліджень потребує імплементація розробленого методу у процесі навчання моніторингу атмосферного повітря, добрив і застосування пестицидів, внесення охорони та використання лісових ресурсів, утворення відходів та поводження з ними, оцінки витрат на охорону навколишнього природного середовища.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Статистический анализ многомерных объектов произвольной природы / В. И. Васильев, В. В. Красильников, С. И. Плакий, Т. Н. Тягунова. – М.: Издательство ИКАР, 2004. – 382 с.
2. Статистичний збірник Довкілля України за 2017 рік / За редакцією О. М. Прокопенко – К.: Державна служба статистики України, 2018. – 225 с.
3. Проблемы устойчивого развития социально-экономических систем / Н. В. Беликова, В. В. Криворотов, О. И. Никонов, В. П. Ануфриев. – М.: «Экономика», 2012. – 556 с.
4. Grüner G. Die didaktische Reduktion als Kernstück der Didaktik / G. Grüner // Die Deutsche Schule. – 1967. – №. 59. – S. 414–430.
5. Pat. CN206541498 (U), IPC G09B23/00. River environment monitoring experiment teaching system in laboratory is come into in river / Hei Engfei et al.; applicant Univ Minzu China. – Appl. № CN201621454997U; filed 28.12.2016; pub. date 03.10.2017.
6. Ruhm K. H. From Verbal Models to Mathematical Models – A Didactical Concept not just in Metrology / K. H. Ruhm // Joint International IMEKO TC1+TC7+TC13 Symposium August 31st – September 2nd, 2011. – Jena, Germany. – Access mode: <http://www.db-thueringen.de/servlets/DerivateServlet/ Derivate-24167/ilm1-2011imeko-002.pdf>.
7. Shmatkov D. The use of causal maps as interdisciplinary didactic reduction method / D. Shmatkov // Advanced Education. – 2016. – Is. 6. – P. 16–21.
8. Wilson A. Entropy in Urban and Regional Modelling (Routledge Revivals). – Routledge, 2013. – 178 p.

REFERENCES

1. *Statisticheskii analiz mnogomernykh ob"yektov proizvol'noy prirody*. (2004). [Statistical analysis of multidimensional objects of arbitrary nature]. Moscow.
2. *Statystychnyi zbirnyk Dovkillya Ukrainy za 2017 rik*. (2018). [Statistical collection Environment of Ukraine for 2017]. Kyiv.
3. *Problemy ustoychivogo razvitiya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem*. (2012). [Problems of sustainable development of socio-economic systems]. Moscow.
4. Grüner, G. (1967). Die didaktische Reduktion als Kernstück der Didaktik / G. Grüner // Die Deutsche Schule.
5. Pat. CN206541498 (U), IPC G09B23/00. River environment monitoring experiment teaching system in laboratory is come into in river / Hei Engfei et al.; applicant Univ Minzu China. – Appl. № CN201621454997U; filed 28.12.2016; pub. date 03.10.2017.
6. Ruhm, K. H. (2011). From Verbal Models to Mathematical Models – A Didactical Concept not just

in Metrology / K. H. Ruhm // Joint International IMEKO TC1+TC7+TC13 Symposium August 31st – September 2nd, 2011. – Jena, Germany. – Access mode: <http://www.db-thueringen.de/servlets/DerivateServlet/ Derivate-24167/ilm1-2011imeko-002.pdf>.

7. Shmatkov, D. (2016). The use of causal maps as interdisciplinary didactic reduction method / D. Shmatkov // Advanced Education.
8. Wilson, A. (2013). Entropy in Urban and Regional Modelling (Routledge Revivals). – Routledge.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БЄЛІКОВА Надія Володимирівна – доктор економічних наук, доцент, учений секретар Науково-дослідного центру індустріальних проблем розвитку Національної академії наук України.

Наукові інтереси: регіональна та національна економіка, методика навчання економіки у вищій школі.

ШМАТКОВ Данііл Ігорович – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики, електротехніки і електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії.

Наукові інтереси: методика навчання наук про вимірювання, інноваційна діяльність.

ШЕЛКОВИЙ Олександр Олександрович – аспірант кафедри фізики, електротехніки і електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії.

Наукові інтереси: методика навчання моніторингу середовища існування.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

BIELIKOVA Nadiia Volodymyrivna – Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Scientific Secretary in the Research Center for Industrial Development Problems of NAS of Ukraine.

Circle of scientific interests: regional and national economy, methods of teaching the economy in higher school.

SHMATKOV Daniyil Igorovych – Ph.D. in the teaching methods, Associate Professor in the Department of Physics, Electrical Engineering and Electric Power Industry, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy.

Circle of scientific interests: methods of teaching sciences about measurements, innovative activity.

SHELKOVYJ Alexander Olexandrovych – Ph.D. student in the Department of Physics, Electrical Engineering and Electric Power Industry, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy.

Circle of scientific interests: methods of teaching environmental monitoring.

*Стаття надійшла до редакції 23. 01. 2019 р.
Рецензент – д.п.н. професор Анісімов М. В.*