

УДК 378.1:372.853:001.8 (045)

СЛІПУХІНА Ірина Андріївна –  
доктор педагогічних наук, доцент,  
професор кафедри загальної фізики  
Національного авіаційного університету  
ORCID ID 0000-0002-9253-8021  
e-mail: slipukhina@i.ua;

ПУШКАРСЬКИЙ Микита Олександрович –  
студент  
Національного авіаційного університету  
ORCID ID 0000-0002-1992-3062  
e-mail: neketua3@gmail.com

## ОСОБЛИВОСТІ СВОРЕННЯ ПНЕВМОГІДРАВЛІЧНОЇ РАКЕТИ

**Постановка та обґрунтування актуальності проблеми.** Відомо, що ракетобудівна галузь є однією з найбільш технологічних. Нині лідерами інновацій і кількості запусків являються компанії «SpaceX» і «NASA» [6]. Сучасні методи дослідження на основі цифрових вимірювальних комплексів відкривають широкий спектр можливостей: покращення зв'язку, моделювання польотів у межах Сонячної системи, повернення першого ступеню ракети на землю тощо. Але одними із найважливіших залишаються проблеми вартості і екологічності запусків ракет, кількість запусків яких неперервно зростає (Лідерами за кількістю запусків у 2017-му році є SpaceX з 18-тю успішними запусками за рік, Роскосмос з 19-тю запусками, один з яких був невдалим і закінчився катастрофою, ArianeSpace SA зробили 5 успішних запусків).

Проблема здешевлення запусків хвилює всі компанії, які так чи інакше пов'язані з запусками ракет. SpaceX досягла успіху більше всіх розробивши систему повернення другого ступеня на землю, тим самим значно здешевивши вартість запуску. Звичайно, проблема екологічності запусків порушувалась. Але не було знайдено компромісу між практичністю, екологічністю і невисокою ціною запуску. Підчас запуску ракети виділяється колосальна кількість шкідливих газів, які перемішуються в атмосфері з вологою і згодом зрошуючи поверхню землі, також ці гази сприяють виникненню парникового ефекту. Наприклад, Falcon 9 (вартість запуску 62 млн \$) спалює приблизно 410 т палива за 162 с [1], Протон-М (вартість запуску 65–70 млн долларів) 430 т за 121 с [3]. Практично вся ця маса палива за декілька хвилин в процесі горіння перетворюється у гази, які створюють небезпеку для людства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пневмогідролічна ракета – ракета, що використовує в якості робочого тіла воду (або іншу рідину), котра витісняється з корпусу ракети через сопло тиском стисненого повітря або іншого газу. Стиснене повітря при витіканні з сопла ракети здатне створювати тягу без рідини-посередника [2]. Однак маса повітря в корпусі ракети обмежена. Більш вигідним є використання в якості робочого тіла рідини. З тієї причини, що через сопло пневмогідролічної ракети вивільнюється рідина, воно виконується не в формі сопла Лавалю, а має плавну окреслену форму, що звужується.

В основу усіх ракетних двигунів закладено принцип реактивної тяги. Відомо, що максимальну

швидкість витікання рідини з сопла пневмогідролічної ракети можна визначити виходячи з закону Бернуллі:  $(\rho v^2)/2 = \Delta p$ , де  $\rho$  – густина рідини,  $v$  – швидкість витікання рідини,  $\Delta p$  – надлишковий тиск [5, с. 235-238].

Нині найбільших успіхів у галузі розробки пневмогідролічних ракет досягла група вчених і студентів із Кейптаунського університету. Вони розробили ракету, що встановила рекорд по висоті польоту (830 м). Така ракета мала масу 1,5 кг, ємність балона 6,25 л, корпус був виготовлений з вуглецевого волокна. Вона розвила швидкість порядку 550 км/год менш ніж за 0,5 с [4].

Попереднє дослідження показало, що пневмогідролічний тип двигуна досить перспективний, хоч і не схожий на більш традиційні двигуни, які використовують тверде або рідке паливо.

**Мета роботи.** Створення ракети на альтернативному (пневмогідролічному) типі двигуна на основі використання STEM підходу, а також набуття навичок інженерної діяльності у галузі аеронавігації.

**Методи дослідження.** Теоретичний аналіз даних про конструктивні особливості пневмогідролічних ракет, розробка власного прототипу ракети, його тестування і апробація.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У процесі постановки технічного завдання було з'ясовано, що ракета повинна була злітати за допомогою реактивної тяги і виконувати приземлення без шкоди для корпусу. Такою ракетою стала установка, що складалася із пластикової пляшки, яка використовувалася як балон високого тиску, клапана швидкого випускання вмісту пляшки, котрий було виготовлено із медичного набору крапельниць. Корпус цієї ракети було виготовлено із картону, приклеєного термоклеєм до балону. Ракета запускалася вручну. У верхній частині ракети було встановлено систему викидання парашуту, котрий був виготовлений із поліетиленових пакетів. Викидання парашуту здійснювалося дистанційно з пульта управління. Пульт роблено на базі Arduino nano і WIFI модуля NRF2401 [7]. Схема підключення компонентів пульта приведена нижче (рис. 1). При повороті змінного резистора, встановленого у корпусі пульта подається сигнал на пиймач, встановлений в нижній частині корпусу ракети.

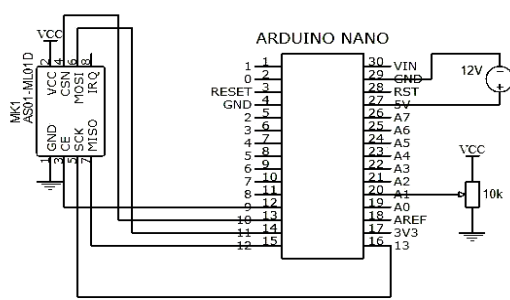


Рис. 1. Схема передавача

Після отримання сигналу приймач, що складається з плати Arduino nano, WIFI модуля NRF2401 і сервоприводу, повертає сервопривід на той же кут, на який було повернуто ручку змінного резистора. Такий сервопривід керує системою викидання парашуту. Схему приймача наведено на рис. 2.

Було виявлено кілька суттєвих недоліків даного прототипу, серед яких: незручна система заправки і накачування повітря, потреба запуску ракети вручну, викид парашута хоч і проводився з пульта, але це знову вимагало втручання з боку користувача, а також він відбувався не завжди і це призводило до падінь ракети. Окрім того, картонний корпус не міг витримувати серйозних пошкоджень і псувався, наприклад, від потрапляння вологи.

За основу другого прототипу також було взято пластикову пляшку (2 л) і внесено наступні корективи у конструкцію самої ракети. А саме:

- корпус був виконаний з пінопласту, укріплений скотчем для збільшення міцності і оснащений трьома стабілізаторами; його перевагами також є екологічність, підвищена міцність і більш охайний вигляд конструкції;
- випускний клапан виготовлено з автомобільного ніпеля, вклеєного в кришку від пляшки, що дозволило значно збільшити тиск, який можна було б створювати у балоні і реалізувати систему дистанційного бездротового запуску ракети;
- приймач встановлювався на стартовий стіл і керував випускним клапаном, а отже і запуском ракети – у такий спосіб здійснювався дистанційний запуск.

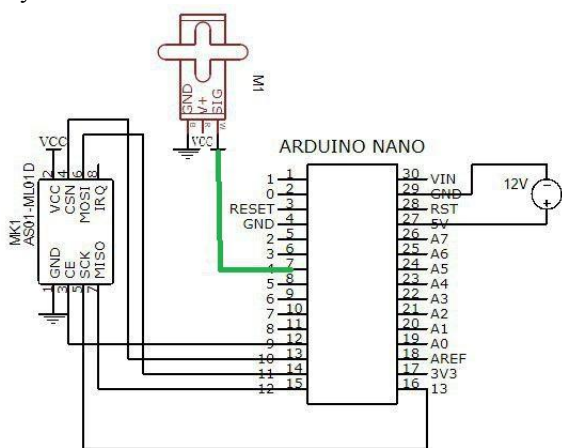


Рис. 2. Схема приймача

Окрім зазначеного, до верхньої частини балона, під носовим обтікачем, була прикріплена розроблена нами поліпшена система викиду парашута. За основу спускового механізму був узятий спусковий механізм арбалета, який був симетрично продубльований і закріплений симетрично щодо вертикальної осі меншого циліндра. Розробка спускового механізму велася в середовищі 3-D моделювання Tinker cad. Надалі дана 3-D модель була роздрукована з ABS і більш міцного пластику на 3-D принтері. Після чого була зібрана і встановлена на ракету. Ця система працює по пружинно-поршневого способу. На ній встановлено сервопривід, який керує спусковим механізмом. Сам сервопривід підключений до плати Arduino nano.

Також до плати Arduino, встановленої у нижній частині корпусу ракети, крім сервоприводу, було підключено барометр BMP-180 і LED-дисплей. Барометр виконує функцію барометричного висотоміра (рис. 3). У процесі польоту він знаходить максимальну висоту польоту, після чого виводить її в метрах на LED-дисплей. Так само барометр відіграє найважливішу роль в системі безпечного приземлення (рис. 3). А саме з початку польоту плата Arduino отримує дані висоти з барометра, порівнює кілька попередніх значень висоти і декілька наступних. У момент, коли плата отримує нові дані про висоту, яка є меншою від попередніх (це означає, що ракета почала падати), подається сигнал, на сервопривід, який керує викидом парашута. Парашут викидається і ракета спускається на землю. Після приземлення користувач має можливість дізнатися про максимальну висоту польоту ракети. Ці дані корисні при визначенні оптимального відношення об'єму води до об'єму балона для досягнення найбільшої ефективності ракети під час польоту. Дослідним шляхом було встановлено, що найбільша ефективність двигуна досягається при відношенні об'єму води до об'єму балона 1 до 5.

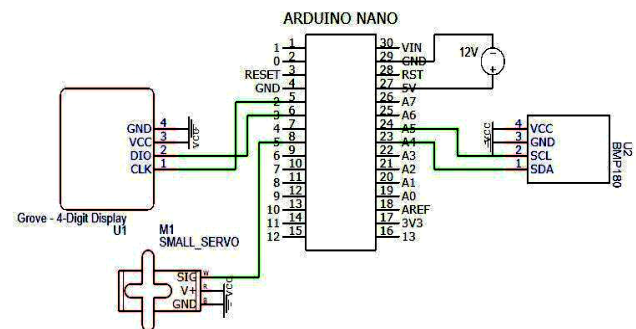


Рис. 3. Схема барометричного висотоміра і системи безпечного приземлення

Отже, дія установки відбувається у такий послідовності. Заправлена ракета встановлюється на стартовий стіл. Вмикається приймач, передавач, і система безпечної посадки. Подається сигнал з пульта. Приймач отримує сигнал і відкриває клапан за допомогою сервоприводу. Ракета злітає. По досягненню максимальної висоти польоту

викидається парашут. Після приземлення ми маємо можливість дізнатися максимальну висоту польоту. Ракета готова до повторного використання. Схематичне креслення ракети наведено на рис. 4.

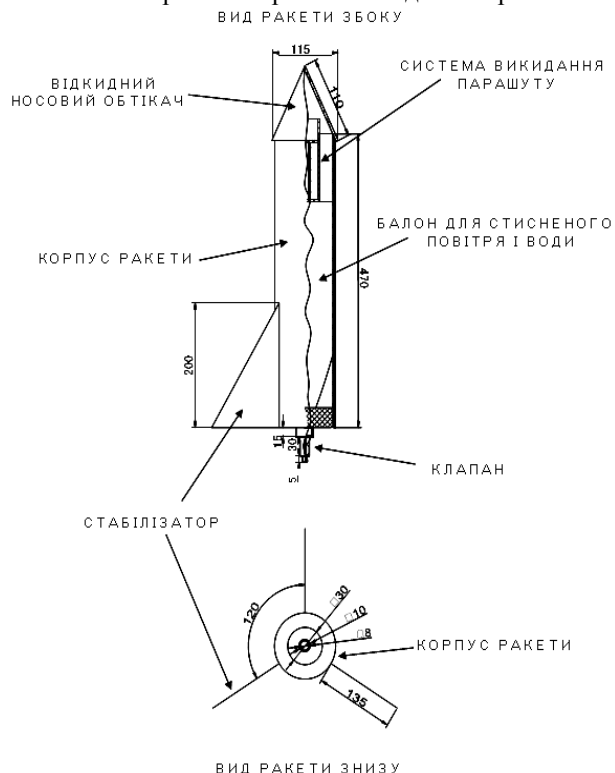


Рис. 4. Схематичне креслення ракети

При створенні цього прототипу виникли труднощі із написанням прошивки для системи безпечного приземлення. В ході використанні барометра BMP 180 було виявлено, що він визначає тиск не досить точно і похибка вимірювання висоти виходила досить велика (~1,5 м). Цей недолік був частково усунений за допомогою створення масиву значень зібраних барометром за 1,3 секунди і знаходження середнього значення висоти. Данна операція виконується на протязі всього польоту. Таким чином вдалося зменшити похибку до 0,5-0,7 м висоти.

Нами досліджено такі можливі сфери використання розробленого нами артефакту: транспортування вантажу в горизонтальному польоті (у такий спосіб збільшиться дальність польоту самої ракети); запуск безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Пневмогідролічний тип двигуна дає дуже сильне прискорення на старті, а отже він легко може надати злітної швидкості літаку за невеликий проміжок часу. Також цей спосіб запуску БПЛА має суттєву перевагу перед більш традиційними катапультами, які зараз широко використовують для їх запуску. Така пускова установка займає набагато менше місця при транспортуванні, ніж катапульта. Іноді БПЛА запускаються допомогою невеликих твердопаливних ракетних двигунів, які в процесі роботи викидають реактивний, вогняний струмінь газів, також залишаючи по собі димовий слід, а це зумовлює незручність використання такого методу

запуску як вночі, так і вдень у військових умовах (ворог може помітити, звідки було запуснено БПЛА за світловим або димовим слідом від ракетного двигуна) – пневмогідролічний двигун позбавлений такого недоліку. Також на пневмогідролічну ракету можна закріпити фото/відеокамеру, з кутом огляду 360° і проводити аерофотозйомку.

Було виявлено певні переваги та недоліки створеної моделі. Так, перевагами, на наш погляд, є екологічність установки, простота і багаторазовість її використання, невисока ціна компонентів ракети, а також можливість за високого тиску виведення корисного навантаження на певну висоту, майже безкоштовне «паливо» і перспективність удосконалення подібних ракет. Серед недоліків найбільш суттєвими є такі: нині не існує «водяних» ракет, здатних вивести навантаження на орбіту Землі, а висота польоту обмежується максимально допустимим тиском, який би міг витримати балон.

**Висновки та перспективи подальших наукових розвідок.** В статті запропоновано альтернативний тип ракетного двигуна, автоматичну систему приземлення, спосіб збільшення висоти підйому ракети не змінюючи її конструкції, систему дистанційного запуску, докладно описано процес створення ракети, 3D моделювання системи викидання парашуту з подальшим друком. В ході опрацювання проекту виникали труднощі з написанням прошивок для плат Arduino nano, 3D моделюванням деталей для механізму викидання парашуту, які були розроблені власноруч (за основу було взято спусковий механізм арбалета). В перспективі створення більш досконалої ракети подібного типу у більшому масштабі з досконалішою системою зльоту – посадки. Планується використати акселерометр замість барометра для визначення моменту в який двигун закінчить свою роботу. Така модифікація значно зменшить похибку визначення завершення роботи двигуна. Отже ефективність ракети збільшиться. Також ведеться добір матеріалів для створення легкого і міцного балону високого тиску. На момент написання статі розробляється значно покращена і досконала версія пневмогідролічної ракети.

**СПИСОК ДЖЕРЕЛ**

1. Falcon 9. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Falcon\\_9](https://ru.wikipedia.org/wiki/Falcon_9).
2. Пневмогідролічна ракета. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://bit.ly/2xTTr4A>.
3. Протон (ракета-носіє). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://bit.ly/2JtiaFR>.
4. Рекорд висоти польоту пневмогідролічної ракети. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.news.uct.ac.za/article/-2015-10-07-uct-team-smashes-eight-year-water-rocket-world-altitude-record>.
5. Савельєв І. В. Курс загальної фізики / Савельєв І. В. – М.: «Наука», 1970. – т. 1.– 378 с.
6. Список космічних запусків у 2017 році. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://bit.ly/2rXvnCP>.
7. Contribute to the Arduino Software. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Donate>.

REFERENCES

1. Falcon 9. [Online]. Available: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Falcon\\_9](https://ru.wikipedia.org/wiki/Falcon_9).
2. Pnevmohidravlichna raketa. [Pneumatic hydraulic rocket]. [Online]. Available: <https://bit.ly/2xTTp4A>.
3. Proton (raketa-nosiy) [Proton (carrier rocket)]. [Online]. Available: <https://bit.ly/2JtiaFR>.
4. Rekord vysoty polotu pnevmohidravlichnoyi rakety. [Record of flight height of the pneumohydraulic rocket.]. [Online]. Available: <https://www.news.uct.ac.za/article/-2015-10-07-uct-team-smashes-eight-year-water-rocket-world-altitude-record>.
5. Savel'yev, I.V. (1970) Kurs zahal'noyi fizyky [General Physics Course]. Moskow.
6. Spysok kosmichnykh zapuskiv v 2017 rotsi. [The list of space launches in 2017]. [Online]. Available: <https://bit.ly/2rXvnCP>.
7. Contribute to the Arduino Software. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Donate>

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**СЛІПУХІНА Ірина Андріївна** – доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри загальної фізики Національного авіаційного університету.

**Наукові інтереси:** теорія і методика навчання фізики і технічних дисциплін, дидактика STEM освіти.

**ПУШКАРСЬКИЙ Микита Олександрович** – студент першого курсу кафедри аеронавігації Інституту Аеронавігації Національного Авіаційного Університету.

**Наукові інтереси:** фізика, технології, безпілотні авіаційні комплекси, авіація.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**SLIPUKHINA Iryna Andriivna** – Doctor Habilitat (social sciences), Associate Professor, Professor of General Physics Department, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

**Circle of scientific interests:** theory and methods of teaching physics and technical disciplines, didactics STEM education.

**PUSHKARSKY Nikita Alexandrovich** – student of the first course of the Aeronavigation Department of the Institute of Air Navigation of the National Aviation University.

**Circle of scientific interests:** physics, technology, drone aerial systems, aviation.

*Дата надходження рукопису 15.04.2018 р.  
Рецензент – д.пед.н., професор М.І. Садовий*

УДК 378.1:372.853:001.8 (045)

**СЛІПУХІНА Ірина Андріївна** –

доктор педагогічних наук, доцент,  
професор кафедри загальної фізики

Національного авіаційного університету

ORCID ID 0000-0002-9253-8021

e-mail: [slipukhina@i.ua](mailto:slipukhina@i.ua)

**ЦИМБАЛЮК Іван Сергійович** –

студент Національного Авіаційного Університету

ORCID ID 0000-0002-1383-1327

e-mail: [tsymbaliuk.nau@gmail.com](mailto:tsymbaliuk.nau@gmail.com)

**КЛЮЧЕНКО Іван Ігорович** –

студент Національного Авіаційного Університету

ORCID ID 0000-0002-8054-1995

e-mail: [Vania.Clyuchencko2@gmail.com](mailto:Vania.Clyuchencko2@gmail.com)

ЗАСТОСУВАННЯ ARDUINO NANO ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПОРТАТИВНОГО ТЕРМОМЕТРА

**Постановка та обґрунтування актуальності проблеми.** Наукова та інженерно-технологічна діяльність нині потребує використання датчиків (сенсорів), які дозволять реєструвати і опрацьовувати різноманітні дані про стан систем різної природи. Зокрема, існує необхідність дистанційного вимірювання температури. Особливо важливим є також підвищення точності вимірювання в довготривалих експериментах.

Відомо, що температура це найважливіший параметр технологічних процесів багатьох галузей промисловості. Якість температурного контролю часто обумовлює успіх процесу виробництва. У зв'язку з цим серед найважливіших завдань сучасного приладобудування та сучасної вимірювальної техніки є розробка надійних методів вимірювання температури у різних виробництвах, створення вимірювальних приладів необхідної

точності, стабільності і швидкодії, а також дослідження впливів множини супутніх факторів на результат вимірювання.

Широко застосовуваними для вимірювання температури твердих тіл є термоелектричні прилади – термопари, термометри опору та інші. В ряді випадків вони виявляються невідповідними для вимірювання температури полум'я. Більшість звичайних термопар не витримують температури вищої 1500°C, тому вони не можуть бути використані для вимірювання температури полум'я [2, с. 1].

Нами встановлено, що сучасний ринок пропонує споживачам широкий вибір пристроїв для вимірювання температури, якість та можливості яких перебувають на високому рівні, але водночас їх вартість є високою. Аналіз цін на комплектуючі продемонстрував, що собівартість власноруч