

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка
Фізико-математичний факультет

ISSN 2413-1571 (print)
ISSN 2413-158X (online)

ФІЗИКО- МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА

Науковий журнал

Том 38, № 4

Суми – 2023

**Рекомендовано до видання вченою радою
Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка
(протокол № 2 від 25.09.2023 р.)**

Редакційна колегія

М.П. Вовк	доктор педагогічних наук, старший науковий співробітник (Україна)
М.Гр. Воскоглу	доктор філософії, почесний професор математичних наук (Греція)
М.Г. Друшляк	доктор педагогічних наук, професор (Україна)
Р.А. Зіатдінов	доктор педагогічних наук, професор (Південна Корея)
А.П. Кудін	доктор фізико-математичних наук, професор (Україна)
О.Ю. Кудріна	доктор економічних наук, професор (Україна)
О.О. Лаврентьева	доктор педагогічних наук, професор (Україна)
Т.Д. Лукашова	доктор фізико-математичних наук, професор (Україна)
Т.Ю. Осипова	доктор педагогічних наук, професор (Україна)
М.В. Працьовитий	доктор фізико-математичних наук, професор (Україна)
Д.О. Сарфо	доктор педагогічних наук, професор (Гана)
О.В. Семеніхіна	доктор педагогічних наук, професор (Україна)
О.М. Семенов	доктор педагогічних наук, професор (Україна)
В.І. Статівка	доктор педагогічних наук, професор (Китай)
І.Я. Субботін	доктор фізико-математичних наук, професор (США)
О.С. Чашечникова	доктор педагогічних наук, професор (Україна)
О.В. Школьнік	доктор педагогічних наук, професор (Україна)
А.М. Добровольська	доктор педагогічних наук, доцент (Україна)
О.О. Пипка	доктор фізико-математичних наук, доцент (Україна)
В.О. Швець	кандидат педагогічних наук, професор (Україна)
В.Г. Шамо́ня	кандидат фізико-математичних наук, доцент (Україна)

Ф45 Фізико-математична освіта : науковий журнал. Том 38, № 4. Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка, Фізико-математичний факультет ; редкол.: О.В. Семеніхіна (гол.ред.) [та ін.]. Суми : [СумДПУ ім. А.С. Макаренка], 2023. 85 с.

*Наказом МОН України №1412 від 18.12.2018 р. журнал
«Фізико-математична освіта» затверджено як **фахове
наукове видання категорії «Б»** у галузі педагогічних
наук (13.00.02 – математика, фізика, інформатика;
13.00.10) і за спеціальностями 011, 014, 015.*

Журнал індексується наукометричною базою **Index Copernicus Journals Master List**

Автори статей несуть відповідальність за достовірність наведеної інформації (точність наведених у статті даних, цитат, статистичних матеріалів тощо) та за порушення прав інтелектуальної власності інших осіб.

Висловлені авторами думки можуть не співпадати з точкою зору редакції.

**УДК 53+51]:37(051)
DOI 10.31110/2413-1571**

© СумДПУ імені А.С. Макаренка, 2023

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
Makarenko Sumy State Pedagogical University
Physics and Mathematics Faculty**

**ISSN 2413-1571 (print)
ISSN 2413-158X (online)**

PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION

Scientific Journal

Vol. 38, No 4

Sumy – 2023

**Recommended for publication of the Academic Council
of Makarenko Sumy State Pedagogical University
(protocol No 2 from 25.09.2023)**

Editorial Board

M.P. Vovk	Doctor of Pedagogical Sciences, Senior Research Fellow (Ukraine)
M.Gr. Voskoglou	Doctor of Philosophy, Professor Emeritus of Mathematical Sciences (Greece)
M.G. Drushlyak	Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Ukraine)
R.A. Ziatdinov	Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (South Korea)
A.P. Kudin	Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor (Ukraine)
O.Yu. Kudrina	Doctor of Economic Sciences, Professor (Ukraine)
O.O. Lavrentjeva	Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Ukraine)
T.D. Lukashova	Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor (Ukraine)
T.Yu. Osypova	Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Ukraine)
M.V. Pratsiovytyi	Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor (Ukraine)
J.O. Sarfo	Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Ghana)
O.V. Semenikhina	Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Ukraine)
O.M. Semenog	Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Ukraine)
V.I. Stativka	Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (China)
I.Ya. Subbotin	Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor (USA)
O.S. Chashechnykova	Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Ukraine)
O.V. Shkolnyi	Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Ukraine)
A.M. Dobrovolska	Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor (Ukraine)
O.A. Pypka	Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor (Ukraine)
V.O. Shvets	PhD (Physics and Mathematics Sciences), Professor (Ukraine)
V.G. Shamonina	PhD (Physics and Mathematics Sciences), Associate Professor (Ukraine)

F 45 Physical and Mathematical Education : Scientific Journal. Vol. 38, No 4. Makarenko Sumy State Pedagogical University, Physics and Mathematics Faculty ; O.V. Semenikhina (chief editor). Sumy : [Makarenko Sumy State Pedagogical University], 2023. 85 p.

The authors of the articles are responsible for the authenticity of the information (the accuracy of the presented information in the article, quotations, statistical materials, etc.) and for the violation of intellectual property rights of others.

Opinions expressed by the authors may not reflect the views of the editors.

**UDC 53+51]:37(051)
DOI 10.31110/2413-1571**

ЗМІСТ

Абдієва Ш., Тургунбаєв Р.	7
ТЕОРЕМИ ПРО КІЛЬКІСТЬ КОРЕНІВ КУБІЧНОГО РІВНЯННЯ ТА ЇХ РОЗТАШУВАННЯ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ НАОЧНОГО МИСЛЕННЯ УЧНІВ.....	7
Бойчук В., Коцюбинський В., Туровська Л., Мойсеєнко М., Бандура Х., Стинська В., Прокопів Л., Мазуренко Ю., Кузишин М.	14
ВИКОРИСТАННЯ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ РЕЧОВИН ПРИ ВИВЧЕННІ БІОФІЗИКИ	14
Воронкін О., Лушин С.	24
ПРОЄКТНИЙ МЕТОД У STEM-ОСВІТІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНО-АПАРATНОЇ ПЛАТФОРМИ ARDUINO	24
Гетманенко Л.	31
ФОРМУЛА-ТРІЙЦЯ ЯК РЕЗУЛЬТАТ ЕМОЦІЙНОГО ПОШУКУ НОВИХ ФОРМУЛ ГЕОМЕТРІЇ	31
Здешиц В., Здешиц А.	36
ВИМІРЮВАННЯ МАГНІТНОЇ СПРИЙНЯТЛИВОСТІ РЕЧОВИН В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ.....	36
Крамаренко Т.	42
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО У НАВЧАННІ СТОХАСТИКИ В КОНТЕКСТІ ПІДГОТОВКИ УЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ STEM-ОСВІТИ	42
Носенко Ю.	49
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВІДКРИТОЇ НАУКИ ДЛЯ ПРОФЕСІЙНОГО РОЗВИТКУ ТА ДІЯЛЬНОСТІ ВЧИТЕЛІВ	49
Прус А.	56
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ЛІНЗА РЕАЛЬНОГО СВІТУ	56
Різак В., Опачко М., Дешко Н.	62
ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД У ФАХОВІЙ ПІДГОТОВЦІ МАГІСТРІВ З КІБЕРБЕЗПЕКИ	62
Савчук В., Романець О.	68
КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ У ВІРТУАЛЬНОМУ ФІЗИЧНОМУ ПРАКТИКУМІ	68
Фатмар'янти С.Д.	74
ТРАДИЦІЙНА ІНДОНЕЗІЙСЬКА ГРА «BANDHUL SADA» ПРИ ВИВЧЕННІ ПОНЯТЬ ДИНАМІКИ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ НА БАЗІ КОНТЕКСТУАЛЬНОГО ПІДХОДУ	74
Шишкіна М.	79
ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ХМАРО ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ ВІДКРИТОЇ НАУКИ У ПРОЦЕС НАВЧАННЯ ВЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ ПРЕДМЕТІВ	79

CONTENTS

Abdiyeva Sh., Turgunbaev R.	7
THEOREMS ON THE NUMBER OF ROOTS OF A CUBIC EQUATION AND THEIR LOCATION AS A MEANS OF DEVELOPING STUDENTS' VISUAL THINKING	7
Boychuk V., Kotsyubynsky V., Turovska L., Moiseienko M., Bandura Kh., Stynska V., Prokopiv L., Mazurenko Yu., Kuzyshyn M.	14
THE USE OF X-RAY FLUORESCENCE SPECTROSCOPY TO DETERMINE THE ELEMENTAL COMPOSITION OF SUBSTANCES IN THE STUDY OF BIOPHYSICS	14
Voronkin O., Lushchin S.	24
PROJECT METHOD IN STEM EDUCATION USING ARDUINO SOFTWARE AND HARDWARE PLATFORM	24
Hetmanenko L.	31
THE TRINITY FORMULA AS A RESULT OF EMOTIONAL SEARCH FOR NEW GEOMETRY FORMULAS ..	31
Zdeshchyts V., Zdeshchyts A.	36
MEASUREMENT OF MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF SUBSTANCES IN THE CONDITIONS OF DISTANCE EDUCATION	36
Kramarenko T.	42
USING THE MONTE CARLO METHOD IN TEACHING STOCHASTICS IN THE CONTEXT OF TRAINING MATHEMATICS TEACHERS TO IMPLEMENT STEM EDUCATION	42
Nosenko Yu.	49
MODELING THE ECOSYSTEM OF OPEN SCIENCE FOR THE PROFESSIONAL DEVELOPMENT AND ACTIVITY OF TEACHERS	49
Prus A.	56
MATHEMATICAL MODELING AS A LENS OF THE REAL WORLD	56
Rizak V., Opachko M., Deshko N.	62
INNOVATIVE APPROACH IN THE PROFESSIONAL TRAINING OF MASTERS IN CYBER SECURITY	62
Savchuk V., Romanetc O.	68
USE OF COMPUTER SIMULATION IN STUDYING CIRCUITS OF DIRECT CURRENT	68
Fatmaryanti S.D.	74
INDONESIAN TRADITIONAL GAME «BANDHUL SADA» IN LEARNING ROTATION DYNAMIC CONCEPTS WITH CONTEXTUAL APPROACH	74
Shyshkina M.	79
PROSPECTIVE WAYS OF USING CLOUD-BASED SYSTEMS OF OPEN SCIENCE IN THE PROCESS OF TEACHERS OF NATURAL-MATHEMATICAL SUBJECTS TRAINING	79

Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
Has been issued since 2013.

Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
Видається з 2013.



p-ISSN 2413-1571
e-ISSN 2413-158X

DOI: 10.31110/2413-1571
<https://fmo-journal.org/>

DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-4-001

UDK 372.851

ТЕОРЕМИ ПРО КІЛЬКІСТЬ КОРЕНІВ КУБІЧНОГО РІВНЯННЯ ТА ЇХ РОЗТАШУВАННЯ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ НАОЧНОГО МИСЛЕННЯ УЧНІВ

Шойра АБДИЄВА

Чирчицький державний педагогічний університет, Узбекистан
shabdiyeva@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0009-6324-3708>

Ріскелді ТУРГУНБАЄВ ✉

Ташкентський державний педагогічний університет, Узбекистан
musamat1@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2264-6289>

THEOREMS ON THE NUMBER OF ROOTS OF A CUBIC EQUATION AND THEIR LOCATION AS A MEANS OF DEVELOPING STUDENTS' VISUAL THINKING

Shoira ABDIYEVA

Chirchik State Pedagogical university, Uzbekistan
shabdiyeva@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0009-6324-3708>

Riskeldi TURGUNBAEV ✉

Tashkent State Pedagogical university, Uzbekistan
musamat1@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2264-6289>

АНОТАЦІЯ

Постановка проблеми. Основою навчання математики є логічне мислення, засноване на роботі лівої півкулі. У науково-методичних дослідженнях збільшується обсяг робіт, пов'язаних з питанням організації навчання шляхом координації роботи як лівої, так і правої півкулі, тобто розвитку поряд з логічним і інших видів мислення, особливо наочно-образного. Розроблено рекомендації щодо методики розвитку наочно-образного мислення учнів на уроках математики. Проте при вивченні основ алгебри та аналізу актуальними є також удосконалення методики розвитку наочно-образного мислення та розробка методичних матеріалів для позакласної роботи.

Матеріали та методи. Матеріалом дослідження є педагогічна, методична література, досвід зарубіжних та вітчизняних учених. У процесі дослідження використовувалися емпіричні методи (спостереження, перевірка, експеримент), загальнонаукові методи (аналіз, синтез, конкретизація, систематизація, узагальнення). Для доведення теорем використано метод зворотного доведення.

Результати. Вивчення графіків кубічної функції допомагає будувати і доводити гіпотези про кількість дійсних коренів кубічного рівняння та їх розташування, дає змогу наочно продемонструвати використання наочно-образного мислення.

Висновки. Навчальний матеріал про розташування коренів кубічного рівняння допомагає розвивати наочно-образне мислення учнів, формулювати наочні завдання для учнів. Ці наочні завдання слугують засобом організації математичної діяльності учнів. Це допомагає читачам зрозуміти, як створюються теореми та як проводити доведення. Він також показує залежність між дискримінантом кубічного рівняння та добутком екстремальних значень відповідної кубічної функції. Вивчати розташування коренів кубічного рівняння рекомендуємо старшокласникам на заняттях гуртка з математики.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: візуальне мислення; візуальна задача; візуальний пошук; кубічне рівняння; кубічна функція; похідна функції.

ABSTRACT

Formulation of the problem. The basis of teaching mathematics is logical thinking, (which is associated with) based on the work of the left hemisphere. In scientific and methodological research, the volume of work related to the issue of organizing learning by coordinating the work of both the left and right hemispheres is increasing, that is, the development of other types of thinking, especially visual, along with logical thinking. Proposals have been developed on the methodology for the development of visual thinking of students in mathematics lessons. However, when studying the basics of algebra and analysis, improving the methodology for developing visual thinking and developing teaching materials for extracurricular activities are also urgent tasks.

Materials and methods. The research materials are pedagogical, methodical literature, experience of foreign and domestic scientists. In the process of research, empirical methods (observation, verification, experiment), general scientific methods (analysis, synthesis, concretization, systematization, generalization) were used. The method of reverse proof was used to prove the theorems.

Results. The study of graphs of a cubic function helps to build and prove hypotheses about the number of real roots of a cubic equation and their location, and makes it possible to clearly demonstrate the use of visual thinking.

Conclusions. Educational material on the location of the roots of a cubic equation helps to develop the visual thinking of students, to formulate visual tasks for students. These visual tasks serve as a means of organizing the mathematical activity of students. It helps readers understand how theorems are created and how to look for proofs. It also shows the relationship between the discriminant of a cubic equation and the product of the extreme values of the corresponding cubic function. We recommend studying the location of the roots of the cubic equation for high school students in maths club training.

KEYWORDS: visual thinking; visual problem; visual search; cubic equation; cubic function; function derivative.

INTRODUCTION.

One of the main goals of teaching mathematics, in particular teaching the algebra and fundamentals of analysis, is the formation and development of students' thinking. In order to successfully live in the information age, a person needs a well-developed mindset. Until now, much attention has been paid to the development of logical thinking in schoolchildren. However, in recent years, in pedagogical and methodological studies, it has been noted that the issue of developing other types of thinking in students and ensuring the relationship of these types of thinking is relevant. One type of thinking is visual thinking.

Для цитування:

Abdiyeva Sh., Turgunbaev R. Theorems on the number of roots of a cubic equation and their location as a means of developing students' visual thinking. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 4. С. 7-13. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-4-001

Abdiyeva, Sh., & Turgunbaev, R. (2023). Theorems on the number of roots of a cubic equation and their location as a means of developing students' visual thinking. *Фізико-математична освіта*, 38(4), 7-13. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-001>

For citation:

Abdiyeva, Sh., & Turgunbaev, R. (2023). Theorems on the number of roots of a cubic equation and their location as a means of developing students' visual thinking. *Physical and Mathematical Education*, 38(4), 7-13. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-001>

Abdiyeva, Sh., & Turgunbaev, R. (2023). Theorems on the number of roots of a cubic equation and their location as a means of developing students' visual thinking. *Fiziko-matematichna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(4), 7-13. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-001>

This type of thinking is widely used in solving mathematical problems, especially problems related to the basics of analysis. However, the issue of the formation and development of visual thinking of students with the help of such questions has been little studied.

The practice of teaching mathematics to students shows that the main support of a student is logical thinking, it means, he relies on the work of the left hemisphere of the brain (Bragina & Dobrokhotova, 1988).

In recent years, a number of studies have been carried out on the effective use of visual thinking in the educational process. For example, D. Bezugly (2014) found that the methods of visual presentation of educational information in mathematics lessons provide a solution to a number of pedagogical problems, such as ensuring the intensity of learning, enhancing educational and cognitive activity, the formation and development of critical and visual thinking, visual perception (Bezugly, 2014).

In the studies of A.V. Firer (2018), the issues of developing the universal educational activity of primary school students using visualization tools are considered. Visualized tasks and visualized models have been developed as a means of studying the functional lines of algebra, their types have been identified (Firer, 2018)

However, the issues of teaching students to use visual tools when formulating mathematical concepts and theorems, especially when putting forward and proving these hypotheses, and developing visual thinking on this basis, were not under consideration.

There is also the problem of demonstrating to students the idea of the great K. Gauss that "Mathematics is a science that is studied not only by ear, but also by eye" (Dallinger, 2006).

THEORETICAL BASES OF THE RESEARCH

Currently, the term visual thinking is widely used, according to R. Arnheim (Arnheim, 1981), term means "thinking under the influence of visual processes".

Visual thinking is an activity that ensures the creation of images, the impact on them, the reconstruction of images in an arbitrary or given direction, the use of various calculus systems when building an image, the selection of various signs and properties that are important for a person in an image.

V. P. Zinchenko and N. Yu. Vergilis (1969) define the concept of visual thinking as human activity, the product of which is the birth of new images, the creation of new visual forms that convey a certain meaning and make knowledge visible.

According to N.A. Reznik (2000), relying only on the work of the left hemisphere of the brain when teaching mathematics strains it and causes exhaustion. To prevent this, it is good to rely more on the work of the right hemisphere in mathematical education, that is, to pay more attention to visualization. To do this, he emphasizes the need to create a visual learning environment - new ways of communicating information and creating a new type of learning environment.

V.A. Dallinger proposes to build the process of teaching mathematics on the basis of a cognitive-visual (visual-cognitive) approach to the formation of knowledge, skills and abilities, which allows you to make the most of the potential of visual thinking. One of the main provisions of this approach is the wide and purposeful use of the cognitive function of visibility. The implementation of the cognitive-visual approach in the process of teaching students mathematics allows you to design a visual learning environment - a set of learning conditions in which the emphasis is encourages the use of the student's visual thinking reserves. These conditions suggest the presence of both traditional visual aids and special tools and techniques that allow you to activate the work of visual thinking.

In the implementation of the cognitive-visual approach to teaching mathematics, visualized tasks play an important role.

A visualized task is understood as a task in which the image is explicitly or implicitly involved in the condition, response, sets the method for solving the problem, creates support for each stage of the solution for giving either explicitly or implicitly accompanies at certain stages of its solution. The purpose of visualized tasks is the formation of a visual image that helps to solve emerging problems.

The use of visualized tasks helps to organize search, in particular, visual search learning activities of students.

Visual search is the process of generating new images, new visual forms that carry a specific visual-logical load and make visible the value of the desired object or its light. The starting position of such a process is the stock of ready-made visual images known to the student, the structure and elements of information, visually observable connections between them. Visualized tasks serve as a means of forming visual search skills (Dallinger, 2006).

PURPOSE OF THE STUDY

To substantiate the manifestation of visual thinking in the process of solving the problem of the number and location of the roots of a cubic equation and the possibility of using this problem in organizing the visual-search activity of students.

METHODS OF THE RESEARCH

Educational materials on polynomials, functions and their properties, pedagogical and methodical literature, experience of foreign and domestic scientists. In the process of research, empirical methods (observation, interviews), general scientific methods (analysis, synthesis, concretization, systematization, generalization), methods of mathematical analysis were used.

RESULTS OF RESEARCH AND DISCUSSION

It is known that the problem of the location of the roots of a quadratic equation is solved by its coefficients (Turgunbayev & Yoldoshev, 2004). A similar problem can be formulated for cubic equations:

How are the number of roots of the cubic equation $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$ and their location related to the coefficients of this equation?

We know that a cubic equation cannot always be solved in radicals. High school students know some rational equations, in particular, how to find the roots of a cubic equation using the divisors of the free term (Zaitov et al., 2022), write equations based on their roots, the concepts of monotonicity of a function, extremum points, extremum, and how to solve the equation graphically. Students learn to check a function using a derivative in the 11th grade algebra course (Mirzaakhmedov et al., 2018). Based on this knowledge of students, the process of learning to solve the above problem can be organized as follows.

At step 1, the teacher must provide information about the number of real roots of cubic equations, because this information is not provided at school. The result of this step should be that the cubic equation has only one real root, or three real roots (at least one of which is different from the others), or two repeated roots.

In step 2, the teacher asks students to classify cubic equations by the number and location of their roots (relative to zero). It is desirable to express the classification result in the form of a table.

In step 3, the teacher asks students to write cubic equations according to the above classification.

In step 4, the teacher asks students to draw a graph of the functions corresponding to the equations obtained in the previous step using the GeoGebra or Desmos graphing calculator programs.

At step 5, the corresponding graphs are analyzed for the case when the main coefficient of the cubic equation is positive.

For clarity, let's assume that the equation $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$ ($a > 0$) has a single positive root (**case 1**). The graph of the functions corresponding to this equation will be similar to the graphs in Fig. 1, 2, 3.

Graphs are analyzed together with students, and the following hypothesis is put forward:

For the equation $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$ ($a > 0$) to have a single positive root, it is sufficient that the corresponding function $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ is strictly increasing and $d < 0$; or the product of the extreme values of the function $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ was positive.

Step 6 explores how this assumption can be related to the coefficients of the equation. To do this, it is proposed to use the relationship between monotonicity, extrema and derivatives of the function.

Equating the derivative of the cubic function $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ to 0, we get the following results:

$$f'(x) = (ax^3 + bx^2 + cx + d)' = 3ax^2 + 2bx + c.$$

$$3ax^2 + 2bx + c = 0.$$

Then the discriminant of the resulting quadratic trinomial is: $\Delta = b^2 - 3ac$.

If $b^2 - 3ac \leq 0$, as in Figure 1, the function does not have extremum values, that is, the function is strictly increasing in $(-\infty; +\infty)$.

If $b^2 - 3ac > 0$, as shown in Figure 2, the product of the extremum values of the function is positive.

It is also clear that $f(0) = a \cdot 0^3 + b \cdot 0^2 + c \cdot 0 + d = d < 0$. The above conditions are not only sufficient, but also a necessary condition for the considered equation to have one positive real root.

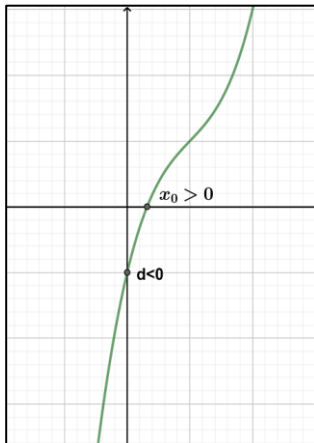


Figure 1

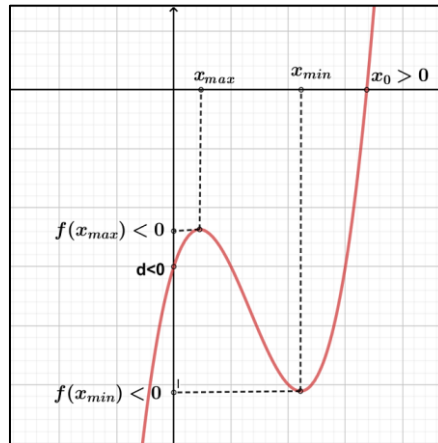


Figure 2

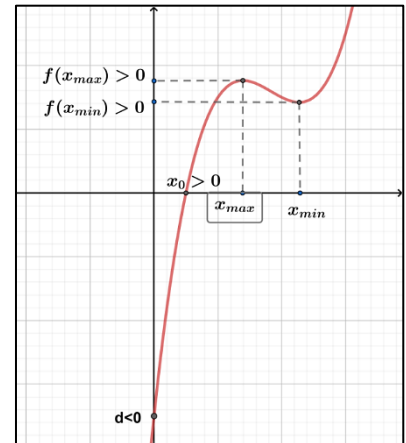


Figure 3

In step 7, the following theorem is formulated and proved.

Theorem 1. For the cubic equation $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$ ($a > 0$) to have one positive real root it is necessary and sufficient that $b^2 - 3ac \leq 0, d < 0$ or $b^2 - 3ac > 0, d < 0$ and the product of extremum values be positive.

We use the following lemmas to prove this theorem:

Lemma 1. If the function $f(x)$:

1) continuous in $[a; +\infty)$;

2) $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = +\infty$;

3) If $f(a) < 0$, then there exists a point c in the interval $[a; +\infty)$ such that $f(c) = 0$.

Proof: The function $f(x)$ is continuous in $[a; +\infty)$ and from condition 2 it is not bounded from above. For any arbitrary positive number E , there exists a point x' in the interval $[a; +\infty)$ such that the inequality $f(x') > E$ holds.

Therefore, $f(a) < 0, f(x') > 0$ in the section $[a; x']$, and according to the 1st theorem of Bolzano-Cauchy (Fikhtengolts, 1955), for the given function $\exists c \in [a; x']$ point is found and $f(c) = 0$. The lemma is proved.

The following lemmas can be proved in the same way as above.

Lemma 2. If the function $f(x)$:

1) continuous in ;

$$2) f(a) > 0;$$

3) If $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = -\infty$ then there exists a point c in the interval such that $f(c) = 0$.

Lemma 3. If the function $f(x)$:

1) continuous in $(-\infty; +\infty)$;

$$2) \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = -\infty \text{ (} \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = +\infty \text{);}$$

If $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = +\infty$ (in line $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = -\infty$) then there exists a point c in the interval $(-\infty; +\infty)$ such that $f(c) = 0$.

Clearly, if the function $f(x)$ in the above theorems is strictly monotonic, then the point c is unique.

Proof of the theorem: First we prove the necessity of the given conditions, i.e. $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$ ($a > 0$) from the existence of a single real root $x_0 > 0$ of the cubic equation $b^2 - 3ac \leq 0, d < 0$ or $b^2 - 3ac > 0, d < 0$, we show that the product of the extremum values of the function is positive.

The derivative of the function $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ ($a > 0$) is $f'(x) = 3ax^2 + 2bx + c$ and the discriminant of the quadratic trinomial is equal to $\Delta = b^2 - 3ac$. It can be $\Delta \leq 0$ or $\Delta > 0$.

If $\Delta \leq 0$, then the function $f(x)$ has no extrema. Since $a > 0$, the function $f(x)$ is monotonically increasing in $(-\infty; +\infty)$. From the fact that $x_0 > 0$, it follows that $0 = f(x_0) > f(0) = d$, that is, $d < 0$ (Figure 1).

Now let $\Delta > 0$. Then the square trinomial $3ax^2 + 2bx + c$ has roots $x_{\max, \min} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{3a}$. Let $x_{\max} < x_{\min}$ for precision. Clearly, the function $f(x)$ is increasing in the interval $(-\infty; x_{\max})$, $(x_{\min}; +\infty)$ and decreasing in the interval $(x_{\max}; x_{\min})$. It follows that the relationship $f(x_{\max}) > f(x_{\min})$ is appropriate for the extrema values of the function at the points x_1 and x_2 . To prove the above assertion, we assume the converse: let $f(x_{\max}) > 0, f(x_{\min}) \leq 0$. Then the interval has one zero according to Lemma 2. Since the function is increasing in this interval, the zero of the function is unique. According to the Bolzano-Cauchy theorem, the intersection $[x_{\max}; x_{\min}]$ has a zero of the function. This contradicts the condition of the theorem (unique contrary to the existence of a positive root). $x_0 > 0$ means that $0 = f(x_0) > f(0) = d$, i.e., $d < 0$.

Now we prove the sufficiency, since $b^2 - 3ac \leq 0, d < 0$ or $b^2 - 3ac > 0, d < 0$ and product of function $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ extrema values are positive we show that the given equation has one positive real root.

If $b^2 - 3ac \leq 0$, then the function $f(x)$ does not have an extremum, this function satisfies the conditions of lemma 3, so x_0 is found in the interval $(-\infty; +\infty)$ and $f(x_0) = 0$. The function $f(x)$ is increasing in the interval $(-\infty; +\infty)$, so the root is unique. It is positive because the function is increasing and $f(0) = d < 0$.

If $b^2 - 3ac > 0$, then the square trinomial $3ax^2 + 2bx + c$ has roots $x_{\max, \min} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{3a}$. Let $x_{\max} < x_{\min}$ for precision. Clearly, the function $f(x)$ is increasing in the intervals $(-\infty; x_{\max})$, $(x_{\min}; +\infty)$ and decreasing in the interval $(x_{\max}; x_{\min})$. It follows that the relation $f(x_{\max}) > f(x_{\min})$ is valid for the extrema values of the function at the points $x_{\max}$ and $x_{\min}$. Let $f(x_{\max}) \cdot f(x_{\min}) > 0$. Then $f(x_{\max}) > f(x_{\min}) > 0$ or $0 > f(x_{\max}) > f(x_{\min})$. Suppose $f(x_{\max}) > f(x_{\min}) > 0$. Since the function $f(x)$ is monotonically increasing in the interval, $x_{\max} > 0$ follows from the relation $d = f(0) < 0$. Then the conditions of the Bolzano-Cauchy theorem are fulfilled in the section $[0; x_{\max}]$. The equation has one positive real root (Figure 2).

If $0 > f(x_{\max}) > f(x_{\min})$, the function is increasing in and from the fulfillment of conditions of lemma 1, it follows that the equation $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$ has one positive real root originates (Figure 3). **The theorem was proved.**

In the next steps, other theorems corresponding to the number and location of the roots of the cubic equation are formulated. We describe the formulation of these theorems using visual thinking below.

Case 2. Now let's look at the graphs of the case where the cubic equation $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$ has the only negative real root (Figures 4-5-6).

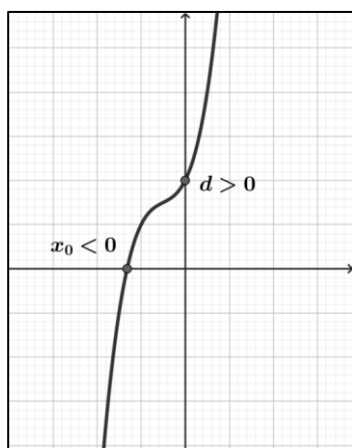


Figure 4

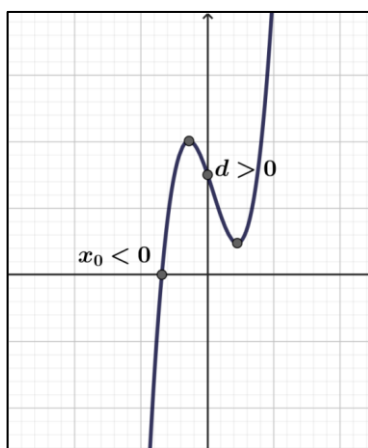


Figure 5

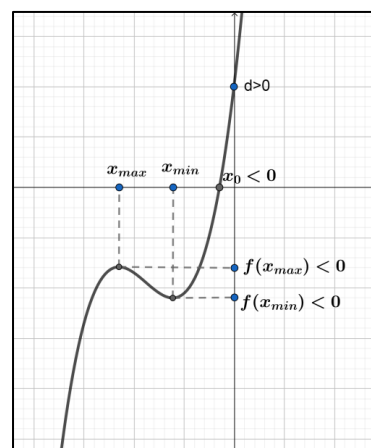


Figure 6

Theorem 2. For the cubic equation $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$ ($a > 0$) to have the only negative real root, it is necessary and sufficient that $b^2 - 3ac \leq 0, d > 0$ or $b^2 - 3ac > 0, d > 0$ and the product of extrema values be positive.

Case 3. Consider the case where the cubic equation has 3 different real roots on the graph of the cubic function.

Figure 7 shows that the cubic function intersects the positive part of the x-axis at 3 points. So, in this case, the cubic equation has 3 positive roots.

In Figure 8, the cubic function intersects the x -axis at 3 points, one of which intersects the positive part of the x -axis. So the cubic equation has 2 negative and 1 positive root.

From the graph depicted in Figures 7 and 8, it can be seen that the function has extrema, and from this it is clear that $\Delta = b^2 - 3ac > 0$. Since the extrema values are $f(x_{max}) > 0$, $f(x_{min}) < 0$, their product $f(x_{max}) \cdot f(x_{min}) < 0$ is negative. The graph of the function crosses the negative part of the y -axis, i.e. $f(0) = a \cdot 0^3 + b \cdot 0^2 + c \cdot 0 + d = d < 0$. Summarizing the results, the following theorem is valid.

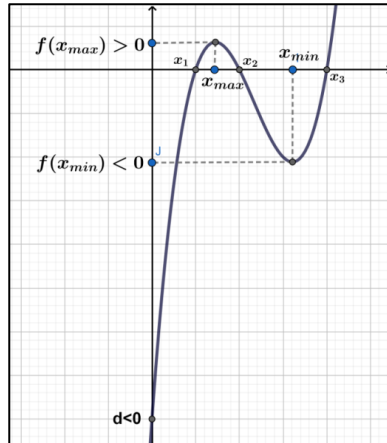


Figure 7

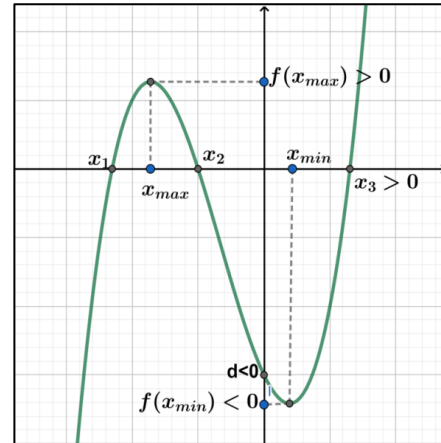


Figure 8

Theorem 3. In order for a cubic equation $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$ ($a > 0$) to have three different real roots, and one or all three of them are positive so it is necessary and sufficient that $b^2 - 3ac > 0$, $d < 0$ and the product of extrema values are negative.

Case 4. The following theorem holds when a cubic equation has 3 negative real roots or 2 positive and 1 negative real roots.

Theorem 4. In order for a cubic equation $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$ ($a > 0$) to have three different real roots, one or all three of which are negative, it is necessary and sufficient that $b^2 - 3ac > 0$, $d > 0$ and the product of extrema values are negative.

Case 5. Consider the case when the cubic equation has two equal roots on the graph of the cubic function.

In Figures 9-10, the extremum point of the cubic function and the zeros of the function are equal, and in this case, the cubic equation has same roots, i.e., $x_1 = x_2 = x_{max}$. Also, the extrema values $f(x_{max}) = 0$ and $f(x_{min}) < 0$, their product is $f(x_{max}) \cdot f(x_{min}) = 0$.

The graph of the function crosses the negative part of the y -axis, that is, $f(0) = a \cdot 0^3 + b \cdot 0^2 + c \cdot 0 + d = d < 0$.

Based on the above conditions, the following theorem is valid.

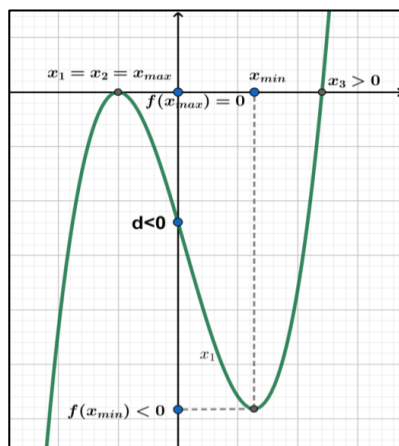


Figure 9

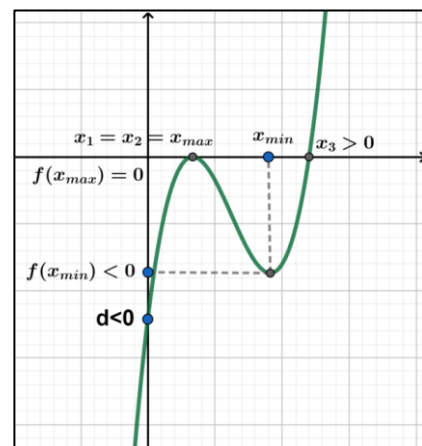


Figure 10

Theorem 5. For the cubic equation $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$ ($a > 0$) to have one positive real root and two equal roots, it is necessary and sufficient that $b^2 - 3ac > 0$, $d < 0$ and the product of extrema values should be equal to 0.

Figures 11-12 show the graph of a cubic function when the cubic equation has one negative root and two equal roots.

The following theorem holds for a cubic equation to have two equal roots and one negative root.

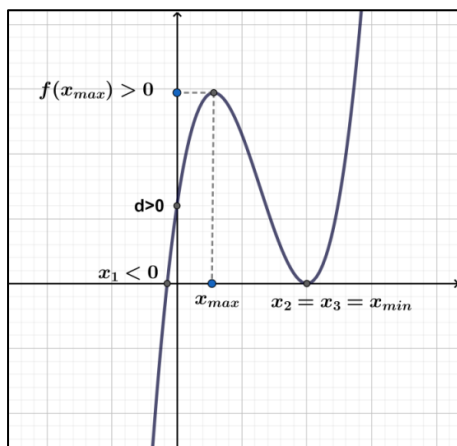


Figure 11

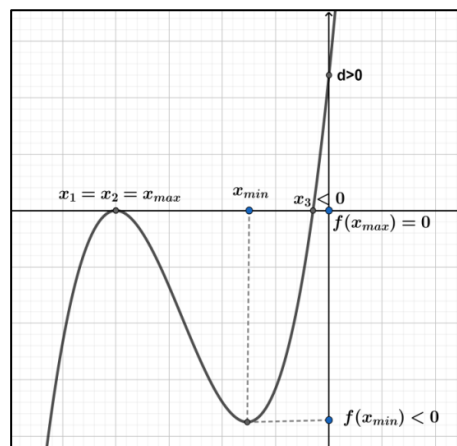


Figure 12

Theorem 6. In order for the cubic equation $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$ ($a > 0$) to have one negative and two equal roots, it is necessary and sufficient $b^2 - 3ac > 0$, $d > 0$ and the product of extrema values are equal to 0.

In the theorems about the location of the roots of the cubic equation, the product of the extrema values of the function is important.

Function $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ has extremum, when $b^2 - 3ac \geq 0$, i.e., when the discriminant of a square trinomial $3ax^2 + 2bx + c$ representing the derivative of this function is non-negative.

When $b^2 - 3ac < 0$, the quadratic equation has complex x_1 and x_2 roots. In this case, you can also look at the product $f(x_1) \cdot f(x_2)$.

When finding the product $f(x_1) \cdot f(x_2)$, it is not necessary to know the values of $f(x_1)$ and $f(x_2)$. The Vieta's formula can be used.

$$x_1 x_2 = \frac{c}{3a}, \quad x_1 + x_2 = \frac{-2b}{3a}.$$

$$x_1^2 + x_2^2 = (x_1 + x_2)^2 - 2x_1 x_2 = \frac{4b^2 - 6ac}{9a^2}.$$

$$x_1^3 + x_2^3 = (x_1 + x_2)^3 - 3x_1 x_2 (x_1 + x_2) = \frac{-8b^3 + 18abc}{27a^3}.$$

Using the above formulas, we form the expression:

$$\begin{aligned} f(x_1) \cdot f(x_2) &= (ax_1^3 + bx_1^2 + cx_1 + d)(ax_2^3 + bx_2^2 + cx_2 + d) = \\ &= a^2(x_1 x_2)^3 + b^2(x_1 x_2)^2 + c^2(x_1 x_2) + d^2 + ab(x_1 x_2)^2(x_1 + x_2) + \\ &+ ac(x_1 x_2)(x_1^2 + x_2^2) + ad(x_1^3 + x_2^3) + bc(x_1 x_2)(x_1 + x_2) + bd(x_1^2 + x_2^2) + \\ &+ cd(x_1 + x_2) = \frac{(b^2 c^2 - 4ac^3 - 4b^3 d - 27a^2 d^2 + 18abcd)}{27a^2}. \end{aligned}$$

The following expression is called the discriminant of a cubic equation:

$$D = b^2 c^2 - 4ac^3 - 4b^3 d - 27a^2 d^2 + 18abcd$$

Thus, the discriminant of the cubic equation is completely determined by the product of the extreme values of the function corresponding to it.

CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES FOR A FURTHER RESEARCH

Drawings and graphs do not prove the theorem, but they are important in making the theorem easy and understandable for the student, and in keeping it in his memory for a long time.

The use of drawings and graphs in solving mathematical problems allows to clearly understand the condition of the problem. At the same time, it allows to choose the correct method of solving the problem. In the condition of the problem, it is possible to clearly see the given situation in drawings and graphs, and thus it becomes easier to find a way to solve the problem to a certain extent. Because it is much easier to evaluate the visible situation than to draw a conclusion by reading only the text part without any visual aids.

In the article, theorems were developed and proved for the cubic equation to have a single real root, to have three different roots, and to have two equal roots. In this case, it was shown that the cubic equation has roots using the graph of the cubic function. Through this, it was shown that it is possible to develop visual thinking in students.

The above theorems can also be considered in the case $a < 0$. This can also be done using cubic function graphs.

We recommend studying the location of the roots of the cubic equation to students of upper grades of general education schools in maths club training.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Arnheim, R. (1981). visual thinking. Reader in general psychology. *Psychology of thinking*, 173-180. (in Russian).
2. Bragina, N. N., & Dobrokhotova, T. A. (1988). *Functional asymmetries of a person*. Open Joint Stock Company Publishing House Medicine. (in Russian).
3. Dalinger, V. A. (2006). Cognitive-visual approach and its features in teaching mathematics. *Electron. scientific journal "Bulletin of the OGPU"*. (in Russian).

4. Zinchenko, V. P., & Vergiles, N. Yu. (1969). *Formation of a visual image: (Study of the activity of the visual system)*. Moscow publishing house. University (in Russian).
5. Reznik, N. A. (2000). Technology of visual thinking. *School Technologies*, 4, 127-141. (in Russian).
6. Turgunbaev R.M., Yoldoshev E.A. (2004). Problems on the location of the roots of a quadratic equation. *FMI*, 6(2). (in Uzbek).
7. Zaitov A. et al. (2022). Algebra and the beginnings of analysis. *Textbook for grade 10 schools of general secondary education*. Tashkent. Republican Education Center. (in Uzbek).
8. Mirzaakhmedov M.A. et al. (2018). Mathematics. *Textbook for the 11th grade of secondary educational institutions and institutions of secondary special, vocational education*. Tashkent. Zamin found (in Uzbek).
9. Fikhtengolts, G. M. (1955). Fundamentals of mathematical analysis. *Ripol Classic*. (in Russian).
10. Bezugliy, D. (2014). Receive a visual presentation of initial information. *Physics and Mathematics Education*, 2(3), 7-15. (In Ukrainian).
11. Firer, A. V. (2018). *Development of cognitive universal educational actions of primary school students when teaching the concepts of the functional line of algebra by means of visualization* (Doctoral dissertation, Siberian Federal University). (in Russian).



Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
 Has been issued since 2013.
 Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
 Видається з 2013.



p-ISSN 2413-1571
 e-ISSN 2413-158X

DOI: 10.31110/2413-1571
<https://fmo-journal.org/>

DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-4-002

UDC 378+[61:53(07)+577.3(07)]:37.02

ВИКОРИСТАННЯ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ РЕЧОВИН ПРИ ВИВЧЕННІ БІОФІЗИКИ

Володимира БОЙЧУК

Прикарпатський національний університет
 імені Василя Стефаника, Україна
 vmbajchuk@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3870-1481>

Володимир КОЦЮБІНСЬКИЙ

Прикарпатський національний університет
 імені Василя Стефаника, Україна
 kotsyubynsky@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6461-937X>

Лілія ТУРОВСЬКА

Івано-Франківський національний медичний університет, Україна
 lturovska@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3530-7518>

Микола МОЙСЕЄНКО

Івано-Франківський національний медичний університет, Україна
 mmoiseyenko@ifnmu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-7579-5456>

Христина БАНДУРА

Івано-Франківський національний медичний університет, Україна
 banduracristina@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0722-0869>

Вікторія СТИНСЬКА

Прикарпатський національний університет
 імені Василя Стефаника, Україна
 viktoriia.stynska@pnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-0555-3205>

Любов ПРОКОПІВ

Прикарпатський національний університет
 імені Василя Стефаника, Україна
 liubov.prokopiv@pnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8661-510X>

Юлія МАЗУРЕНКО ✉

Івано-Франківський національний медичний університет, Україна
 yumazurenko@ifnmu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-8446-5280>

Мирослав КУЗИШИН

Івано-Франківський національний медичний університет, Україна
 mkuzyshyn@ifnmu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-6995-8186>

THE USE OF X-RAY FLUORESCENCE SPECTROSCOPY TO DETERMINE THE ELEMENTAL COMPOSITION OF SUBSTANCES IN THE STUDY OF BIOPHYSICS

Volodymyra BOYCHUK

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ukraine
 vmbajchuk@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3870-1481>

Volodymyr KOTSUYBYSKY

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ukraine
 kotsyubynsky@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6461-937X>

Liliia TUROVSKA

Ivano-Frankivsk National Medical University, Ukraine
 lturovska@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3530-7518>

Mykola MOISEIENKO

Ivano-Frankivsk National Medical University, Ukraine
 mmoiseyenko@ifnmu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-7579-5456>

Khrystyna BANDURA

Ivano-Frankivsk National Medical University, Ukraine
 banduracristina@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0722-0869>

Viktoria STYNSKA

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ukraine
 viktoriia.stynska@pnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-0555-3205>

Liubov PROKOPIV

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ukraine
 liubov.prokopiv@pnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8661-510X>

Yuliia MAZURENKO ✉

Ivano-Frankivsk National Medical University, Ukraine
 yumazurenko@ifnmu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-8446-5280>

Myroslav KUZYSHYN

Ivano-Frankivsk National Medical University, Ukraine
 mkuzyshyn@ifnmu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-6995-8186>

Для цитування:

Бойчук В., Коцюбинський В., Туровська Л., Мойсеєнко М., Бандура Х., Стинська В., Прокопів Л., Мазуренко Ю., Кузишин М. Використання рентгенівської флуоресцентної спектроскопії для визначення елементного складу речовин при вивченні біофізики. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 4. С. 14-23. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-4-002

Бойчук, В., Коцюбинський, В., Туровська, Л., Мойсеєнко, М., Бандура, Х., Стинська, В., Прокопів, Л., Мазуренко, Ю., & Кузишин, М. (2023). Використання рентгенівської флуоресцентної спектроскопії для визначення елементного складу речовин при вивченні біофізики. *Фізико-математична освіта*, 38(4), 14-23. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-002>

For citation:

Boychuk, V., Kotsyubynsky, V., Turovska, L., Moiseienko, M., Bandura, K., Stynska, V., Prokopiv, L., Mazurenko, Yu., & Kuzyshyn, M. (2023). The use of X-ray fluorescence spectroscopy to determine the elemental composition of substances in the study of biophysics. *Physical and Mathematical Education*, 38(4), 14-23. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-002>

Boychuk, V., Kotsyubynsky, V., Turovska, L., Moiseienko, M., Bandura, K., Stynska, V., Prokopiv, L., Mazurenko, Yu., & Kuzyshyn, M. (2023). Vykorystannya renthenivskoi fluoretsentnoi spektroskopii dlia vyznachennia elementnoho skladu rechovyn pry vvychnni biofizyky [The use of X-ray fluorescence spectroscopy to determine the elemental composition of substances in the study of biophysics]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(4), 14-23. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-002>

✉ Corresponding author

© V. Boychuk, V. Kotsyubynsky, L. Turovska, M. Moiseienko, Kh. Bandura, V. Stynska, L. Prokopiv, Yu. Mazurenko, M. Kuzyshyn, 2023

АНОТАЦІЯ

Постановка проблеми. Центральним питанням, що ставиться до обговорення в даному дослідженні, є ефективне включення новітніх технологій, зокрема рентгенофлуоресцентної спектроскопії, у навчальні курси вищої освіти, пріоритетно у сфері медицини та фармації. Основна мета дослідження полягає у відповіді на актуальне педагогічне запитання: як найкраще адаптувати навчальний процес для полегшення засвоєння та використання складних аналітичних методик, одночасно спонукаючи студентів до розвитку навичок критичного мислення та самостійного вирішення завдань.

Матеріали та методи. Матеріали: використовувалися зразки різноманітних матеріалів (у вигляді порошку, тверді та рідкі), рентгенофлуоресцентний спектрометр (модель EXPERT 3L), а також зразки ґрунтів для аналізу їхнього елементного складу. Методики: Теоретичне навчання: огляд теоретичних основ рентгенофлуоресцентної спектроскопії через комплексний підхід, що включає лекції, дослідницькі проекти та дискусії. Практична лабораторна робота: самостійна індивідуальна робота за допомогою рентгенофлуоресцентного спектрометра EXPERT 3L. Навчання аналізу даних: освоєння методик аналізу даних, отриманих із спектрометра, розвиток навичок якісного та кількісного аналізу. Самостійне навчання: стимулювання ініціативи, креативності та самостійності студентів через заохочення до самостійного вирішення задач.

Результати. Успішно розроблено та впроваджено лабораторний практикум в процес підготовки майбутніх медичних працівників, що підсилило залученість студентів та сприяло розвитку їхніх вмінь. Практичні заняття значно покращили активізацію інтелектуальної діяльності студентів, формування навичок логічного мислення, встановлення міжпредметних та міжпредметних зв'язків, а також розвиток їхніх творчих компетентностей. Експериментальний клас ефективно сприяє розвитку як академічних, так і професійних навичок, надаючи студентам потрібні інструменти для успішного старту їхньої майбутньої кар'єри.

Висновки. Інтеграція передових аналітичних методів, таких як рентгеновська флуоресцентна спектроскопія, у навчальну програму значно покращує взаємодію та розуміння студентів, сприяючи набуттю теоретичних знань та розвитку практичних навичок. Експериментальний підхід допоміг у встановленні міжпредметних і міжпредметних зв'язків, що має вирішальне значення для комплексного навчання в мультидисциплінарних галузях, таких як медицина та біологічна фізика. Результати підтверджують, що інтеграція практичних занять у навчальний процес, особливо тих, що використовують новітні методи, може допомогти подолати розрив між теорією та практикою, сприяючи глибшому осмисленню матеріалу. В майбутніх дослідженнях ми розглянемо інші освітні стратегії та технології, які зможуть покращити залученість студентів та їх здатність до аналітичного осмислення матеріалу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: експериментальне навчання; активне навчання; професійні компетенції; рентгеновська флуоресцентна спектроскопія; аналіз елементного складу; лабораторні практичні роботи; залучення студентів; міжпредметні зв'язки.

ABSTRACT

Formulation of the problem. The central challenge addressed in this study is effectively integrating cutting-edge technologies, such as X-ray fluorescence spectroscopy, into higher education curricula, particularly within medical and pharmaceutical disciplines. The study seeks to address the pedagogical question: how can educational practices be optimized to facilitate the understanding and application of complex analytical techniques while simultaneously encouraging the development of students' critical, independent problem-solving skills?

Materials and methods. Materials: various material samples (powdered, solid, liquid), X-ray fluorescence spectrometer (EXPERT 3L model), and assorted soil samples for elemental composition study. Methods: Theoretical Instruction: Comprehensive teaching of the theoretical principles underlying X-ray fluorescence spectroscopy using a blend of lectures, readings, and discussions. Practical Laboratory Work: Encouraging hands-on, independent laboratory work using the EXPERT 3L X-ray fluorescence spectrometer, enhancing the understanding of practical applications. Data Analysis Training: Instruction on analyzing data from the spectrometer, improving both qualitative and quantitative analysis skills. Self-Directed Learning: Encouraging initiative, creativity, and self-sufficiency among students by promoting independent problem-solving activities.

Results. Successful development and implementation of laboratory practicals titled into the training of future medical professionals. Enhanced Student Engagement and Skill Development: The practical session had a significant impact on stimulating students' intellectual activity, fostering logical thinking skills, establishing inter-thematic and inter-subject connections, and promoting creative competencies. Formulation of Subject and Professional Competencies: The experimental class successfully molds both subject-specific and professional skills, equipping the students with the tools necessary for their future careers.

Conclusions. Integrating advanced analytical techniques, such as X-ray fluorescence spectroscopy, into the curriculum greatly enhances student engagement and understanding, contributing to theoretical knowledge and practical skill development. The experimental approach aided in establishing inter-thematic and inter-subject connections, vital for comprehensive learning in multidisciplinary fields like medical and biological physics. The results affirm that integrating practical exercises into the curriculum, especially those utilizing modern techniques, can help bridge the gap between theory and practice, fostering a deeper understanding of the subject matter. Future studies could explore other educational strategies or technologies that enhance student engagement and understanding in material analysis.

KEYWORDS: Experiential Learning; Active Learning; Professional Competencies; X-ray Fluorescence Spectroscopy; Elemental Composition Analysis; Laboratory Practical Work; Student Engagement; Interdisciplinary Connections.

INTRODUCTION

Formulation of the problem. The primary pedagogical challenge presented in this study pertains to the evolution of educational paradigms in higher education. Specifically, the task is to transition from traditional, lecture-focused teaching towards a more hands-on, independent learning model.

In the evolving landscape of higher education, an immediate challenge lies in reshaping the educational content and enhancing the learning process by amplifying the proportion of students' independent work (from 1/3 to 2/3 of ECTS credit). The distinctive feature of this contemporary educational format is to prepare a specialist who can think creatively, deepen their knowledge independently, apply it pragmatically, and demonstrate capacities for self-growth, self-education, and innovative endeavors. Consequently, the primary objective of an educator in higher education is to facilitate productive, independent work among students rather than a mere reproduction of the course material.

Laboratory work is pivotal in students' independent work in natural science disciplines. The principal aim in a higher education context is to harmoniously meld lectures with independent work, create a scientific worldview in students through the application of experimental research methods, implement theoretical knowledge practically, and assess their knowledge, skills, and competencies in specific topics or sections of biophysics. The challenge involves balancing these two approaches to promote creative thinking, deepening knowledge, and practical application of theory in students. This necessitates increasing the proportion of students' independent work, a shift especially critical in the natural sciences, where laboratory work plays a significant role.

When teaching elemental composition analysis using X-ray fluorescence spectroscopy, issues like complex technical understanding arise. This subject is technically complex and may pose challenges for students, particularly those new to the topic. Understanding the principles of X-ray fluorescence and how it can be used to analyze elemental composition requires a solid grounding in physics and chemistry. Practical Application: Translating theoretical knowledge into practical applications is a significant hurdle. Students may understand the theory but struggle to apply it when using X-ray fluorescence spectroscopy in a laboratory setting. Interdisciplinary Integration: The topic straddles several disciplines, including physics, chemistry, and material science. Students may struggle to integrate knowledge from these various areas effectively. Student Engagement: Due to its technical nature, maintaining student engagement and enthusiasm can be challenging, particularly for those less inclined towards technical or scientific subjects.

Furthermore, the task of integrating lectures and independent work into a coherent whole is a complex one. The pedagogical problem, therefore, involves designing, implementing, and assessing laboratory work that encourages students to apply their theoretical knowledge in practice while also developing their problem-solving skills and fostering a scientific worldview. Creating effective methodical guidelines for teaching these subjects forms another aspect of the pedagogical problem this work seeks to address.

Analysis of current research. A literature review revealed that international and local researchers have dedicated considerable effort to addressing this issue. The pivotal role of physical experiments as a wellspring of knowledge and a benchmark for validating theoretical studies, along with the significance of laboratory workshops within the general physics curriculum, is demonstrated in the works of Oleksandr Kyianovskiy (2019), Nataliia Stuchynska, (Krotevych et al., 2023), Stepan Velychko, (Velychko & Siryk, 2017), K. Paige Brown, (Brown et al., 2019), Jaclyn E. Tetenbaum-Novatt, (Tetenbaum-Novatt et al., 2018), Faith Celeste B. Ole (2020), Neville, M. W., (Neville et al., 2015). Recommendations for the integration of foundational and clinical sciences throughout the pharmacy curriculum were made by Margarita DiVall (DiVall et al, 2020). Numerous researchers have extensively studied the main facets of laboratory teaching. Moreover, this problem of modern education is highlighted in the national doctrine of educational development for Ukraine in the 21st century. Issues of online education were revealed in the works of Hannah Park (Park, & Shrewsbury, 2016), Iwona Czaplinski, (Czaplinski & Fielding, 2020). The concepts of modern education and formation of professional competence were revealed in the works of Juha Nieminen (Nieminen et al., 2004), Julia Mazurenko (2020), Nataliia Stuchynska, (Stuchynska et al, 2020). The importance of developing practical skills for medical and pharmaceutical students at the early stage of education and practical application of X-ray fluorescence spectroscopy in medical practice was revealed in the works of Tracy M. Kosinski (Kosinski et al., 2017), Patric Zimmermann (Zimmermann et al., 2020), Roozbeh Ravansari (Ravansari et al., 2020), Hervé Rebiere (Rebiere et al., 2019), Alexandra Figueiredo (Figueiredo et al, 2016)

The purpose of the article. This article aims to delve into the effective incorporation of X-ray fluorescence spectroscopy in higher education, particularly in the context of student-led laboratory work. The paper seeks to develop clear, understandable methodological guidelines for practical training that help students understand the topic and broaden their scientific comprehension. Through this, the article intends to contribute to the evolution of teaching practices, enhancing the ability of graduates to meet the demands of rapidly evolving technologies and industries.

THEORETICAL BASES OF THE RESEARCH

The basic theory of X-ray fluorescence analysis.

X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) is an efficient, non-invasive, and eco-friendly analytical method noted for its high precision and reproducibility. This technique allows for qualitative, semi-quantitative, and quantitative identification of all elements ranging from beryllium to uranium in powdered, solid, and liquid samples.

The XRF method encompasses energy ranges or wavelengths from $E = 0.11\text{--}60\text{ keV}$ or $\lambda = 11.3\text{--}0.02\text{ nm}$. Light, in addition to its wave properties, exhibits particle-like characteristics. Hence, we often use "photon" or "light quantum." We employ the quantum count as an intensity unit, with measures calculated per second in imp/s (impulses per second) or kimp/s (kilo-impulses per second).

The generation of X-radiation.

The generation of X-radiation, or X-rays, can occur when charged particles, especially electrons, lose kinetic energy due to any form of change. This energy loss can happen when an electron is decelerated, alters its direction of motion, or moves to a lower energy level within the atom's electron shell. Electron deceleration and their transitions from a particular energy level in an atom's electron shell to a lower one play a significant role in generating X-radiation.

The Bohr atomic model proves useful in explaining these processes. This model views an atom as a positively charged atomic nucleus orbited by electrons moving in designated spaces or shells. Electrons in different energy shells or levels possess varying energy due to their proximity to the atomic nucleus. Consequently, a distinct minimum amount of energy is necessary to remove an electron from an inner shell of an atom. The binding energy of an electron within an atom is inversely related to its distance from the nucleus, which can be understood as the amount of energy absorbed by the radiation emitted by the atom.

Characteristic radiation.

Characteristic radiation is a unique phenomenon associated with each element, defined by its atomic number (Z) in the Periodic Table of Chemical Elements or by the count of its electrons in a neutral state. Because of the varying number of electrons (negative charge carriers) or positive charges (Z) in the atomic nucleus (atomic number), the binding energy or energy levels are distinct for each element and typical to it.

Suppose an electron from the inner shell of an atom is ejected due to irradiation. In that case, the vacancy it leaves behind is filled by an electron from a higher shell, with the energy difference between the two levels being released. This energy is either emitted as X-ray quanta or transferred to another shell electron (through the Auger effect).

The likelihood of forming an X-ray quantum during this process is referred to as the fluorescence yield (ω), which depends on the element's atomic number and the shell where the vacancy originated. For lighter elements, ω is very small (approximately 10^{-4} for boron) but reaches 1 for the K shell of heavier elements like uranium.

However, the critical fact is that the energy or wavelength of the emitted X-radiation is characteristic of the element it originated from. This emission is referred to as characteristic X-radiation (see Fig. 1).

To induce X-radiation, a technique is needed that can eject electrons from an atom's inner shells (K, L) by transferring more energy to the inner electrons than their binding energy within the atom. Several methods can be used to achieve this:

- Irradiation with elementary particles of adequate energy (like electrons, protons, α -particles) which, upon impact, convey the necessary energy to the electrons for their removal from the atom.
- Irradiation with X-rays or gamma rays.
- Irradiation with X-rays from an X-ray tube, which is technically the simplest and safest approach in terms of shielding against radioactive radiation.

An atom can emit excess energy as a photon of characteristic radiation. Given that the energies of the atom's initial state (E_1) and final state (E_2) are quantized, radiation of frequency $\nu = (E_1 - E_2) / h$ is generated. All potential quantum transitions of radiation from an atom in its initial K-state form the most rigid (shortwave) K-series. Similarly, L-, M-, and N-series are formed.

In 1913, G. Moseley empirically established that the square root of the frequency ν of an element's characteristic radiation spectral line is a linear function of its atomic number Z , expressed as $\sqrt{\frac{\nu}{R}} = \frac{Z - S_n}{n}$, where R is the Rydberg constant, S_n is the screening constant, and n is the principal quantum number (fig. 2). This law serves as a compelling demonstration of the proper arrangement of elements in the Periodic Table of Elements and aids in elucidating the physical meaning of Z .

The Moseley law points out that characteristic X-ray spectra do not exhibit the periodic patterns typical of optical spectra. This suggests that in the characteristic spectra of X-radiation, the inner electron shells of atoms across all elements have a similar structure. Subsequent experiments identified some deviations from the linear relationship for transition groups of elements related to changes in the sequence of the outer electron shell filling and heavy atoms due to relativistic effects.

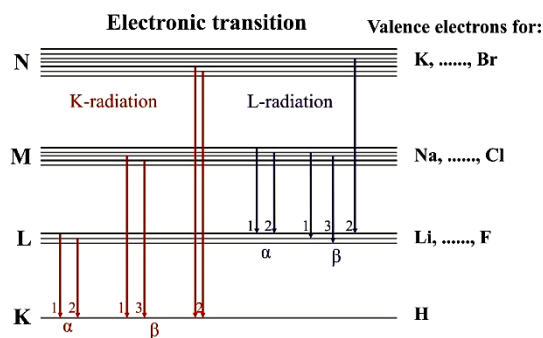


Fig. 1. Terminology for Energy Levels

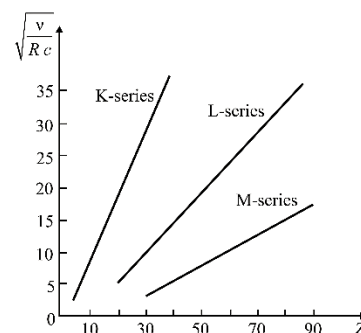


Fig. 2. Moseley diagram for K-, L-, and M-series characteristic X-radiation. The x-axis defines the ordinal number of the element Z , and the y-axis – $\sqrt{\frac{\nu}{Rc}}$ (c is the speed of light in a vacuum)

The position of spectral lines in the Moseley diagram can fluctuate based on several factors, such as the number of nucleons in the nucleus (causing isotope shifts) or the state of the outer electron shells (leading to chemical shifts), among others. Investigating these shifts provides granular insights into the atom's structure and behavior. The relative intensities of lines within a single series are governed by the probability of quantum transitions and, consequently, by the corresponding selection rules. Apart from the most prominent lines of dipole electric radiation, characteristic X-ray spectra can exhibit lines of quadrupole and octopole electric radiation and lines of dipole and quadrupole magnetic radiation.

The qualitative analysis hinges on the spectral position of the characteristic lines in the emission spectrum of the sample being tested. Rooted in Moseley's law, this analysis is executed based on the intensities of these lines. X-ray fluorescence spectral analysis can identify all elements with an atomic number Z greater than 12 and, in some cases, even lighter ones.

The X-ray fluorescence spectrometer

The X-ray fluorescence spectrometer, specifically the EXPERT 3L model, is depicted in Figure 3 in terms of its overall appearance and schematic layout. To stimulate the characteristic radiation of the element within the material being tested, the device utilizes both the braking radiation and the characteristic radiation emitted by the X-ray tube's anode material.

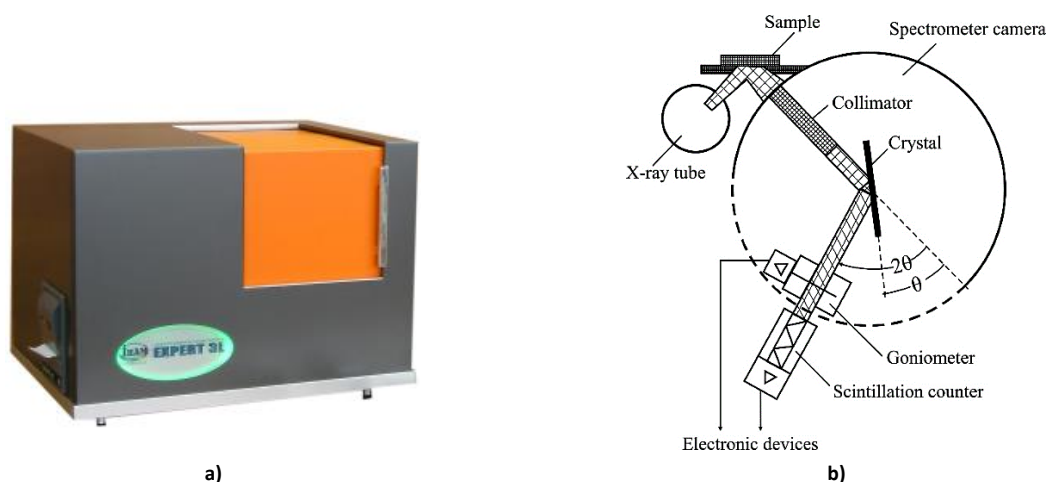


Fig. 3. General view (a) and schematic diagram (b) of an X-ray fluorescence spectrometer

Understanding that a chemical element within a sample can emit X-radiation when the energy of the excitation quanta surpasses the binding energy (absorption edge) of the element's internal electron is of vital significance. For instance, when a sample is irradiated with a 20 kV voltage, the maximum energy of the quanta released by the tube equals 20 keV. Hence, it is impossible to stimulate the K-radiation of elements with an atomic number $Z > 43$ since the binding energy of their K-level exceeds

20 keV. The initiation of K-radiation of heavier elements occurs at a generator voltage beyond 60 V. Rhodium (Rh) is universally used as a standard anode material since its characteristic radiation is suitable for exciting both heavy and light elements.

Following the excitation of an element in the sample (by X-radiation), a series of element-specific wavelengths is discharged. This secondary radiation traverses the collimator and lands on the crystal, which is a spectrum analyzer. The constitution of crystals comprises atoms (or molecules) arranged periodically, thus forming a crystal lattice. In this particle configuration, numerous planes of different orientations pass through the crystal lattice's nodes (horizontal, vertical, oblique planes).

When X-rays encounter the plane of the crystal lattice, every particle situated on it behaves as a scattering center, releasing a secondary wave. These secondary waves amalgamate in the reflected wave. Identical waves are produced from planes parallel to the given plane, given the negligible absorption of X-rays within the interplanar distances d . All these reflected waves interfere; however, if the interference condition ($\Delta = n\lambda$) is not perfectly met, the reflected waves interfere with attenuation. This condition is fulfilled only at a particular angle, known as the Bragg angle, for a specific wavelength and a certain interplanar distance.

A parallel, coherent X-radiation (1, 2) strikes the crystal with an interplanar distance d and is amplified and scattered at an angle θ (1', 2') (fig. 4). The portion of radiation scattered on the 2nd plane will have a path difference ACB compared to the radiation scattered on the 1st plane.

From the definition of sine, we obtain $\frac{AC}{d} = \sin\theta$ or $AC = d\sin\theta$.

The path difference ACB is doubled and equals $ACB = 2d\sin\theta$. The amplification condition is satisfied when the path difference equates to an integer multiple of the wavelength. This leads to the Bragg diffraction condition: $2d \sin\theta = n\lambda$, where $n = 1, 2, 3, \dots$ is the order of reflection, often referred to as the Bragg equation.

Applying the Bragg diffraction condition makes it feasible to identify the wavelength λ of X-radiation by measuring the angle θ , given a known interplanar distance d , and thus ascertain the corresponding chemical element. Spectrum analysis employs crystals such as lithium fluoride (LiF), indium antimonide (InSb), germanium (Ge), and multilayered structures.

X-ray detecting.

When measuring X-rays, we leverage their capability to ionize atoms and molecules; in other words, their energy is used to extract electrons from these particles. Certain materials utilized to detect X-rays produce pulses when subjected to X-ray influence. The amplitude of these pulses is directly proportional to the energy of the X-ray photons. Detecting the pulse amplitude provides information about the energy of the photons.

The count of photons during measurement, such as pulses per second (imp/s = impulses per second, kimp/s = kilo-impulses per second), is termed radiation intensity. This gives a preliminary approximation of the concentration of the radiating element in the sample. In contemporary X-ray fluorescence spectrometers, two types of detectors are employed: a gas proportional counter and a scintillation counter.

The gas proportional counter (as shown in Fig. 5) comprises a cylindrical metal tube, along whose axis a thin wire (the counting wire) is stretched. This tube is filled with an appropriate gas (for example, Ar + 10% CH₄). A high voltage (+U) is applied to the counting wire. On the side of the tube is a hole or window covered with a material permeable to X-radiation.

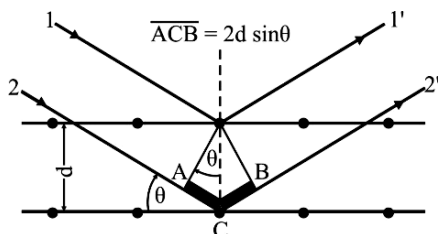


Fig. 4. Reflection of X-rays from the surface of the crystal

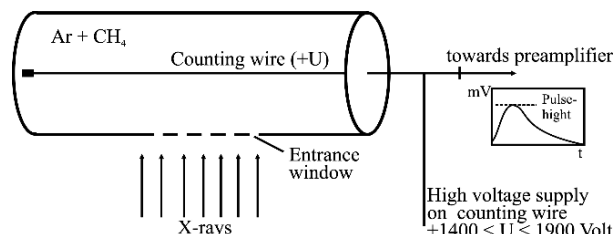


Fig. 5. Gas proportional counter

The scintillation counter (as shown in Fig. 6) used in the X-ray fluorescence analyzer consists of a sodium iodide crystal doped with thallium impurity - NaI (Tl).

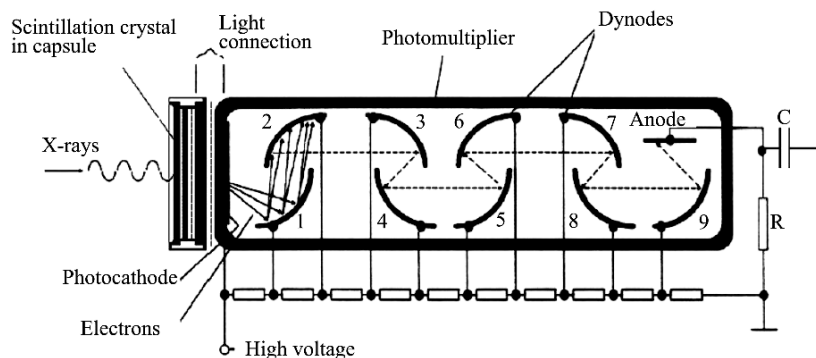


Fig. 6. Scintillation counter and photomultiplier

The crystal's thickness is substantial enough to absorb all the high-energy photons employed in the X-ray fluorescence analyzer. The energy of the X-rays penetrating the crystal gradually transfers to the crystal's atoms, which emit light. A composite of such light quanta forms a flash of light. The luminescent energy of these light flashes is proportional to the energy of the X-ray photon it absorbed from the crystal.

The resulting light radiation strikes the photocathode, triggering the emission of electrons. These electrons are then accelerated in the secondary electron multiplier, the photomultiplier, generating secondary electrons. The avalanche process produces a measurable signal at the output of the multiplier. Similar to the gas proportional counter, the amplitude of the created voltage pulses is proportional to the energy of the detected photon.

METHODS OF THE RESEARCH

This work is both theoretical and practical. Methodologically, it is anchored in well-established laws of physics. Its primary scientific and practical outcomes were procured using photo documentation (screenshots) and digital technologies to process experimental results.

To measure the elemental composition of different samples, the method of X-ray fluorescence spectroscopy was used. It's based on the principle that individual atoms emit X-ray photons of a characteristic energy or wavelength when excited by an external energy source. In general, it works as follows:

1. **Excitation**: The sample is excited by an external X-ray radiation source. This high-energy radiation has enough energy to dislodge tightly held inner electrons from their atomic orbits in the sample.

2. **Emission**: This ejection creates a vacancy that an electron from an outer orbit must fill. As an outer electron moves to fill the vacancy, it loses energy. This energy is released in the form of a secondary X-ray photon, a process known as fluorescence.

3. **Detection**: These secondary or fluorescent X-rays are then detected, and their energies are measured. Each element produces a unique spectral pattern of fluorescence X-rays (i.e., X-rays of specific energies), and so the presence of these spectral lines allows us to identify which elements are present in the sample.

4. **Analysis**: The intensity of these fluorescent X-rays is directly related to the concentration of the elements in the sample, allowing us to quantify how much of each element is present.

X-ray fluorescence spectroscopy is a technique that developed along with the general understanding of X-ray physics, which dates to the late 19th century. The foundational principles for X-ray fluorescence spectroscopy were established early in the 20th century. X-ray spectroscopy was significantly advanced in the 1910s by scientists like Henry Gwyn Jeffreys Moseley, who developed a systematic method for identifying elements using X-ray spectra. As for XRF instruments themselves, the first commercial X-ray spectrometer was released in the early 1950s. These early instruments used gas flow proportional detectors and could perform only relatively simple tasks. Over the decades, with technological advancements, XRF instruments have become increasingly powerful, precise, and versatile in their applications.

X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) does involve complex scientific concepts such as quantum mechanics, atomic structure, and the principles of X-ray production. Thus, from a certain perspective, it can be considered complex. However, while the underlying theory is advanced, first-year university students can learn and understand the practical application and operation of XRF instruments, particularly those studying fields such as chemistry, physics, or pharmacy. To understand the basics of XRF, a student needs knowledge of general chemistry and physics concepts, which are typically part of the first-year curriculum. This includes the structure of atoms, the nature of electromagnetic radiation (including X-rays), and some basic quantum mechanics principles. It is also worth noting that many modern XRF instruments are designed to be user-friendly and often come with software that automates much of the analysis. This allows users to focus more on understanding the results and less on the intricacies of how those results were generated.

RESULTS OF RESEARCH

To enhance the practical application and understanding of lab work, students are given the opportunity to analyze soil samples from different suburbs of their city. The objective behind this choice is twofold. Firstly, students can learn the physical principles of XRF analysis and gain hands-on experience. Secondly, they receive valuable insights regarding the ecological condition of their living environment since soil composition and its microbiological state can significantly impact public health.

Knowing soil's chemical composition can help predict how environmental conditions might affect human health and anticipate potential health risks. This knowledge is particularly beneficial for aspiring medical professionals and pharmacists, enabling them to understand the broader context of environmental impacts on health. For instance, an excess of radioactive isotopes in the soil can lead to their accumulation in human tissues and bones, potentially causing radiation sickness. Other studies have demonstrated a direct correlation between soil contamination with pesticides, increased child morbidity rates, particularly during the neonatal period, and a higher incidence of birth defects.

Students are further encouraged to delve into individual research, such as preparing reports on environmental conditions and their connection with disease prevalence in specific regions.

We have proposed the following course of practical work:

The followings are the recommended steps for practical work and a sample method for processing experimental outcomes:

The procedure of the Task:

1. Familiarize yourself with the rules for operating the X-ray fluorescence spectrometer under the instructor's guidance.
2. Perform measurements and obtain the spectra of three samples for qualitative analysis.
3. Introduce a specific amount of a simple chemical as an external standard.
4. Carry out measurements and derive new spectra of the three samples for quantitative analysis.
5. Use an MS Excel spreadsheet to calculate the quantitative chemical composition of the compounds.

The outcome of the Task:

1. Three soil sample spectra, along with their comprehensive qualitative composition, were obtained:

Sample 1

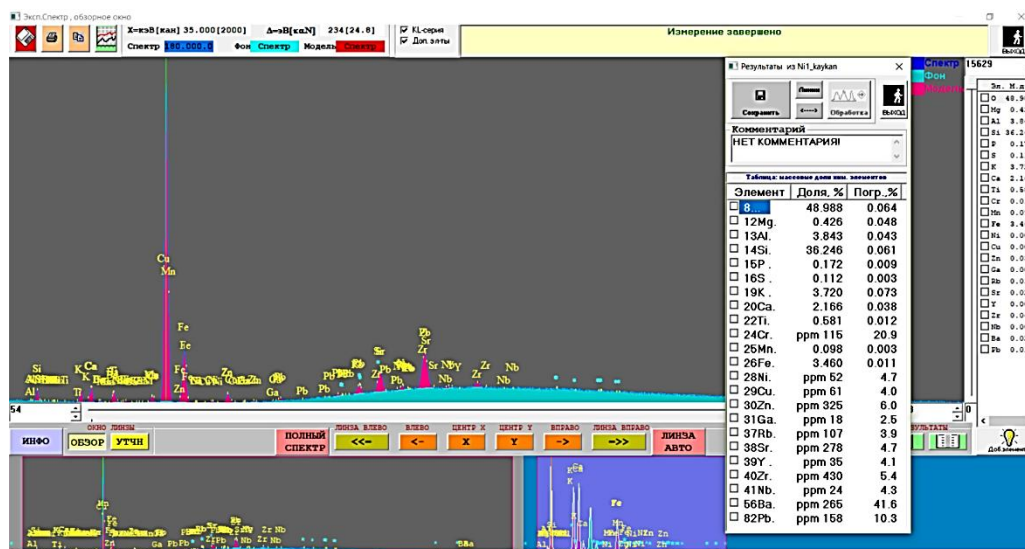


Fig. 7. Elemental (XRF) analysis of the Sample 1

Sample 2

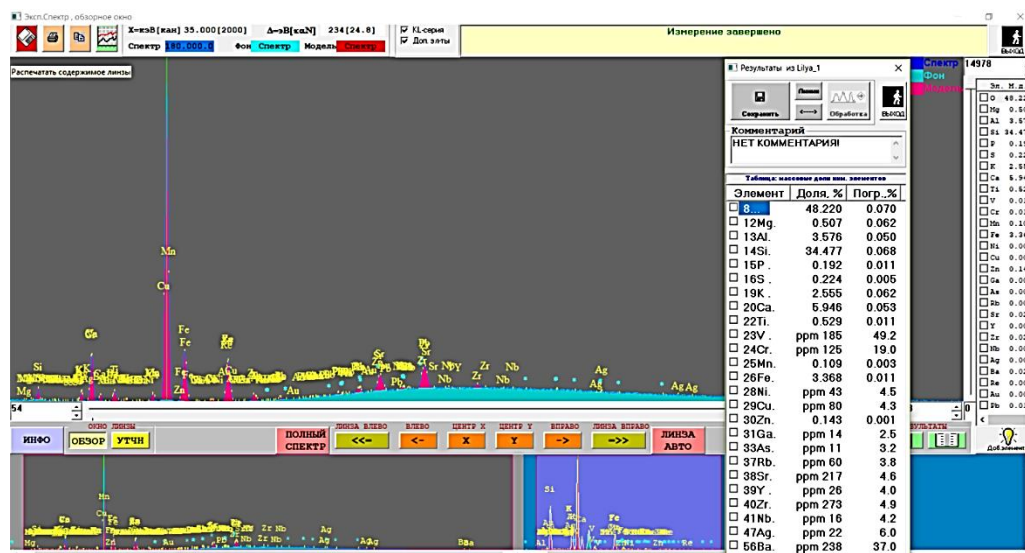


Fig. 8. Elemental (XRF) analysis of the Sample 2

Sample 3

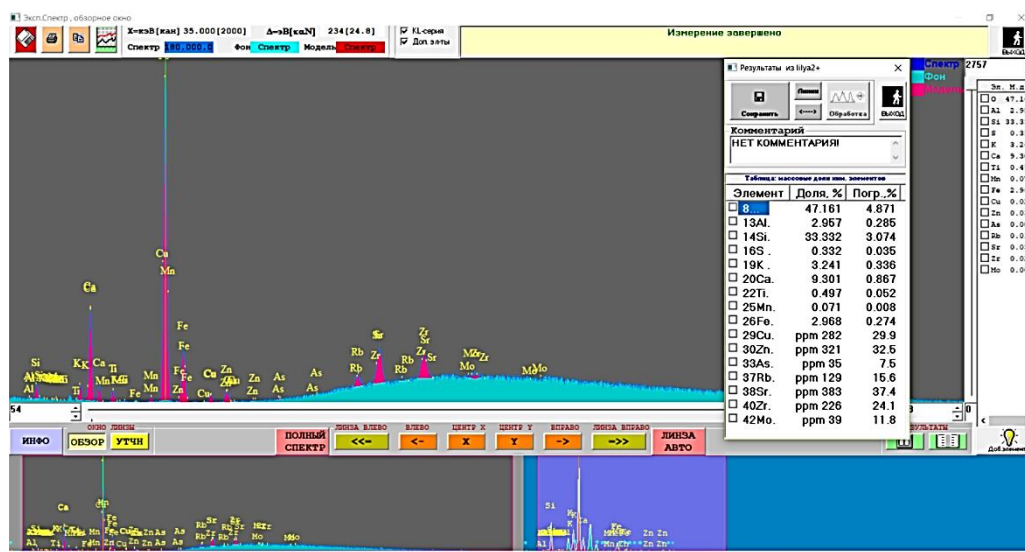


Fig. 9. Elemental (XRF) analysis of the Sample 3

2. An additional 0.2g of metallic copper was added as an external standard to each 0.5g sample.
3. Spectra of three soil samples along with their comprehensive qualitative composition were obtained with the presence of the external standard:

Sample 1

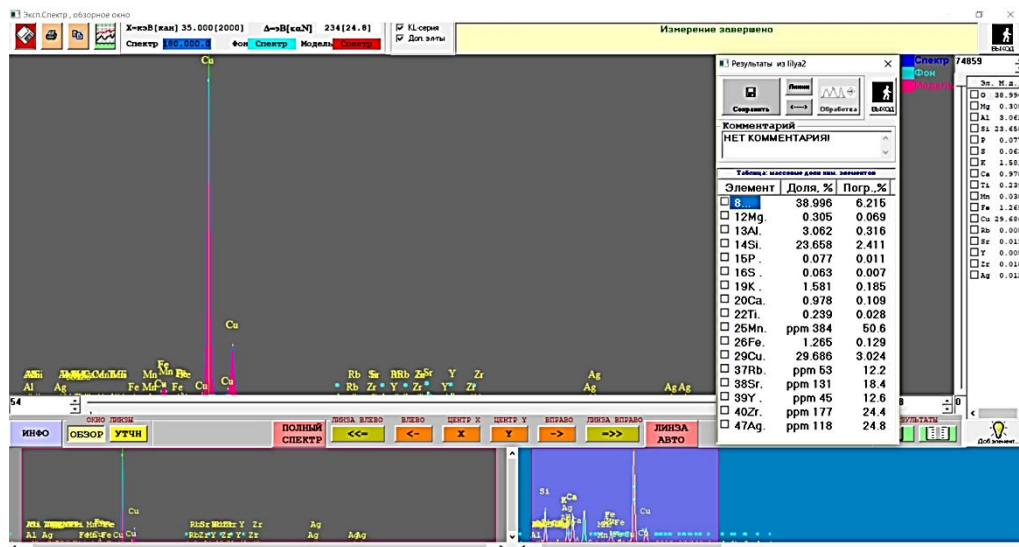


Fig. 10. Elemental (XRF) analysis of the Sample 1 after adding of 0.2g of metallic copper

Sample 2

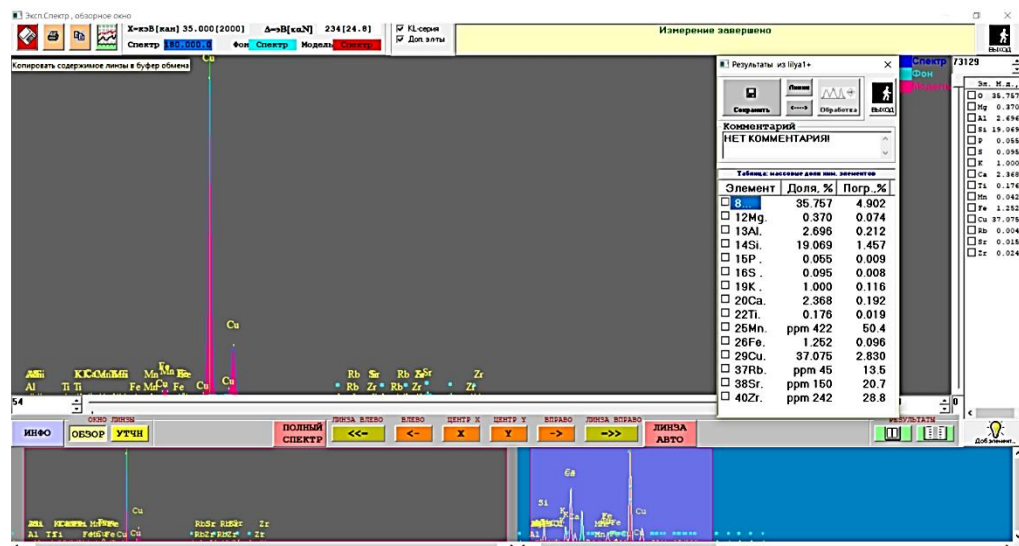


Fig. 10. Elemental (XRF) analysis of the Sample 2 after adding of 0.2g of metallic copper

Sample 3

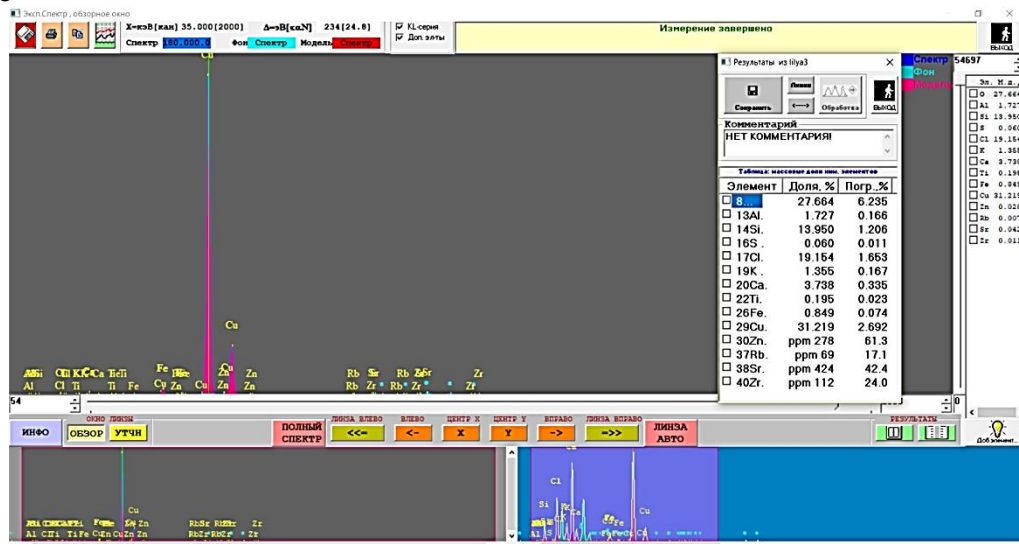


Fig. 10. Elemental (XRF) analysis of the Sample 3 after adding of 0.2g of metallic copper

4. The quantitative composition of individual chemical elements (with the highest radiation intensity) in the samples was calculated:

	Chemical element	Molar mass, g/mol	Mass fraction, %	Mass fraction (with the addition of Cu), %	Mass, g
Sample 1	Mg	24	0.426	0.305	0.002
	Al	27	3.843	3.062	0.021
	Si	28	36.246	23.658	0.159
	K	39	3.720	1.581	0.011
	Ca	40	2.166	0.978	0.007
	Mn	55	0.098	384 ppm	$2.6 \cdot 10^{-6}$
	Fe	56	3.460	1.265	0.009
	Cu	64	61 ppm	29.686	0.200
Sample 2	Mg	24	0.507	0.370	0.002
	Al	27	3.576	2.696	0.015
	Si	28	34.477	19.069	0.103
	K	39	2.555	1.000	0.005
	Ca	40	5.946	2.368	0.013
	Mn	55	0.109	422 ppm	$2.3 \cdot 10^{-6}$
	Fe	56	3.368	1.252	0.007
	Cu	64	80 ppm	37.075	0.200
Sample 3	Mg	24	0	0	0
	Al	27	2.957	1.727	0.011
	Si	28	33.332	13.950	0.089
	K	39	3.241	1.355	0.009
	Ca	40	9.301	3.738	0.024
	Mn	55	0.071	0	0
	Fe	56	2.968	0.849	0.005
	Cu	64	282 ppm	31.219	0.200

5. Formulate the conclusion.

Hence, X-ray fluorescence analysis enables the investigation of the qualitative chemical composition of various substances. Moreover, employing an external standard makes it possible to compute the actual mass proportion of chemical elements in the sample.

CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES FOR A FURTHER RESEARCH

A well-executed and structured laboratory session not only stimulates students' intellectual engagement but also fosters logical thinking, effective comprehension of the material, and the ability to establish connections across various topics and subjects. It enhances creative skills and aids in developing subject-specific and professional competencies.

Implementing the laboratory practical work "The use of x-ray fluorescence spectroscopy to determine the elemental composition of substances in the study of biophysics" has demonstrated its effectiveness in fostering a deeper understanding of the subject matter and the development of practical skills. Through this approach, students were able to actively engage with the learning process, leading to enhanced cognitive skills, problem-solving abilities, and critical thinking. This practical work allowed students to connect theoretical knowledge and real-world applications, offering a comprehensive understanding of the concepts.

Future research could explore the long-term impacts of such laboratory practical work on student learning outcomes, knowledge retention, and career readiness. Studies could also focus on refining and enhancing this practical approach to improve its effectiveness in teaching and learning, perhaps by integrating technology or interdisciplinary elements. Comparative studies could be useful to evaluate the efficacy of this method against more traditional teaching approaches or in various educational contexts and different student populations. There is also potential to explore how this practical work could be adapted for other scientific subjects or concepts, broadening its applicability.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- Kyianovskiy, O. (2019). Laboratornyi praktykum v kursy zahalnoi fizyky dlia studentiv pryrodnycho-naukovykh i tekhnichnykh spetsialnostei [Laboratory practicum in the course of general physics for students of natural sciences and technical specialties]. *Naukovi zapysky. Seriya: Pedahohichni nauky - Scientific notes. Series: Pedagogical Sciences*, 182, 81-85. <https://pednauk.cuspu.edu.ua/index.php/pednauk/article/view/175>
- Krotevych, D., Stuchynska, N., & Novikova, I. (2023). Doslidzhennia poverkhnevnykh yavysch ta yikh roli u medyko-biologichnykh protsesakh [Research of surface phenomena and their role in medical and biological processes]. *Collection of Scientific Papers «SCIENTIA»*, 42-48. <https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/687>
- Velychko, S., Siryk, E. (2017). Osoblyvosti vykladannia fizyky u protsesi pidhotovky vysokokvalifikovanykh fakhivtsiv nefizychnoho profilu [Peculiarities of teaching physics in the process of training highly qualified non-physics specialists]. *Naukovi zapysky. Seriya: Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnologichnoi osvity - Scientific notes. Series: problems of the methodology of physical, mathematical and technological education*, 3(12), 71-82. <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/NZ-PMFMTO/article/view/1280>
- Velychko, S., Siryk, E. (2017). Fizychnyi praktykum z kursu zahalnoi fizyky dlia studentiv nefizychnykh spetsialnostei [Physics practicum from the course of general physics for students of non-physics majors]. *Naukovi zapysky Berdianskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu*.

- Pedagogichni nauky - Scientific notes of Berdyansk State Pedagogical University. Pedagogical sciences*, 2, 183-188. <https://pedagogy.bdpu.org.ua/2017/12/13/vypusk-2-2017/>
5. Brown, K. P., Raccor, B. S., Hilgers, R. H., & Breivogel, C. S. (2019). Interdisciplinary pharmaceutical sciences activity within a pharmacy practice skills course. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 11(3), 270–276. <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2018.12.009>
 6. Tetenbaum-Novatt, J. E., Lonie, J. M., Elkowitz, D. E., & Frey, K. M. (2018). A novel learning approach to pharmaceutical sciences research in a pharmacy research advanced pharmacy practice experience (APPE) elective course. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 10(11), 1529–1540. <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2018.08.015>
 7. Faith Celeste B. Ole (2020). Effect of a developed physics laboratory manual on the conceptual understanding of industrial technology students. *European Journal of Education Studies*, 7(6), 113-123. <https://oapub.org/edu/index.php/ejes/article/view/3118>
 8. DiVall, M., Abate, M. A., Blake, E. W., Carter, J., Chadha, G. S., Jackowski, R. M., Khasawneh, F. T., Taylor, J. R., & Wagner, J. L. (2020). Recommendations for integration of foundational and clinical sciences throughout the pharmacy curriculum. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 12(11), 1371–1374. <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2020.06.006>
 9. Neville, M. W., Palmer, R., Elder, D., Fulford, M., Morris, S., & Sappington, K. (2015). Evaluating the Effects of Flexible Learning about Aseptic Compounding on First-year Students in a Pharmacy Skills Laboratory. In *American Journal of Pharmaceutical Education* (Vol. 79, Issue 6, p. 91). Elsevier BV. <https://doi.org/10.5688/ajpe79691>
 10. Natsionalna doktrina rozvitku osviti. [National doctrine of educational development]. [elektronniy resurs]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/347/2002#Text>
 11. Park, H. L., & Shrewsbury, R. P. (2016). Student Evaluation of Online Pharmaceutical Compounding Videos. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 80(2), 30. <https://doi.org/10.5688/ajpe80230>
 12. Czaplinski, I., & Fielding, A. L. (2020). Developing a contextualised blended learning framework to enhance medical physics student learning and engagement. *Physica Medica*, 72, 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.03.010>
 13. Nieminen, J., Lindblom-Yläne, S., & Lonka, K. (2004). The Development of Study Orientations and Study Success in Students of Pharmacy. *Instructional Science*, 32(5), 387–417. <https://doi.org/10.1023/b:truc.0000044642.35553.e5>
 14. Mazurenko, J. (2022). Formuvannia fakhovoi kompetentsii maibutnikh likariv iz vykorystanniam reproduktyvnoho metodu [Formation of professional competence of future doctors using the reproductive method]. *Medychna osvita – Medical Education*, 4, 61–67. <https://doi.org/10.11603/m.2414-5998.2021.4.12692>
 15. Stuchynska N., Ostapovych, N., Belous, I., Mazurenko, J., & Zakusilova, T. (2020). Tecnologias baseadas em jogos para o ensino de ciências naturais profissionalmente orientadas para os futuros médicos. *Nuances: estudos sobre Educação*, 31, 160–175. <https://doi.org/10.32930/nuances.v31i0.8215>
 16. Kosinski, T. M., Brown, M. C., Valdovinos, K., & Zavala, P. J. (2017). Acquisition and Retention of Sterile Compounding Accuracy Skills. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 81(6), 115. <https://doi.org/10.5688/ajpe816115>
 17. Zimmermann, P., Peredkov, S., Abdala, P. M., DeBeer, S., Tromp, M., Müller, C., & van Bokhoven, J. A. (2020). Modern X-ray spectroscopy: XAS and XES in the laboratory. *Coordination Chemistry Reviews*, 423, 213466. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213466>
 18. Ravansari, R., Wilson, S. C., & Tighe, M. (2020). Portable X-ray fluorescence for environmental assessment of soils: Not just a point and shoot method. *Environment International*, 134, 105250. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105250>
 19. Rebiere, H., Kermaïdic, A., Ghyselinck, C., & Brenier, C. (2019). Inorganic analysis of falsified medical products using X-ray fluorescence spectroscopy and chemometrics. *Talanta*, 195, 490–496. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.11.051>
 20. Figueiredo, A., Fernandes, T., Costa, I. M., Gonçalves, L., & Brito, J. (2016). Feasibility of wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry for the determination of metal impurities in pharmaceutical products and dietary supplements in view of regulatory guidelines. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 122, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2016.01.028>



Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
 Has been issued since 2013.
 Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
 Видається з 2013.



p-ISSN 2413-1571
 e-ISSN 2413-158X

DOI: 10.31110/2413-1571
<https://fmo-journal.org/>

DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-4-003

UDC 37.09:378:621.3:004.94

ПРОЕКТНИЙ МЕТОД У STEM-ОСВІТІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОЇ ПЛАТФОРМИ ARDUINO

Олексій ВОРОНКІН ✉

Український вільний університет, Німеччина
 oleksii.voronkin@ufu-muenchen.de
<https://orcid.org/0000-0003-4088-7147>

Сергій ЛУЩИН

Національний університет «Запорізька політехніка», Україна
 lushchin@zntu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-2135-0520>

PROJECT METHOD IN STEM EDUCATION USING ARDUINO SOFTWARE AND HARDWARE PLATFORM

Oleksii VORONKIN ✉

Ukrainian Free University, Germany
 oleksii.voronkin@ufu-muenchen.de
<https://orcid.org/0000-0003-4088-7147>

Sergii LUSHCHIN

National University «Zaporizhzhia Polytechnic», Ukraine
 lushchin@zntu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-2135-0520>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. Одним із перспективних методів навчання у STEM-освіті є метод проектів. Проектний метод у STEM-освіті обумовлює актуальність і дослідницький характер теми проекту, забезпечення взаємозв'язку теоретичних знань із практикою, практичне втілення результатів проекту. Проект, як засіб реалізації STEM-освіти, дозволяє інтегрувати знання з різних предметних галузей під час розв'язання реальних задач, створення діючих макетів, що обумовлює їх практичне використання.

Матеріали і методи. Використано методи аналізу та систематизації науково-педагогічної літератури; узагальнення результатів вітчизняного і зарубіжного досвіду щодо використання проектного методу у STEM-освіті із застосуванням програмно-апаратної платформи Arduino. Наведено експериментальну методику створення діючого фізіотерапевтичного лазерного пристрою для лікування нежитю. Застосовано програмне комп'ютерне моделювання для імітації роботи пристрою з розробкою коду для плати Arduino UNO.

Результати. На прикладі виконання STEM-проекту «Розробка фізіотерапевтичного лазерного пристрою для лікування нежитю» показано як можна інтегрувати низку різноманітних, дидактичних і дослідницьких завдань. Наведено узагальнений опис основних структурних елементів плати Arduino Uno. Сформульовано типовий алгоритм ознайомлення з роботою плати Arduino. Вказано основні розділи курсу фізики, знання яких є базовими для реалізації проекту. Показано як використання бітової матриці станів лазера дозволяє створювати циклічні режими опромінення, що періодично змінюють один одного. Наведено приклад коду з обробкою бітової матриці станів лазера. Скетч керує режимами напівпровідникового лазера, відображає час опромінення на рідкокристалічному дисплеї та подає звуковий сигнал по закінченню часу опромінювання, що задається потенціометром. Подано фрагмент симуляційного моделювання фізіотерапевтичного пристрою в середовищі Tinkercad Circuits.

Висновки. Практичний досвід використання проектного методу в STEM-освіті показав, що він дозволяє студентам активно досліджувати реальну проблему, застосовувати отримані знання на практиці, розвивати навички співпраці, комунікації та критичного мислення. Виконання проекту сприяє поєднанню різних видів діяльності, таких як пізнавальна, творча, практична, дослідницька, а також розвитку навичок мислення, мотивації та відповідальності за свою діяльність. Впровадження проектного методу дає можливість забезпечити якісну підготовку фахівців з природничих наук, здатних ефективно застосовувати свої знання та навички у практичних ситуаціях та сприяти подальшому розвитку STEM-галузей в Україні.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: проектний метод; STEM-освіта; платформа Arduino; програмування; інженерне мистецтво.

ABSTRACT

Formulation of the problem. One of the promising methods of training in STEM education is the method of projects. The projected method in STEM education determines the relevance and research nature of the topic of the project, ensuring the interconnection of theoretical knowledge with practice, practical implementation of the results of the project. The project, as a means of implementing STEM education, allows you to integrate knowledge from different subject industries when solving real tasks, the creation of existing layouts, which causes their practical use.

Materials and methods. Methods of analysis and systematization of scientific and pedagogical literature were used; generalization of the results of domestic and foreign experience in the use of a prose method in the STEM education using the ARDUINO software and hardware platform. The experimental method of creating an active physiotherapy laser device for treatment of the runny nose is presented. A software modeling is used to simulate a device with the design of the Arduino Uno board.

Results. The example of the implementation of the STEM project "Development of a physiotherapeutic laser device for the treatment of runny nose" demonstrates how it is possible to integrate many different-level, didactic, and research tasks. A generalized description of the main structural elements of the Arduino Uno board is given. A typical algorithm for familiarizing yourself with the operation of the Arduino board is formulated. The main sections of the physics course are indicated, the knowledge of which is fundamental for implementing the project. It is shown how using a bit matrix of laser states allows the creation of cyclic irradiation modes that periodically change each other. An example of a code processing a bit matrix of laser states is provided. The sketch controls the modes of the semiconductor laser, displays the exposure time on the liquid crystal display, and emits a sound signal at the end of the exposure time set by the potentiometer. A fragment of the simulation modeling of a physiotherapy device in the Tinkercad Circuits environment is presented.

Conclusions. The practical experience of using the project method in STEM education has shown that it allows students to investigate a real problem actively, apply the acquired knowledge in practice, and develop cooperation, communication, and critical thinking skills. Implementation of the project contributes to the combination of various activities, such as cognitive, creative, practical, and research, as well as the development of thinking skills, motivation, and responsibility for one's actions. Implementing the project method makes it possible to provide high-quality training for specialists in natural sciences who can effectively apply their knowledge and skills in practical situations and contribute to the further development of STEM fields in Ukraine.

KEYWORDS: project method; STEM education; Arduino platform; programming; engineering art.

Для цитування:

Voronkin O., Lushchin S. Project method in STEM education using arduino software and hardware platform. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 4. С. 24-30. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-4-003

Voronkin, O., & Lushchin, S. (2023). Project method in STEM education using arduino software and hardware platform. *Фізико-математична освіта*, 38(4), 24-30. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-003>

For citation:

Voronkin, O., & Lushchin, S. (2023). Project method in STEM education using arduino software and hardware platform. *Physical and Mathematical Education*, 38(4), 24-30. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-003>

Voronkin, O., & Lushchin, S. (2023). Project method in STEM education using arduino software and hardware platform. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(4), 24-30. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-003>

INTRODUCTION

Formulation of the problem. STEM education involves the integration of natural sciences, technology, engineering creativity, and mathematics. One of the promising methods is the project method, which determines the relevance and research nature of the project topic, ensures the relationship of theoretical knowledge with practice, and directs the result of the creative search to practical implementation. The project as a means of implementing STEM education allows for the integration of knowledge from various subject areas while solving real problems, and creating working models, which determine their practical use.

An actual problem of training qualified pedagogical specialists in the field of natural sciences, in particular physics, in modern conditions is the implementation of research training with the use of innovative practices, and the ability to combine face-to-face and distance learning methods. The use of digital tools, modern software, and hardware platforms allows an increase in the effectiveness of the educational process, to make it more visible due to the practical implementation of the results of experimental work and the creation of a simulation model of the operating device.

Analysis of actual research. The project method is one of the learning approaches proposed by the American philosopher and educator John Dewey at the end of the 19th and the beginning of the 20th century. The goal of project-based learning is to stimulate students' interest in certain problems, the solution of which is implemented through planning, research, and aimed at practical results (Morgan, 1983). William Heard Kilpatrick emphasized the importance of the "project" as a central element of learning that stimulates active participation and self-activity of students in the learning process. Edward Collins emphasized the connection between learning and real life, supporting the idea that project tasks should have real meaning for students, and their results can be used in real situations. Howard Parkhurst has shown that projects should provide students with opportunities to develop valuable skills and abilities that are important in real-life contexts. It was also established that project-based learning contributes to the development of skills of "critical thinking, cooperation, communication, reasoning, synthesis and stability in conditions of limited time and a defined goal" (Barron, 2003) and involves various types of activities.

The project method in the field of STEM education is quite common in many countries, including Ukraine. Government programs in Australia, China, Great Britain, Israel, Korea, Singapore, and the United States aim to ensure high-quality education and often include project methods in their curricula and programs, which encourages teachers to use interactive methods, robotics, and programming to engage students in STEM education. (Kushnir et al., 2017). On August 5, 2020, the Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 960 approved the Concept of the Development of Science and Mathematics Education (STEM) in Ukraine. According to this concept, educational methods and educational programs of STEM education should be aimed at the formation of competencies that are important and relevant in the labor market. Among them, critical, engineering, and algorithmic thinking, information processing and data analysis skills, digital literacy, creativity, and innovation, as well as communication skills, are distinguished.

Various aspects of the introduction of STEM education in Ukraine were highlighted in the works of Ukrainian scientists. Thus, the authors of the article (Stryzhak et al., 2017) conducted an analysis of the content of key concepts of STEM, which are fundamental in understanding the essence of the new educational direction, Natallia Honcharova compiled a glossary of terms defining the essence of the concept of STEM (Honcharova, 2015), in the article (Salnyk et al., 2023) considered the possibilities of introducing STEM technologies integrated with information and communication technologies into the education system.

In general secondary education institutions of Ukraine, STEM education is mainly implemented in the form of electives and clubs (Kryvonos, 2017), where such platforms as LEGO, RoboRobo, Mindstorms, Iskra.JS, BrainPad, MicroBIT, Arduino, ESP32, Micro:bit, Raspberry are used Pi and others. In the regions, work was launched on the creation of STEM centers (laboratories), holding various events to popularize scientific and technical education - STEM weeks, scientific picnics, festivals of making, etc. (Petrykeeva et al., 2017). The university course in physics involves conducting experimental work with the measurement of physical quantities and subsequent data processing and analysis. To improve this course, in the article (Honda et al., 2021) it is proposed to hold a workshop on the physical foundations of measurements and technical means of automation based on the Arduino platform and a Raspberry Pi single-board computer for students of physics majors.

Thus, the method of projects in the field of STEM can be applied at different educational levels and in different learning contexts. It is a universal approach that can be successfully used in secondary (Zorenko & Shcherbyna, 2010), vocational and technical education (Herliand, 2017), in higher education (Ognianyk & Nichyshyna, 2018), as well as postgraduate education (Salnyk et al., 2023). At the same time, despite the available pedagogical research, questions remain regarding the specifics of using the project method in educational institutions in the context of STEM education.

The purpose of the article. In view of this, the purpose of the article is to reveal the features of the use of the project method in STEM education when teaching physics using the example of the project "Development of a physiotherapeutic laser device for the treatment of runny nose", which provides the opportunity to combine theoretical knowledge with the ability to perform an experiment, practical implementation of project results in the creation of simulation models of the operating device, stimulation of various types of student activities.

METHODS OF THE RESEARCH

Scientific and methodological research was performed using theoretical and empirical research methods: analysis and systematization of scientific pedagogical and methodical literature related to project-based learning and STEM education, generalization of the results of domestic and foreign experience regarding the use of the project method in STEM education with the application of the Arduino hardware and software platform, publicly available data relevant to the research topic, as well as simulating the operation of the device with the development of code for the Arduino UNO board. The combination of these research methods provided a scientific approach to the implementation of the project.

This scientific research was carried out using the TinkerCad Circuits software environment and the Arduino hardware and software platform. This platform allows you to use programming in the process of learning natural sciences, which makes it interesting for the implementation of educational and research STEM projects. Arduino coding is based on a simplified version of

the C/C++ programming language (Baran et al., 2019). We used the most popular version of the basic platform – the Uno board, built on the ATmega328 microcontroller. The board has 14 digital input/output pins, 6 analog inputs, a USB connector, an additional connector for connecting external power, an ICSP interface, and a reset button.

RESULTS OF RESEARCH

As one of the possible options, we considered an example of a project on the development of a physiotherapeutic laser device for the treatment of rhinitis. The connection between the development of this project and the teaching methodology is established by a number of the following provisions. The principles of engineering art and information technologies are used in the development of a physiotherapeutic laser device. Engineers, apply scientific principles, develop models, conduct experiments, and solve practical problems. It is these principles that are the basis for STEM education, which stimulates students to actively research, make and apply the acquired knowledge. The development of a physiotherapy laser device also requires knowledge of mathematics and natural sciences, which are components of STEM education. The basis of the project method, which is used during the development of a physiotherapeutic laser device, is the use of an integrated approach and consideration of the philosophy of various fields of knowledge, combining scientific and research, natural, technological, and medical aspects. This project was implemented using the TinkerCad Circuits software environment and the Arduino hardware and software platform. This provided a convenient way to simulate and test the software sketch without having to have a physical Arduino UNO board. The combination of TinkerCad Circuits and Arduino gave us a high level of flexibility and speed in developing and testing the software sketch. This approach made it possible to eliminate possible errors in the physical implementation of the device on the Arduino platform.

Getting to know the Arduino platform usually involves the following steps:

1. Overview of a specific board, for example, UNO.
2. Installing on a personal computer Arduino IDE, which is the main software for developing and programming Arduino.
3. Registration in simulation services such as TinkerCAD, Wokwi. Such environments provide the ability to simulate and test Arduino applications without access to the physical board.
4. Definition of the structure of the program code.
5. Understanding the task, and its algorithmization with sketch writing.
6. Simulation modeling, debugging, and uploading the sketch to the controller.

The first sketch is traditionally devoted to flashing an LED. Already at this initial stage, we propose to combine informatics and natural sciences into a single project "Development of a physiotherapeutic laser device for the treatment of rhinitis." The project can be implemented in institutions of secondary education, professional pre-higher education, and higher education.

The project involves several types of activities, namely: cognitive, creative, research, and practical, because students have:

- repeat and generalize the main physical properties of light;
- reveal the differences in light generation by LEDs and semiconductor lasers;
- to determine the mechanisms of biological action of light;
- to analyze the principles of construction of industrial LED and laser physiotherapy devices;
- develop a model of a simple low-intensity laser therapeutic device for the treatment of rhinitis based on the Arduino UNO board, write a sketch;
- evaluate the advantages and disadvantages of the proposed model, and identify issues that need to be refined;
- present the results of the project and draw conclusions.

At first, students should focus on studying the "Optics" section of the physics course - the scale of electromagnetic waves, and the spectrum of light radiation; on the basis of literary sources, determine photophysical and photochemical reactions that occur as a result of the interaction of light with biological structures. Thus, a treatment method combining optical radiation and a photosensitizer, i.e. a photosensitive drug, is widely used in various fields of medicine (Zavadska et al., 2021). Next, students should establish that there is a certain selectivity of biological processes to the wavelength of radiation and a certain limiting value of the radiation power density for triggering physicochemical reactions (Wieneke & Gerhard, 2018; Yakovenko & Samoilenko, 2018). The nature of photophysical and photochemical reactions depends on the physical parameters of light, its penetrating ability, the properties of the tissues themselves, and the phenomena of resonant absorption of energy. For example, the depth of penetration of optical radiation into biological tissues decreases as the wavelength decreases (Sokrut & Kazakov, 2008). Therefore, studying the literature will allow us to determine the effectiveness of the therapeutic effect by groups of diseases depending on the wavelength.

Laser radiation plays a special role in phototherapy because of several properties, such as monochromaticity, coherence, and greater depth of penetration into biological tissues (Baxter, 1994). As a result of this influence, changes occur in the irradiated tissues at various levels:

1. Subcellular level. Laser radiation can cause excited states of molecules in tissues, promote the formation of free radicals, coagulation of protein structures, and acceleration of protein synthesis.
2. Cellular level. The influence of laser radiation can change the membrane potential of cells and the permeability of membranes.
3. Fabric level. Laser therapy can change intercellular fluid pressure, and improve tissue microcirculation and oxygen balance.
4. System level. Exposure to laser radiation can cause adaptive neuro-reflex and humoral reactions in the body.

The next stage of the project is the analysis of the principles of operation of industrial phototherapy devices, for example, K-Laser (K-Laser USA), Photizo Vetcare (Medlight SA), BioPhotas Celluma (BioPhotas Inc.), Handy Cure (Handy Cure LTD), which should be done according to the main physical and technical characteristics: wavelengths of radiation; radiation modes

(continuous, pulsed, modulated); radiation power; frequency range for pulsed and modulated radiation; exposure time; therapeutic effect, etc.

Particular attention should be paid to devices designed for the treatment of nasal congestion, allergic, acute, chronic, neuro vegetative rhinitis Rhinolight (Newtone Technologies), MLS Laser Therapy (ASA Laser), LaserStim (LiteCure Medical), BioFlex Laser Therapy Systems (Meditech International Inc.), Healthy Nose (Bionase), "Lika-therapist M", "ATMOS-AntiNasmork". A careful study of the instructions for these devices will allow you to understand that the treatment is quite typical - the light is directed to the lower nasal conchas with the help of a nozzle. The power of the laser emitter in them varies from 5 mW to 50 mW, and the irradiation time is from 2 to 15 minutes on both sides, depending on the specific treatment protocol. The therapeutic effect is manifested in reducing inflammation, removing swelling of the mucous membrane, narrowing blood vessels, improving microcirculation and blood circulation, improving detoxification ability, reducing pain, accelerating tissue regeneration, increasing the anti-allergic ability of the mucous membrane, etc.

Some devices work only in the continuous mode of radiation, however, in numerous literary sources, for example (Baxter, 1994; Tuner & Hode, 2002; Pantyo, 2009), the perspective of exposure to laser radiation in the pulsed mode is noted. The pulse significantly reduces the thermal effect on biological tissues, and the correctly set spacing of the pulses allows you to approach resonance effects. However, there are no recommendations for frequency selection during pulsed irradiation of the lower nasal concha in the literature, which allows students to creatively approach the development of a model of a laser device. Therefore, the proposed solutions can be the most diverse both in terms of hardware and software. For example, you can use laser heads, laser modules with wavelength $\lambda = 650$ nm, power <5 mW, <10 mW, or use a combination of two wavelengths (among other parameters) to ensure optimal effect.

Students have to propose the parameters of the impulse operation of the device, write a sketch, evaluate the advantages and disadvantages of the software code, identify issues that need to be refined, and present the project. The first ideas are usually implemented using the digitalWrite and delay functions. Deeper knowledge of the programming language allows you to use the millis function, loop operators, the if-else construction, and interrupts.

A solution with a variable frequency of pulses during irradiation, which reduces the adaptation processes of biological tissues to a constant stimulus, deserves attention. The use of a bit matrix of laser states allows you to create cyclic irradiation modes that periodically change each other. Table 1 shows an example of 12 cyclic laser modes. Here, 1 byte encodes 8 bits of states that change sequentially in 1 second, that is, the minimum time for one state of the laser is 1/8 of a second. If the period of change of each mode is set to, for example, 10 seconds, then the complete irradiation cycle will be 2 minutes.

Table 1

Bit matrix of laser states

Regime	A sequence of 8 bits	Login "1" (s)	Logical "0" (s)	Logical "1" (s)	Logical "0" (s)
		(based on 1 second)			
1	11111111	1	–	–	–
2	00001111	0,5	0,5	–	–
3	01110111	0,375	0,125	0,375	0,125
4	00110011	0,25	0,25	0,25	0,25
5	00010001	0,125	0,375	0,125	0,375
6	00000101	0,125	0,125	0,125	0,625
7	00011101	0,125	0,125	0,375	0,375
8	00000001	0,125	0,875	–	–
9	11000011	0,25	0,5	0,25	–
10	11100111	0,375	0,25	0,375	–
11	11101111	0,5	0,125	0,375	–
12	01111111	0,875	0,125	–	–

An example of a possible version of the code for the Arduino UNO board with processing of the bit matrix of the laser states according to table 1 is given below.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
byte modes[] = {
  0B00000000,
  0B11111111,
  0B00001111,
  0B01110111,
  0B00110011,
  0B00010001,
  0B00000101,
  0B00011101,
  0B00000001,
  0B11000011,
  0B11100111,
  0B11101111,
  0B01111111
};
uint32_t ms, ms1 = 0, ms2 = 0;
```

```

uint8_t blink_loop = 0;
uint8_t blink_mode = 0;
uint8_t modes_count = 0;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
const int potPin = A0;
int laserDuration = 0;
unsigned long startTime = 0;
const int buzzerPin = 9;
void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT);
  digitalWrite(13, LOW);
  modes_count = 1;
  blink_mode = modes[modes_count];
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.print("Laser Therapy");
  pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
}
void loop() {
  ms = millis();
  if( ( ms - ms1 ) > 125 || ms < ms1 ){
    ms1 = ms;
    if( blink_mode & 1 << (blink_loop & 0x07) ) digitalWrite(13, HIGH);
    else digitalWrite(13, LOW);
    blink_loop++;
  }
  if( ( ms - ms2 ) > 10000 || ms < ms2 ){
    ms2 = ms;
    blink_mode = modes[modes_count++];
    if( modes_count >= 12 ) modes_count = 1;
  }
  int potValue = analogRead(potPin);
  laserDuration = map(potValue, 0, 1023, 120, 600);
  if (digitalRead(13) == HIGH) {
    if (startTime == 0) {
      startTime = millis();
    }
    unsigned long elapsedTime = (millis() - startTime) / 1000;
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Time: ");
    lcd.print(elapsedTime / 60);
    lcd.print(" min ");
    if (elapsedTime % 60 < 10) {
      lcd.print("0");
    }
    lcd.print(elapsedTime % 60);
    if (elapsedTime >= laserDuration) {
      digitalWrite(13, LOW);
      startTime = 0;
      lcd.clear();
      lcd.print("Laser Therapy");
      tone(buzzerPin, 1000, 700);
    }
  }
  delay(125);
}

```

This sketch controls the modes of the semiconductor laser, displays the exposure time on the liquid crystal display, and emits a sound signal when the exposure time set by the potentiometer has expired. In general, the code consists of 9 main elements:

1. Connection of libraries: Wire.h - for working with the I²C communication protocol, LiquidCrystal_I2C.h - for controlling a character liquid crystal display via I²C.
2. Declaration of the modes[] array describing the bit matrix of laser states.
3. Initialize the Arduino board pins and objects, including the pins for the laser, display, and piezo emitter.
4. Implementation of the main loop() cycle.
5. Control of laser operation modes in a cycle according to the bit matrix of states defined by the modes[] array.
6. Reading the value of the potentiometer to determine the duration of exposure.
7. Display exposure time in minutes and seconds.
8. Checking the condition of reaching the duration of irradiation and turning off the laser, resetting the time, and updating the relevant information on the display.
9. Delay stabilizing display.

The electrical circuit uses a semiconductor laser connected to pin 13 of the Arduino UNO board, a character liquid crystal display 1602 connected via I²C to pins A4 and A5 of the Arduino UNO board, a potentiometer connected to analog input A0 of the Arduino UNO board, a piezoelectric emitter, connected to pin 9 of the Arduino board. Fig. 1 shows a fragment of a simulation model of a physiotherapy device, its operation can be checked in the Tinkercad Circuits environment using the web call: <https://www.tinkercad.com/things/IFGmWB0Meyv?sharecode=3JdwxSJU-rgyzuxGwGCG0Gn8MShV6Ya72Tz-QdpqVRC>.

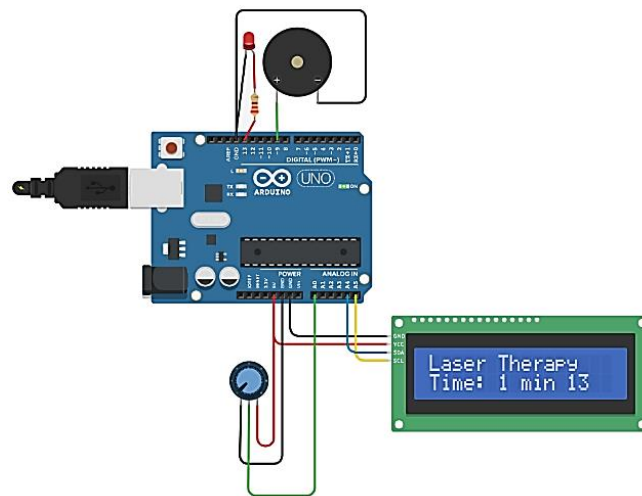


Fig. 1. Simulation modeling of the created physiotherapeutic device in the Tinkercad Circuits environment (for the simulation, a red LED was used instead of a semiconductor laser with $\lambda = 650$ nm)

The considered project was implemented as part of the integrated course "Natural Sciences" at the Serhii Prokofiev Severodonetsk professional art College, which is taught according to the program recommended by the Ministry of Education and Science of Ukraine for general secondary education institutions (author team led by V.R. Ilchenko). The specified educational program allows the implementation of projects in accordance with the material base of the educational institution.

CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES FOR A FURTHER RESEARCH

The practical experience of using the project method in STEM education has shown that it allows students to actively investigate a real problem, apply the acquired knowledge in practice, and develop cooperation, communication, and critical thinking skills.

Implementation of the project contributes to the combination of various types of activities, such as cognitive, creative, practical, and research, as well as the development of thinking skills, motivation, and responsibility for one's activities.

The project method in STEM education is an effective tool for developing and improving students' professional competencies and preparing them for modern challenges in the field of science, technology, engineering, and mathematics. Implementing the project method makes it possible to provide high-quality training for specialists in natural sciences who can effectively apply their knowledge and skills in practical situations and contribute to the further development of STEM fields in Ukraine.

We considered an example of a project involving the development of a physiotherapeutic laser device for the treatment of rhinitis. The connection between the development of this project and the teaching methodology is based on several provisions. When creating a physiotherapeutic device, students use the principles of engineering art, and information technology. They create models, conduct simulations and solve practical problems based on scientific principles. It is these principles that are the basis of STEM education, which encourages students to actively research, make, and use the acquired knowledge. The successful development of a physiotherapeutic laser device also requires knowledge of natural sciences and mathematics, which are components of STEM education. The project method involves the application of a complex approach and taking into account the philosophy of various fields of knowledge, which allows for the integration of research, natural, technological, and medical aspects to achieve the set goal.

We believe that the project method creates powerful prerequisites for improving the teaching methods of STEM disciplines. At the same time, the large-scale development of STEM education in Ukraine requires specialists with scientific and pedagogical training who have deep multidisciplinary knowledge. A possible direction of research is the study and analysis of foreign methods of teaching STEM disciplines and the development of a model for the formation of the readiness of Ukrainian pedagogical staff to apply the project method in STEM education. This may include such aspects as the preparation of teachers to use the project method, the development of integrated educational materials and practical tasks, and the creation of a favorable educational environment.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Baran, V. S., Vlasniuk, H. H., Onykienko, Yu. O., & Smolenska, O. I. (2019) *Osnovy mikroprotseornoj tekhniki: laboratorniy praktikum* [Fundamentals of microprocessor technology: laboratory practice]. *Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut imeni Ihoria Sikorskoho» – National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27992/1/OMPT_laboratori.pdf. (in Ukrainian).

2. Barron, B. (2003). When smart groups fail. *The Journal of the learning sciences*, 12(3), 307–359.
3. Baxter, G. D. (1994). *Therapeutic Lasers: Theory and Practice*. Churchill Livingstone.
4. Herliand, T. M. (2017) Stratehiia vykorystannia proektnykh tekhnolohii u profesiinii pidhotovtsi maibutnikh kvalifikovanykh robotnykiv [The strategy of using design technologies in the professional training of future skilled workers]. *Proektni tekhnolohii navchannia u profesiinii pidhotovtsi maibutnikh kvalifikovanykh robotnykiv – Project learning technologies in professional training of future skilled workers*. (Kyiv, 25 zhovt. 2017). 23–25. IPTO NAPN Ukrainy. (in Ukrainian).
5. Honcharova, N. O. (2015). Hlosarii terminiv, shcho vyznachaiut sutnist poniattia STEM [Glossary of terms that define the essence of the concept of STEM]. *Informatsiinyi zbirnyk dlia dyrektora shkoly ta zavidiuchoho dytiachym sadochkom – An information collection for school principals and kindergarten managers*, 17–18 (41), 90–92. (in Ukrainian).
6. Honda, A. R., Nikolenko, Ya. V., & Lyashenko, Yu. O. (2021). Metodichni rekomendatsii do praktykumu z fizychnykh osnov vymiriuvan ta tekhnichnykh zasobiv avtomatyzatsii na bazi ARDUINO ta RASPBERRY [Methodic Guidelines of Physical Measurement and Technical Tools Automation Based on ARDUINO and RASPBERRY PI]. *Visnyk Cherkaskoho universytetu. Seriiia «Fizyko-matematychni nauky» – Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky National University. Seriiia «Fizyko-matematychni nauky»*, 1, 126–141. <http://eprints.cdu.edu.ua/5203>. (in Ukrainian).
7. Iakovenko, N. P., & Samoilenko, V. B. (2018). *Fizioterapiia [Physiotherapy]*. VSV «Medytsyna». (in Ukrainian).
8. Kryvonos, O. M. (2017). Robototekhnika v shkoli [Robotics in School]. *Teoriia i praktyka vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii v navchalnomu protsesi – Theory and practice of using information technologies in the educational process*, (90–91). National Pedagogical Dragomanov University. <https://core.ac.uk/download/pdf/85129061.pdf>. (in Ukrainian).
9. Kushnir, N. O., Valko, N. V., Osipova, N. V., & Kuzmych, L. V. (2017). Vidkryti osvitni resursy dlia orhanizatsii navchannia u konteksti STEM-osvity [Open Educational Resources to Organize Training in the Context of STEM-Education]. *Vidkryte osvितnie e-seredovyshche suchasnoho universytetu – Open Educational e-Environment of Modern University*, 3, 247–255. http://nbuv.gov.ua/UJRN/oeemu_2017_3_41. (in Ukrainian).
10. Morgan, A. (1983). Theoretical aspects of project-based learning in higher education. *British Journal of Educational Technology*, 14(1), 66–78.
11. Ognianyk, V., & Nichyshyna, V. (2018). Metodyka orhanizatsii proektnoi diialnosti maibutnikh uchyteliv matematyky u protsesi vyvchennia temy «Kratni intehraly ta yikh zastosuvannia» [The Methodology of Organizati on Project Work for Training Teachers In Mathematics in the Process of Learning the Topic «Multiple Integrals and the Use of It»]. *Naukovi zapysky molodykh uchenykh – Scientific Notes of Young Scientists*, (2). <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/1532/1551>. (in Ukrainian).
12. Pantyo, V. V., Nikolaychuk, V. I., & Pantyo, V. I. (2009). Vplyv nyzkointensyvnogo lazernoho vyprominiuvannia na biolohichni obiekty (ohliad literatury) [Influence of Low-Intensive Laser Radiation on Biological Objects (Examination of Literature)]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriiia Biolohiia – Sci. Bull. Uzhgorod Univ. Series: Biology*, (26), 99–106. (in Ukrainian).
13. Patrykeeva, O., Vasylyashko, I., Lozova, O., & Gorbenko, S. (2017). Uprovadzhennia STEM-osvity u zahalnoosvitnikh ta pozashkilnykh navchalnykh zakladakh: metodichniy aspekt [Implementation of STEM-education in general and extramural educational institutions: methodical aspect]. *Ridna shkola – Native school*, 9–10, 90–95. http://nbuv.gov.ua/UJRN/rsh_2017_9-10_18. (in Ukrainian).
14. Salnyk, I. V., Somenko, D. V., & Siryk, E. P. (2023). Vykorystannia platformy Arduino u pidhotovtsi vchyteliv fizyky do STEM oriientovanoho navchannia [Using the Arduino Platform in the Preparation of Physics Teachers for STEM-oriented Education]. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia – Information Technologies and Learning Tools*, 95(3), 124–142. (in Ukrainian).
15. Sokrut, V. M., & Kazakov, V. M. (Eds.). (2008). *Fizychni chynnyky v medychnii reabilitatsii [Physical factors in medical rehabilitation]*. Donetsk National Medical University. (in Ukrainian).
16. Stryzhak, O. Ye., Slipukhina, I. A., Polikhun, N. I., & Chernetkiy, I. S. (2017). STEM-osvita: osnovni definitsii [STEM-Education: Main Definitions]. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia – Information Technologies and Learning Tools*, 62(6), 16–33. (in Ukrainian).
17. Tuner, J., & Hode, L. (2002). *Laser Therapy Clinical Practice & Scientific Background*. Prima Books.
18. Wieneke, S., & Gerhard, Ch. (2018) *Lasers in Medical Diagnosis and Therapy: Basics, applications and future prospects*. Institute of Physics Publishing. <https://iopscience.iop.org/book/mono/978-0-7503-1275-2.pdf>.
19. Zavadzka, T. S., Boiko, I. I., & Boiko, A. G. (2021). Fotodynamichna terapiia v onkologii [Photodynamic Therapy in Oncology]. *Onkologhiia – Oncology*, 23(1–2), 53–56. (in Ukrainian).
20. Zorenko, I. S., & Shcherbyna, I. Yu. (2010). Vykorystannia proektnoho metodu pid chas vyvchennia uchniamy anhliiskoi movy [The use of the project method during students' learning of the English language]. *Aktualni problemy navchannia ta vykhovannia liudei z osoblyvymy potrebamy – Actual problems of education and upbringing of people with special needs*, 7(9), 289–299. (in Ukrainian).



Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
Has been issued since 2013.

Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
Видается з 2013.



p-ISSN 2413-1571
e-ISSN 2413-158X

DOI: 10.31110/2413-1571
<https://fmo-journal.org/>

DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-4-004

УДК 512.7

ФОРМУЛА-ТРИЙЦЯ ЯК РЕЗУЛЬТАТ ЕМОЦІЙНОГО ПОШУКУ НОВИХ ФОРМУЛ ГЕОМЕТРІЇ

Людмила ГЕТМАНЕНКО ✉

Київський університет імені Бориса Грінченка, Україна
l.hetmanenko@kubg.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0006-9601-3288>

THE TRINITY FORMULA AS A RESULT OF EMOTIONAL SEARCH FOR NEW GEOMETRY FORMULAS

Lyudmyla HETMANENKO ✉

Borys Grinchenko Kyiv University, Ukraine
l.hetmanenko@kubg.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0006-9601-3288>

АНОТАЦІЯ

У статті автор розглядає важливість вивчення елементів формульної геометрії в процесі математичної освіти та пропонує оригінальні методи розв'язування класичних та авторських задач, що побудовані на нових, не відомих до цього часу залежностях; знайомить з авторською формулою-трицею.

Формулювання проблеми. У сучасному шкільному курсі геометрії для середньої та старшої школи фактично відсутні відомості про елементи формульної геометрії. Хибним уявленням деяких математиків, які не мали досвіду викладання, була теза, що в класичній геометрії кількість формул має бути мінімальною, а елементарні тригонометричні функції повністю відкидалися. Аналіз сучасних досліджень та особистий досвід роботи переконливо доводять недостовірність такої позиції.

Матеріали і методи. Проведено системний аналіз наукових джерел щодо наявної інформації стосовно теоретичних понять та практичних можливостей застосування формульної геометрії. У ході підготовки статті були використані такі методи та засоби дослідження: порівняльний аналіз теоретичних положень, розкритих у науковій та навчально-методичній літературі; математичний аналіз та математична логіка; спостереження за навчально-виховним процесом учнів закладів загальної середньої освіти.

Результати. У результаті дослідження було систематизовано підхід до способів розв'язування геометричних задач за допомогою формул. Розкрито особливості застосування формульного методу до розв'язування великої кількості класичних та авторських геометричних задач різного ступеню складності. Основні результати дослідження отримані з використанням методів формульної геометрії. Результати роботи були апробовані у Науковій школі Кушніра І.А. «Краща авторська задача з геометрії», у Київському університеті імені Бориса Грінченка, а також пропонуються учням при підготовці до олімпіад з математики.

Висновки. Розв'язування геометричних задач формульним способом суттєво зменшує розмір доведення. Використання формул, властивостей геометричних фігур та алгоритмів допомагає сконцентруватися на основних ідеях задачі та виконати розрахунки швидше та ефективніше. Розв'язування геометричних задач формульним способом має також важливу емоційну складову для школярів, що вивчають математику. Цей підхід сприяє створенню почуття впевненості у власних знаннях. Рациональне використання формул та алгоритмів у розв'язанні геометричних задач спонукає учнів до логічного мислення та розуміння зв'язків між різними геометричними об'єктами. Крім того, успішне розв'язування задач стимулює позитивні емоції, такі як радість від досягнення результату і задоволення від власної компетентності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: формульна геометрія; формула-триця; рівновеликість; геометричні олімпіадні задачі; алгебра в геометрії.

ABSTRACT

This article explores the importance of studying elements of formulaic geometry in the process of mathematical education and proposes original methods for solving classical and authorial problems based on new, previously unknown dependencies. The author introduces the author's triple formula.

Formulation of the problem. The modern school curriculum for middle and high school geometry lacks information about elements of formulaic geometry. Some mathematicians, who lacked teaching experience, mistakenly believed that the number of formulas in classical geometry should be minimal, and elementary trigonometric functions were completely discarded. Analysis of current research and personal experience convincingly prove the unreliability of such a position.

Materials and methods. A systematic analysis of scientific sources regarding the available information on theoretical concepts and practical applications of formulaic geometry was conducted. The following research methods and tools were used in preparing the article: comparative analysis of theoretical positions disclosed in scientific and educational literature, mathematical analysis and mathematical logic, observations of the educational process of general secondary education students.

Results. The research resulted in the systematization of approaches to solving geometric problems using formulas. The peculiarities of applying the formulaic method to solve a large number of classical and authorial geometric problems of varying complexity were revealed. The main research results were obtained using the methods of formulaic geometry. The findings were tested in the scientific school of I.A. Kushnir's "Best Authorial Problem in Geometry" at Borys Grinchenko Kyiv University and are also recommended to students preparing for mathematics Olympiads.

Conclusions. Solving geometric problems using the formulaic approach significantly reduces the size of the proof. The use of formulas, properties of geometric figures, and algorithms helps focus on the main ideas of the problem and perform calculations faster and more efficiently. Solving geometric problems using the formulaic approach also has an important emotional component for students studying mathematics. This approach contributes to building confidence in their knowledge. Rational use of formulas and algorithms in solving geometric problems encourages students' logical thinking and understanding of the connections between different geometric objects. Additionally, successful problem solving stimulates positive emotions such as joy in achieving results and satisfaction from one's own competence.

KEYWORDS: formulaic geometry; trinity formula; equisize; geometric Olympiad problems; algebra in geometry.

ВСТУП

Постановка проблеми. Увага до рівня математичної освіти серед школярів стає все актуальнішою в наші дні. Не лише педагогічна спільнота регулярно піднімає питання про зниження якості навчання математики в школах. Як вчитель з багаторічним стажем, я пропоную деякі кроки для розв'язання цієї проблеми та покращення рівня математичної підготовки учнів.

Для цитування:

Гетманенко Л. Формула-триця як результат емоційного пошуку нових формул геометрії. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 4. С. 31-35. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-4-004

Гетманенко, Л. (2023). Формула-триця як результат емоційного пошуку нових формул геометрії. *Фізико-математична освіта*, 38(4), 31-35. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-004>

For citation:

Hetmanenko, L. (2023). The trinity formula as a result of emotional search for new geometry formulas. *Physical and Mathematical Education*, 38(4), 31-35. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-004>

Hetmanenko, L. (2023). Formula-tritsia yak rezultat emotsiynoho poshuku novykh formul heometrii [The trinity formula as a result of emotional search for new geometry formulas]. *Fiziko-matematichna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(4), 31-35. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-004>

✉ Corresponding author

© L. Hetmanenko, 2023

Одним із найважливіших аспектів, який слід враховувати, є увага до учнів, які мають бажання навчатися математики. Важливо не обмежуватися тільки олімпіадними "бійцями", оскільки їх кількість невелика, але також виявляти інтерес до тих учнів, які отримують наукове задоволення від вивчення математики. З цієї точки зору, особливо варто звернути увагу на геометрію, оскільки вона володіє унікальним поєднанням доступності та емоційності. Проте, навіть вчителі, які плідно та із задоволенням навчають геометрії, припускаються багаторічної помилки – нехтуванням методом застосування алгебри у геометрії, а саме – формульною геометрією. Більшість вчителів оминають цей спосіб розв'язувань навіть при роботі із сильними учнями та з матеріалом, де застосування формульного способу розв'язування геометричних задач є природним.

У даній роботі пропонується концепція формування понять формульної геометрії серед учнів загальної середньої освіти шляхом застосування авторської формули-трійці. Цей підхід рекомендується використовувати на уроках геометрії, під час підготовки до олімпіад і в позакласній роботі з математики.

Аналіз актуальних досліджень. Хибним уявленням деяких математиків, які не мали досвіду викладання, була теза, що в класичній геометрії кількість формул має бути мінімальною, а елементарні тригонометричні функції повністю відкидалися. Аналіз сучасних досліджень та особистий досвід роботи переконливо доводять недостовірність такої позиції.

Одним з перших математиків, хто виділив поняття, які дали поштовх для розвитку формульної геометрії, був Фурсенко В. Б. У 1937 році в журналі "Математика в школі" №5 та №6 була опублікована його знакова стаття про побудову трикутника за трьома елементами. У цій статті автор розташував усі задачі на побудову трикутника в лексикографічному порядку, вирішив усі задачі, які мають розв'язок та перерахував усі задачі, які не мають розв'язку, наводячи в усіх випадках умови, при яких розв'язок поставленої задачі можливий, при цьому понад 70% задач вперше були представлені на розгляд читача.

Математиками Готман Е.Г та Скопец З.А. (1979) був виданий збірник з докладними вказівками та коментарями, де були представлені геометричні задачі, розв'язання яких базується на застосуванні аналітичних методів. Запропоновані авторами задачі демонстрували єдність геометрії, алгебри і математичного аналізу.

У педагогічній практиці відомі ще задачі на відновлення трикутника за трьома заданими точками. У 1982 році Вільям Верник у своїй статті "Triangle Constructions with Three Located Points (Побудова трикутників за трьома заданими точками)" так само, як і В. Б. Фурсенко в 1937 році, склав лексикографічний список задач на відновлення трикутника. Ось вибрані ним найпопулярніші точки геометрії трикутника:

- A, B, C, O — вершини трикутника та центр описаного кола;
- M_a, M_b, M_c, G — середини сторін трикутника та центр мас;
- H_a, H_b, H_c, H — основи висот трикутника та ортоцентр;
- T_a, T_b, T_c, I — основи бісектрис трикутника та центр вписаного кола.

Після цього він склав список, який називається список Верника, в якому з 139 принципово відмінних задач лексикографічного списку мають розв'язок трохи більше половини — 72 задачі. Задачі зі списку Верника до сих пір знаходять свої розв'язки.

Український математик-методист Бевз Г. П. (2009) звів у систему найвідоміші й найважливіші факти із сучасної геометрії трикутника і виклав їх доступно навіть для учнів закладів загальної середньої освіти.

Винахідником формульної геометрії в тому вигляді, як вона існує зараз, є видатний український педагог-новатор Кушнір І.А. Новому розділу геометрії науковець присвятив декілька збірників (1991, 1994, 2003) та запропонував до розгляду геометричні формули, що не ввійшли до шкільних підручників (2002). Автору також вдалося знайти інші рішення деяких завдань зі списку Верника і продовжити цей список списком Кушніра (2019).

Метою статті є знайомство читачів з авторською формулою-трійцею та демонстрація особливостей застосування формульного методу до розв'язування великої кількості класичних та авторських геометричних задач.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У ході підготовки статті були використані такі методи та засоби дослідження: порівняльний аналіз теоретичних положень, розкритих у науковій та навчально-методичній літературі; математичний аналіз та математична логіка; спостереження за навчально-виховним процесом здобувачів загальної середньої освіти. Проведено системний аналіз наукових джерел щодо наявної інформації стосовно теоретичних понять та практичних можливостей застосування формульної геометрії.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У роботі наведено конкретні приклади використання формульної геометрії на уроках у середній та старшій школі. Проілюстровано конкретні задачі з геометрії, в процесі розв'язку яких ці методи та формули можна успішно використовувати. На відміну від методів, які рекомендують підручники, пропонуються нові оригінальні розв'язки, які до цього часу не публікувалися. Рекомендованими методами можна розв'язувати задачі різного рівня.

Ті, хто цікавиться геометрією, знайомі з точкою W_i ($i = 1, 2, 3$) – серединою дуги кола, описаного навколо трикутника ABC (рис. 1).

Домовимося про позначення:

- O – центр описаного кола,
- R – радіус описаного кола,
- I – центр вписаного кола,
- r – радіус вписаного кола,
- l_a – бісектриса кута BAC ($l_a = AL_1$)

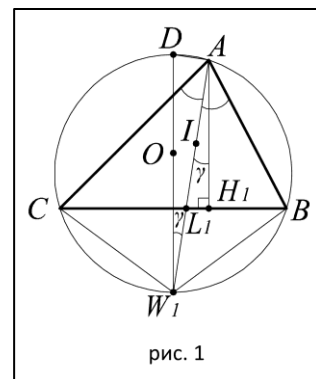


рис. 1

AH_1 – висота h_a трикутника ABC
 a, b, c – сторони BC, AC, AB

Звертаємо увагу на «формульне коло», за допомогою якого буде одержано декілька теорем і нових формул.

Сформулюємо і доведемо першу частину формули-трійці:

$$bc = AW_1 l_a$$

(1)

Застосуємо формулу Брахмагупти $bc = 2R \cdot h_a$ (у школі вона доводилася ще у збірнику задач Рибкіна (1956))

Позначимо $\angle L_1 A H_1$ як γ .

Маємо: $bc = 2R \cdot h_a \frac{\cos \gamma}{\cos \gamma}$ або $bc = 2R \cdot \cos \gamma \cdot \frac{h_a}{\cos \gamma} = AW_1 \cdot l_a$ (трикутника ADW_1 і $AL_1 H_1$).

З самої формули можна вивести, так звану, формулу Лагранжа: $l_a^2 = bc - b_1 c_1$ ($c_1 = BL_1$, $b_1 = CL_1$).

Доведення. Маємо: $bc = AW_1 l_a = (l_a + L_1 W_1) l_a = l_a^2 + l_a L_1 W_1$ або

$l_a^2 = bc - b_1 c_1$, бо $b_1 c_1 = L_1 W_1 \cdot l_a$ (як добуток відрізків хорд).

Доведемо другу частину формули-трійці:

$$bc = AI \cdot AI_a$$

(2)

де I_a – центр зовнішнього кола (рис. 2)

Оскільки $l_a = AW_1 - L_1 W_1$,

то $bc = AW_1 \cdot l_a = AW_1 \cdot (AW_1 - L_1 W_1) = (AW_1)^2 - AW_1 \cdot L_1 W_1$.

З подібності трикутників $AW_1 C$ і $CW_1 L_1$ випливає, що

$AW_1 \cdot L_1 W_1 = (CW_1)^2 = (IW_1)^2$ (теорема-тризуб).

Отже, $bc = AW_1^2 - IW_1^2 = (AW_1 - IW_1) \cdot (AW_1 + IW_1) = AI \cdot AI_a$.

Отже, формула-трійця має вигляд

$$bc = AW_1 \cdot l_a = AI \cdot AI_a$$

або

$$S = \frac{1}{2} AW_1 l_a \sin A = \frac{1}{2} AI \cdot AI_a \sin A$$

(*)

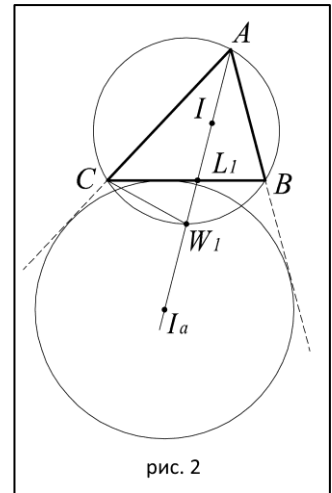


рис. 2

Задача 1. Довести, що $S = r \cdot p$ (S – площа трикутника ABC, p – півпериметр трикутника ABC).

Доведення. Маємо: $bc = AI \cdot AI_a$, $\frac{1}{2} bc \cdot \sin \angle A = \frac{1}{2} AI \cdot AI_a \cdot \sin \angle A$;

$\frac{1}{2} bc \cdot \sin \angle A = AI \cdot AI_a \cdot \sin \frac{\angle A}{2} \cdot \cos \frac{\angle A}{2}$.

Оскільки $AI_a \cdot \cos \frac{\angle A}{2} = p$, $AI \cdot \sin \frac{\angle A}{2} = r$, то $S = r \cdot p$.

Задача 2. Довести, що $S = r_a(p - a)$.

Доведення. Доведення аналогічне задачі 1, враховуючи, що $AI_a \cdot \sin \frac{\angle A}{2} = r_a$; $AI \cdot \cos \frac{\angle A}{2} = p - a$.

Задача 3. Довести, що $S = \frac{abc}{4R}$.

Доведення. Маємо: $abc = a \cdot AI \cdot AI_a = 2R(\sin A \cdot bc) = 2R \cdot 2S = 4SR$, звідки $S = \frac{abc}{4R}$.

Задача 4. Довести, що $S = \frac{1}{2} U_1 U_2 l_a$ (U_1 і U_2 – проекції точки W_1 на сторони AC і AB).

Доведення. Будемо змінювати положення множників у формулі (*)

$$S = \frac{1}{2} AW_1 \cdot \sin A \cdot l_a$$

Розглянемо множник $AW_1 \cdot \sin A$.

Навколо чотирикутника $AU_1 W_1 U_2$ опишемо коло (рис. 3).

Тоді, $AW_1 \cdot \sin A = U_1 U_2$, отже отримаємо нову, двокомпонентну формулу площі S .

$$S = \frac{1}{2} U_1 U_2 \cdot l_a$$

Формула викликає бажання довести рівновеликість чотирикутника $AU_1 W_1 U_2$ і трикутника ABC. Дійсно, у чотирикутника $AU_1 W_1 U_2$ і трикутника ABC спільна частина – чотирикутник $ABL_1 U_1$ (рис. 4).

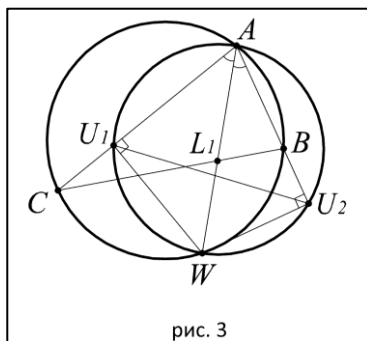


рис. 3

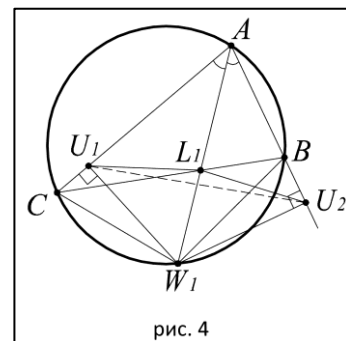


рис. 4

Висоти, що проведені з точки W_1 на прямі AB і AC, рівні.

Залишається довести, що $U_2 B = U_1 C$.

Але, трикутники $W_1 B U_2$ і $W_1 C U_1$ рівні, оскільки, $W_1 B = W_1 C$ і $W_1 U_1 = W_1 U_2$.

Отже, $U_2B = U_1C$ і трикутники L_1BU_2 і L_1U_1C – рівновеликі, що доводить твердження задачі.

Покажемо, як застосування формули-трійці породжує нову авторську задачу.

Задача 5.1. Довести формулу $S = \frac{1}{2} K_2 K_3 AI_a$ (K_2 і K_3 – точки дотику вписаного у трикутник кола до сторін AC і AB).

Доведення. Навколо чотирикутника AK_2IK_3 опишемо коло (рис. 5).

Маємо: $K_2K_3 = AI \cdot \sin A$.

Користуємося формулою-трійцею $bc = AI \cdot AI_a$.

Тому, $\frac{1}{2} bc \cdot \sin A = \frac{1}{2} AI \cdot AI_a \sin A$;

$S = \frac{1}{2} AI \sin A \cdot AI_a$ або $S = \frac{1}{2} K_2 K_3 AI_a$.

Задача 5.2. Довести рівновеликість трикутника ABC і чотирикутника $AK_2I_aK_3$.

Доведення. Оскільки у трикутника ABC і чотирикутника $AK_2I_aK_3$ п'ятикутник $AK_2F_1F_2K_3$ – спільний (рис. 6), то доведемо, що $S_{CK_2F_1} + S_{BK_3F_2} = S_{F_1F_2I_a}$.

Обґрунтування: $\triangle CK_2K_1$ – рівнобедрений, кути при основі $\angle CK_2K_1 = \angle CK_1K_2 = 90^\circ - \frac{\angle C}{2}$.

Точка K_1 – точка дотику вписаного кола зі стороною BC .

CI_a – зовнішня бісектриса кута C , тому $\angle F_1CI_a = 90^\circ - \frac{\angle C}{2}$.

Оскільки $\angle CK_2K_3 = 90^\circ - \frac{\angle C}{2} = \angle I_aCK_1$, то $K_2K_1 \parallel I_aC$ і чотирикутник $K_2K_1I_aC$ – трапеція, отже $S_{CK_2F_1} = S_{F_1K_1I_a}$.

Аналогічно доводиться рівновеликість трикутників BK_3F_2 та $K_1F_2I_a$ з трапеції $K_1K_3I_aB$.

Отже, $S_{CK_2F_1} + S_{BK_3F_2} = S_{F_1F_2I_a}$.

Доведено.

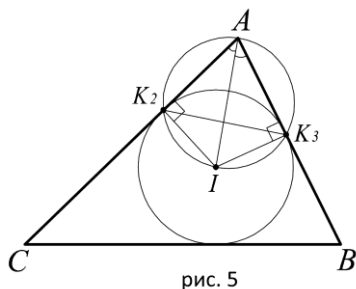


рис. 5

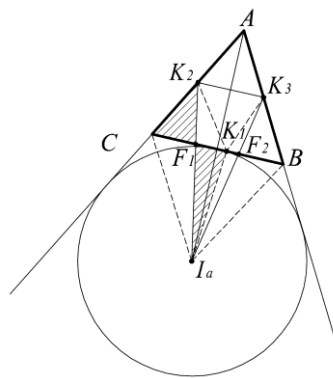


рис. 6

Задача 6. Довести формулу $S = \frac{1}{2} T_2 T_3 \cdot AI_a$ (T_2 , T_3 – точки дотику зовнівписаного кола з продовженням сторін AC і AB трикутника ABC).

Доведення ідентичне задачі 5.

Наскільки сильно використання формульного методу спрощує і скорочує розв'язування задач, можна зрозуміти на прикладі запропонованої нижче олімпіадної задачі. Дану задачу можна дуже швидко розв'язати за допомогою формули-трійці, спробуйте.

Задача І. А. Кушніра (XVIII Міжнародна Олімпіада, Куба, 1987 рік). Продовження бісектриси AL_1 трикутника ABC перетинає описане коло у точці W_1 . З точки L_1 на сторони AB і AC відповідно опущено перпендикуляри L_1N і L_1M . Довести, що площа чотирикутника ANW_1M дорівнює площі трикутника ABC .

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Розв'язування геометричних задач формульним способом має важливу емоційну складову для школярів, що вивчають математику. Цей підхід сприяє створенню почуття впевненості у власних знаннях та навичках учнів. Раціональне використання формул та алгоритмів у розв'язуванні геометричних задач спонукає учнів до логічного мислення та розуміння зв'язків між різними геометричними об'єктами. Крім того, успішне розв'язування задач стимулює позитивні емоції, такі як радість від досягнення результату і задоволення від власної компетентності. Такий підхід до вивчення геометрії не лише сприяє розвитку математичних навичок, але й виховує самодисципліну, систематичність та впевненість у власних здібностях учнів.

Розв'язування геометричних задач формульним способом також суттєво зменшує розмір доведення. Використання формул, властивостей геометричних фігур та алгоритмів допомагає учням сконцентруватись на основних ідеях задачі та виконати розрахунки швидше та ефективніше. Зосереджений та точний підхід до вирішення задач з використанням формул, дозволяє учням уникнути непотрібного повторення розрахунків та деталей, що займають багато часу і тим самим значно зменшити обсяг розв'язку. Таким чином, формульний підхід збільшує ефективність та точність розв'язання геометричних задач, одночасно зменшуючи розмір доведення.

Подальші дослідження та розробка нових прийомів та формул мають на меті підвищити якість математичної освіти та забезпечити учням навички, необхідні для успішної подальшої навчання та професійного розвитку. Відповідний матеріал може бути предметом учнівських досліджень та творчих робіт з геометрії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бевз Г. П. (2009) *Геометрія трикутника і тетраедра*. Вежа.
2. Готман Э.Г. & Скопец З.А. (1979) *Решение геометрических задач аналитическим методом: Пособие для учащихся 9 и 10 классов*. Просвещение.
3. Кушнір І. А. (1991) *Трикутник і тетраедр у задачах*. Радянська школа.
4. Кушнір І. А. (1994) *Методи розв'язання задач з геометрії*. Абрис.
5. Кушнір І. А. (2002) *Геометричні формули, що не ввійшли до шкільних підручників*. Факт.
6. Кушнір І. А. (2003) *Задачі з однією підказкою*. Факт.
7. Кушнір І. А. (2020) *Позиційні задачі. Список Верника. Список Кушніра*. Основа.
8. Рыбкин Н. А. (1956) *Сборник задач по геометрии, часть I. Планиметрия. Для 6-9 классов семилетней и средней школы*. Учпедгиз.
9. Фурсенко В. Б. (1937). Лексикографическое изложение конструктивных задач геометрии треугольника. *Математика в школе*. (5-6), 4-45.
10. Wernick W. (1982). Triangle Constructions with Three Located Points. *Mathematics Magazine*. 55(4), 227-230. <https://doi.org/10.1080/0025570X.1985.11976988>

REFERENCES

1. Bevez, H. P. (2009) *Heometriia trykutnyka i tetraedra [Geometry of the Triangle and Tetrahedron]*. Vezha [in Ukrainian].
2. Gotman, Je.G. & Skopec, Z.A. (1979) *Reshenie geometricheskikh zadach analiticheskim metodom: Posobie dlja uchashhihsja 9 i 10 klassov [Solving Geometric Problems Using the Analytical Method: Guidebook for 9th and 10th Grade Students]*. Prosveshhenie [in Russian].
3. Kushnir, I. A. (1991) *Trykutnyk i tetraedr u zadachakh [Triangle and Tetrahedron in Problem Solving]*. Radianska shkola [in Ukrainian].
4. Kushnir, I. A. (1994) *Metody rozv'iazannia zadach z heometrii [Methods for Solving Geometry Problems]*. Abrys [in Ukrainian].
5. Kushnir, I. A. (2002) *Heometrychni formuly, shcho ne vviishly do shkilnykh pidruchnykiv [Geometric Formulas Not Included in School Textbooks]*. Fakt [in Ukrainian].
6. Kushnir, I. A. (2003) *Zadachi z odnieiu pidkazkoiu [Problems with a Single Hint]*. Fakt [in Ukrainian].
7. Kushnir, I. A. (2020) *Pozytsiini zadachi. Spysok Vernyka. Spysok Kushnira [Positional Problems. Vernik's List. Kushnir's List]*. Osnova [in Ukrainian].
8. Rybkin N. A. (1956) *Sbornik zadach po geometrii, chast' I. Planimetrija. Dlja 6-9 klassov semiletnej i srednej shkoly*. Uchpedgiz.
9. Fursenko V. B. (1937). Leksikograficheskoe izlozhenie konstruktivnykh zadach geometrii treugol'nika [Lexicographic Representation of Constructive Problems in Triangle Geometry]. *Matematika v shkole*. (5-6), 4-45 [in Russian].
10. Wernick W. (1982). Triangle Constructions with Three Located Points. *Mathematics Magazine*. 55(4), 227-230. <https://doi.org/10.1080/0025570X.1985.11976988>



Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
 Has been issued since 2013.
 Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
 Видається з 2013.



p-ISSN 2413-1571
 e-ISSN 2413-158X

DOI: 10.31110/2413-1571
<https://fmo-journal.org/>

DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-4-005

УДК 537.6

ВИМІРЮВАННЯ МАГНІТНОЇ СПРИЙНЯТЛИВОСТІ РЕЧОВИН В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Валерій ЗДЕЩИЦ

Криворізький державний педагогічний університет, Україна
valeriy.zdeschits@kdpu.edu.ua
<http://orcid.org/0000-0002-2404-8979>

Анастасія ЗДЕЩИЦ ✉

Науково-дослідний гірничорудний інститут КНУ, Україна
a.v.zdeschychts@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0001-5092-6918>

MEASUREMENT OF MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF SUBSTANCES IN THE CONDITIONS OF DISTANCE EDUCATION

Valeriy ZDESCHYTS

Kyryvi Rih State Pedagogical University, Ukraine
valeriy.zdeschits@kdpu.edu.ua
<http://orcid.org/0000-0002-2404-8979>

Anastasiia ZDESCHYTS ✉

Mining Research Institute of KNU, Ukraine
a.v.zdeschychts@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0001-5092-6918>

АНОТАЦІЯ

Розроблена методика та дослідна установка для проведення лабораторної роботи з фізики, яка використовує електронні терези для визначення функціональної залежності сили взаємодії між двома постійними магнітами, між магнітом і ферромагнетиком від відстані між ними, а також магнітної сприйнятливості пара-, діа- та ферромагнетиків.

Формулювання проблеми. Обчислити величину магнітної індукції постійного магніта на деякій відстані, використовуючи закон Біо-Савара-Лапласа, є дуже складним завданням для студентів вступних курсів. Як показали опитування, студенти майже одностайно вважають, що сила взаємодії між двома магнітами оберненоквадратично залежить від відстані між ними. Тому тільки експеримент дає змогу студентам-початківцям дати відповідь на це питання. Проблемою для студентів ве також спроба класифікувати матеріали за ознакою магнітна-немагнітна. Експериментальне вимірювання магнітної сприйнятливості речовин дозволить студентам зробити правильний висновок, що всі матеріали намагнічуються.

Матеріали і методи. Авторами була розроблена вимірвальна схема та дослідницька установка, яка передбачала можливість її відтворення студентами під час дистанційного навчання. За допомогою електронних вагів та неодимових магнітів визначалися діа- та парамагнітні властивості різних речовин, які зустрічаються в повсякденному середовищі учнів.

Результати. Основним результатом роботи є розробка методології доведення до студентів того факту, що закони, за допомогою яких описуються магнітні поля постійних магнітів, не є "оберненоквадратичними".

Висновки. Експериментально підтверджена обернено кубічна залежність магнітної індукції від відстані; сила взаємодії між двома постійними магнітами пропорційна r^{-4} , між магнітом і ферромагнетиком $-r^{-7}$. Визначено магнітна сприйнятливості ферромагнетика (залізо) $\chi_V = 7$, парамагнетика (алюміній) $\chi_V = 13 \cdot 10^{-6}$, діаманетика (вода) $\chi_V = -4,4 \cdot 10^{-6}$.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: магнітна сприйнятливості; пара, діа- та ферромагнетик; сила взаємодії; дистанційне навчання.

ABSTRACT

A technique and experimental setup was developed for conducting laboratory work in physics, which uses electronic scales to determine the functional dependence of the force of interaction between two permanent magnets, between a magnet and a ferromagnet depending on the distance between them, as well as the magnetic susceptibility of para-, dia- and ferromagnets.

Formulation of the problem. Calculating the magnitude of the magnetic induction of a permanent magnet at some distance using the Biot-Savart-Laplace law is a very difficult task for students of introductory courses. As polls have shown, students almost unanimously believe that the force of interaction between two magnets depends inversely quadratic on the distance between them. Therefore, only the experiment allows novice students to answer this question. Attempting to classify materials according to the magnetic-non-magnetic feature is also a problem for students. Experimental measurement of the magnetic susceptibility of substances will allow students to correctly conclude that all materials are magnetized.

Materials and methods. The authors developed a measurement scheme and a research setup, which provided for the possibility of its reproduction by students during distance learning. With the help of electronic scales and neodymium magnets, the dia- and paramagnetic properties of various substances found in the students' everyday environment were determined.

Results. The main result of the work is the development of a methodology to demonstrate to students the fact that the laws used to describe the magnetic fields of permanent magnets are not "inverse quadratic".

Conclusions. The inverse cubic dependence of magnetic induction on distance was experimentally confirmed; the force of interaction between two permanent magnets is proportional to r^{-4} , between a magnet and a ferromagnet $-r^{-7}$. The magnetic susceptibility of ferromagnet (iron) $\chi_V = 7$, paramagnet (aluminum) $\chi_V = 13 \cdot 10^{-6}$, diamagnet (water) $\chi_V = -4,4 \cdot 10^{-6}$ was determined.

KEYWORDS: magnetic susceptibility; paramagnets, diamagnets and ferromagnets; force of interaction; distance Learning.

ВСТУП

Постановка проблеми. Постійні магніти все ширше застосовуються у нашому повсякденному житті та багатьох пристроях. Перший досвід студентів з магнетизмом відбувається саме через постійні магніти. Термін "магнітні речовини" асоціюється у студентів виключно з ферромагнетиками. Між тим переважна більшість елементів таблиці Менделєєва не є ферромагнітними, а відносяться до діаманетиків або парамагнетиків. Поділ студентами-фізиками речовин на магнітні і немагнітні є проблемою. Всі тіла намагнічуються. Побачити це на власні очі можна помістивши "немагнітні речовини" в

Для цитування:

Здещиц В., Здещиц А. Вимірювання магнітної сприйнятливості речовин в умовах дистанційного навчання. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 4. С. 36-41. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-4-005
 Здещиц В., Здещиц А. (2023). Вимірювання магнітної сприйнятливості речовин в умовах дистанційного навчання. *Фізико-математична освіта*, 38(4), 36-41. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-005>

For citation:

Zdeschychts, V., & Zdeschychts, A. (2023). Measurement of magnetic susceptibility of substances in the conditions of distance education. *Physical and Mathematical Education*, 38(4), 36-41. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-005>
 Zdeschychts, V., & Zdeschychts, A. (2023). Vymiryuvannya mahnitnoi spryyniatlyvosti rechovyv v umovakh dystantsiinoho navchannia [Measurement of magnetic susceptibility of substances in the conditions of distance education]. *Fyzyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(4), 36-41. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-005>

сильне магнітне поле. Тому в цій роботі ми розв'зуємо проблему переобтяження теми магнетизма явищем феромагнетизму, пропонуючи методику і установку (яку може створити кожен студент при дистанційному навчанні) для вимірювання магнітної сприйнятливості пара-, діа- та феромагнетиків.

Інша проблема, яка розглядається у цій статті пов'язана з тим, що студенти, які вивчають електрику та магнетизм, не отримують відповіді на питання: як обчислити величину магнітної індукції B постійного магніта на деякій відстані. Виробником неодимових магнітів, як характеристика, заявляється не значення B на "полюсі", а величина сили зчеплення. Студенти стикаються з магнітною силою, коли їм пояснюють її дію на рухомі заряди: або у формі сили Лоренца F_L , що діє на одиничний заряд q , який рухається зі швидкістю u , або сили Ампера dF , що діє на дротяний елемент dl , по якому тече струм I . При цьому студент не має уявлення, що є джерелом поля магнітної індукції B постійного магніту. З пояснення: "Магнітні властивості речовин пояснюються тим, що у масштабах атомів електрони і нуклони мають два типи струмів: орбітальні, пов'язані з переміщенням у просторі центрів ваги цих частинок, і спінові, пов'язані з внутрішніми ступенями вільності їхнього руху" (Кучерук та ін., 2001) зрозуміти студентові сутність B неможливо. Закон Біо-Савара-Лапласа дає змогу складно, але розрахувати індукцію магнітних полів струмів. Індукцію магнітних полів постійних магнітів за його допомогою не розраховують, принаймні на практиці. Студентів вміло направляють у вивчення магнетизму, яке ретельно виключає постійні магніти (Saslow, 2022). Тому в цій роботі ми наводимо методику експериментального визначення величини магнітної індукції B з функціональної залежності сили притягання постійних магнітів, яка сама по собі є цікавою.

Аналіз актуальних досліджень. Робота, яка містить відсутній посібник, необхідний для розуміння постійних магнітів, наведена в журналі *The Physics Teacher* (Saslow, 2022). В статті надається історія вилучення поняття полюс магніту з курсів викладання фізики магнетизму. До 1950-х років магнетизм магнітів був частиною всієї освіти фізиків; постійні магніти розглядалися як магнітні полюси, але із застереженням, що справжні магнітні полюси не спостерігалися. Майже дев'яносто років тому, задовго до того, як з'явилися переконливі експериментальні докази проти магнітних полюсів, на сторінках *The American Journal of Physics* (Warburton, 1934; Webster, 1934) був зроблений скоординований напад з метою виключення магнітних полюсів з навчальної програми фізики. Незважаючи на корисність полюсного підходу, атака була успішною, і полюси були здебільшого виключені з освітнього процесу, за винятком практиків магнетизму. З цієї історії можна зробити такий висновок: неврахування магнетизму магнітних полюсів (зі всіма застереженнями) позбавляє сучасних фізиків і всіх студентів-початківців простого й корисного підходу. Використовуючи аналогію «електричний заряд – магнітний полюс» і перетворення петлі струму в магніт серед іншого легко визначається величина сили підйому магніту, дається відповідь на питання: чому магніти створюють набагато більші магнітні поля, ніж електромагніти без магнітного сердечника і т.і. Полюсний підхід має перевагу над традиційним підходом у тому, що він є математично простішим і, отже, більш придатним для початкового курсу — він ґрунтується на аналогії з електростатикою, не вводячи складну математику векторних добутків.

Саме з огляду на вищезазначену концепцію у роботі (Gayetsky, Caylor; 2007), визначається як сила притягання між двома магнітними диполями залежить від відстані між ними. Розглядається випадок, коли обидва диполі є постійними магнітами, і випадок, коли один із диполів індукований полем іншого (постійного) диполя. Автори звертають увагу на те, що через поширеність знань серед школярів щодо обернено-квадратичних сил (гравітаційних, пружних, електростатичних) не дивно, що у студентів часто формуються неправильні припущення щодо залежності сили взаємодії двох магнітів від відстані між ними. Дивно, але автори робіт (Lufburrow, 1963; Romer, 1973; Defrancesco & Zanetti, 1983) також інтерпретували свої результати досліджень у термінах оберненого квадрата.

Під час виконання лабораторної роботи, пропонованої авторами статті (Gayetsky & Caylor, 2007), величину сили притягання двох магнітів вимірювали за допомогою досить громіздких терезів зі світловим променем, метричною паличкою і т.і. У експериментах з вимірювання сили притягання між двома магнітами доведено, що залежність F від відстані є відмінною від «обернено квадратичної» поведінки, втім, як і для сили взаємодії з ненамагніченим феромагнітним об'єктом. Крім того показано, як з експериментальних даних можна отримати значення дипольного моменту постійного магніту, ефективне значення магнітної сприйнятливості феромагнітного матеріалу.

Експериментальне визначення магнітної сприйнятливості діа- та парамагнітних речовин проводилося в роботі (Laumann, 2017), де використовувалися також електронні ваги для вимірювання їх сили взаємодії з сильним магнітом. Експериментальна установка за рахунок більшої чутливості та використання сильніших магнітних полів дозволяла вимірювати магнітні властивості багатьох різних речовин.

Не згасає інтерес експериментаторів і теоретиків до теми розподілу магнітних полів магнітних диполів і сьогодні. Свідком цього є робота, наприклад, (Proctor & Gould, 2023), в якій наведена методика отримання магнітного поля через петлю струму в наближенні далекого поля. Виведення починається із закону Біо-Савара і не потребує магнітного векторного потенціалу, відносно просунутої концепції, з якою більшість студентів бакалаврату не зіткнуться до останнього року навчання, якщо взагалі зустрінуться.

Мета статті. Метою статті є висвітлення методики проведення в дистанційних умовах навчання лабораторної роботи з визначення а) функціональної залежності сили взаємодії між двома постійними магнітами, між магнітом і феромагнетиком, між магнітом і пара-, діаманетиком від відстані між ними, б) магнітної сприйнятливості пара-, діа- та феромагнетиків за допомогою електронних терезів.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Залежність величини магнітної індукції вздовж осі циліндричного магніту від відстані. Індукція магнітного поля B на осі колового струму радіусом R на відстані r від центра колового струму до даної точки дорівнює:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{\vec{p}_m}{(R^2 + r^2)^{3/2}}, \quad (1)$$

де p_m — магнітний момент колового струму.

На великих відстанях, коли $R \ll r$, формула (1) переходить у вираз:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu \vec{p}_m}{2\pi r^3}. \quad (2)$$

З огляду на це індукцію магнітного поля постійного циліндричного магніта – диполя (вздовж його осі) у вакуумі визначають так:

$$B = \frac{\mu_0 p_1}{2\pi r^3}, \quad (3)$$

де p_1 — магнітний дипольний момент, r — відстань до центру магніта.

Отже, слід очікувати, що величина магнітної індукції буде змінюватися як $1/r^3$ — зменшення відстані вдвічі збільшить величину магнітної індукції в 8 разів.

Якби кожен з досліджуваних постійних магнітів був рівномірно намагніченою сферою, тоді магнітне поле, створене кожним магнітом, було б еквівалентним полю точкового диполя, розташованого в центрі магніту. Оскільки магніти, які ми використовуємо, є циліндри, а не сфери, спрощення, які ми робимо, користуючись формулою (3) замість (1-2), є лише наближенням до колового струму, наближенням, яке стає більш неточним, коли вимірюються магнітні поля дуже близько до торця магніту.

Залежність сили притягання між двома постійними магнітами. З виразу (3) можна отримати величину магнітного дипольного моменту:

$$p_1 = \frac{2\pi r^3 B}{\mu_0}. \quad (4)$$

Потенціальна енергія другого диполя, розташованого паралельно або антипаралельно до осі першого диполя, дорівнює:

$$U = \pm p_2 B = \pm \frac{\mu_0 p_1 p_2}{2\pi r^3}, \quad (5)$$

де p_2 — магнітний дипольний момент другого магніта.

Отже, сила, що діє між двома магнітами, буде дорівнювати:

$$F = \left| \frac{dU}{dr} \right| = \frac{3\mu_0 p_1 p_2}{2\pi r^4}. \quad (6)$$

Тобто, під час проведення дослідів слід очікувати, що сила притягання між магнітами буде змінюватися як $1/r^4$ — зменшення відстані вдвічі збільшить силу притягання в 16 разів.

Оскільки два однакові магніти мають по суті однакове значення магнітного дипольного моменту, з рівняння (6) отримуємо значення дипольного моменту, яке можна визначити експериментально:

$$p_1 = p_2 = r^2 \cdot \sqrt{\frac{2\pi F}{3\mu_0}}. \quad (7)$$

Залежність сили притягання між магнітом і феромагнетиком від відстані між ними. Магнітна сприйнятливості феромагнетика. Якщо замість другого магніта встановити ненамагнічений феромагнітний матеріал, тоді в ньому виникне *індукований диполь*. Тоді, наприклад, шматок заліза чи сталі стає намагніченим. Взагалі феромагнітні матеріали мають нелінійну залежність намагніченості J від прикладеного магнітного поля. Однак, поки прикладене поле недостатньо велике, щоб наситити намагніченість, залежність можна вважати як лінійну:

$$J \approx \chi_m \frac{B}{\mu_0}, \quad (8)$$

де χ_m є «ефективною» магнітною сприйнятливості феромагнетика.

Використовуючи рівняння (3) запишемо намагніченість феромагнетика через дипольний момент постійного магніту як:

$$J \approx \chi_m \frac{p_1}{2\pi r^3}. \quad (9)$$

За визначенням, намагніченість J дорівнює магнітному моменту поділеному на об'єм V феромагнетика:

$$J = \frac{p_2}{V}. \quad (10)$$

Підставимо цей вираз у рівнянні (9) та отримаємо p_2 :

$$p_2 = \frac{\chi_m p_1}{2\pi r^3} \cdot V. \quad (11)$$

Підставимо вираз (11) у рівняння (6) та отримаємо залежність сили притягання між постійним магнітом та індукованим магнітом від відстані між ними:

$$F = \frac{3\chi_m \mu_0 p_1^2}{4\pi^2 r^7} \cdot V. \quad (12)$$

Оскільки магнітний диполь, індукований у феромагнетик, буде мати ту саму орієнтацію, що й постійний магніт, сила між ними завжди буде притягальною.

Отже, сила притягання між магнітом та феромагнетиком буде змінюватися як $1/r^7$ — зменшення відстані вдвічі збільшить силу притягання в 128 разів.

Використовуючи експериментально визначене за формулами (4) або (7) значення p_1 , ми отримуємо з рівняння (12) величину магнітної сприйнятливості феромагнетика:

$$\chi_m = \frac{4\pi^2 r^7 F}{3\mu_0 p_1^2 V}. \quad (13)$$

Аналогічно, якщо замінити феромагнетик діа- або парамагнетиком, тоді можемо визначити їх магнітну сприйнятливості.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Робота має методичний та прикладний характер. Для одержання описаних результатів і досягнення мети статті була розроблена вимірювальна схема та дослідницька установка. Конструкція установки передбачала можливість її відтворення студентами під час дистанційного навчання. За допомогою електронних вагів та неодимових магнітів визначалися діа- та парамагнітні властивості різних речовин, які зустрічаються в повсякденному середовищі учнів. Електронні терези, точність визначення маси яких дорівнює 1 мг, здатні проілюструвати взаємодію між магнітом і зразком через різницю в показаннях дисплея зі зразком на чашці терезів та без нього. Тому, підвішуючи дослідний зразок над магнітом, який знаходився на немагнітній підставці на чашці терезів, отримуємо величину сили взаємодії між двома постійними магнітами, між магнітом і феромагнетиком, між магнітом та пара-, діамагнетиком від відстані між ними.

Також експериментально визначається магнітна (об'ємна) сприйнятливість. Зазвичай діа- та парамагнетизм можна розрізнити за напрямком їх взаємодії із зовнішнім магнітним полем. У той час як діамагнітні об'єкти відштовхуються магнітним полем, парамагнітні речовини притягуються. Ці взаємодії набагато слабші (непомітні в повсякденному житті студента), ніж феромагнітні взаємодії, тому для дослідів використовується сильний неодимовий магніт. Демонстрація діа- або парамагнітних властивостей звичайних речовин дає змогу привернути увагу студентів до діа- та парамагнетизму, показати, що класифікувати матеріали за принципом магнітні-немагнітні, нехтуючи умовами вимірювання, недоцільно.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Опис лабораторної установки. Визначення залежності сили взаємодії двох магнітних диполів від відстані між ними. Для побудови дослідної установки треба мати: електронні ваги з чутливістю 0,001 г, 2 неодимові магніти діаметром 10 мм висотою 5 мм, 2 немагнітні трубки з внутрішнім діаметром 10 мм, паперовий тубус, дерев'яну міліметрову лінійку, нитку з вузлом, тягарець (рис. 1).



Рис. 1. Фото дослідницької установки: 1 – електронні терези, 2 – магніт №1, 3 – магніт №2, 4 – паперовий тубус, дерев'яна лінійка міліметрова, 5 – вузол на нитці, 6 – тягарець

Одну немагнітну трубку з магнітом №1 встановлюємо на чашку електронних терезів, а іншу з магнітом №2 підвішуємо співосно на нитці над магнітом №1. Полюса магнітів притягуються один до одного та центруються. Нитка заводиться на міліметрову лінійку, яка лежить на торці тубуса. На нитці робиться вузол, який слугує точкою відліку. Нитка притискається до шкали лінійки тягарцем.

Вимірювання відбуваються за наступним алгоритмом:

1. Опускаємо верхній магніт №2 до контакту з нижнім магнітом №1. Нитку придавлюємо тягарцем. Реєструємо та записуємо положення вузла на шкалі лінійки: це буде нульовий відлік величини зазору Δl між поверхнями магнітів.
2. Підіймаємо магніт №2 на лінійку. Включаємо електронні терези. Через деякий час вони покажуть значення 0 г.
3. Переміщуємо вузол на 1 мм (або більше) шкали лінійки від нульової точки, збільшуючи проміжок між магнітами. Опускаємо магніт №2. Заносимо відстань $r = h + \Delta l$ між центрами магнітів у таблицю результатів, де $h = 5$ мм – висота магніта. Реєструємо покази терезів у кг та переводимо у силу притягання магнітів F_1 .
4. Збільшуємо проміжок між поверхнями магнітів ще на 1 мм. Реєструємо силу притягання магнітів F_2 та записуємо її значення у таблицю.
5. Збільшуємо проміжок між поверхнями магнітів кожен раз на 1 мм, реєструємо вагу F_i та записуємо її значення у таблицю.
6. Використовуючи дані таблиці будуємо графік залежності сили притягання F_i від величини $x = \frac{1}{r^4}$. Пряма трендова лінія буде доказом справедливості формули (4). Коефіцієнт пропорційності в рівнянні лінії дорівнює $k = \frac{3\mu_0 p_1 p_2}{2\pi} = 6 \cdot 10^{-7} p^2$. Отже, магнітний момент магніта буде дорівнювати:

$$p = \sqrt{\frac{k}{6 \cdot 10^{-7}}} = 1291 \sqrt{k}.$$

Відхилення трендової лінії від лінійності вкаже на межі працездатності закономірності (8) для циліндричних магнітів, які використовуються.

Якщо постійний магніт є рівномірно намагнічена сфера, тоді магнітне поле, створюване магнітом, буде еквівалентне полю точкового диполя, розташованого в центрі магніту. Оскільки магніти, які ми використовуємо, є циліндрами, а не сферою, таке спрощення є наближенням яке стає більш неточним, коли розглядаються магнітні поля дуже близько до магніту. Тому дослідження ведемо на відстанях, дані вимірювання на яких добре апроксимуються наближенням кожного магніту як точкового диполя, розташованого в його центрі.

Виробником заявляється величина сили зчеплення двох однакових неодимових магнітів діаметром 10 мм та висотою 5 мм, які торкаються один одного ($r = 5$ мм) у кг: $m \approx 2,2$ кг ($F = 21,6$ Н). Тобто, за формулою (5) значення магнітного моменту складає величину:

$$p_1 = r^2 \cdot \sqrt{\frac{2\pi F}{3\mu_0}} = 25 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{21,6 \cdot 10^7}{6}} = 0,15 \text{ А} \cdot \text{м}^2.$$

Перевірити основну характеристику магніту – силу зчеплення (відриву) або відштовхування один від одного можна за допомогою пристрою, схема якого наведена на рис. 2.

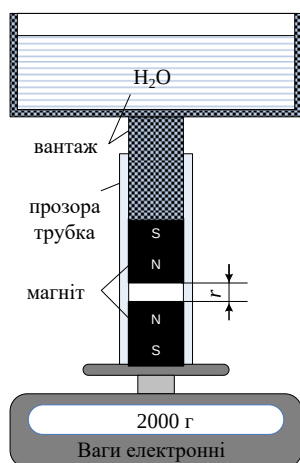


Рис. 2. Схема вимірювання сили відштовхування магнітів у залежності від відстані між ними

Для проведення дослідів потрібні електронні ваги, прозора трубочка, магніти та вантаж (можна у вигляді посудини з водою). Магніти напрямлені один до одного однойменними полюсами. Пристрій без вантажа встановлюється на ваги після чого вони вмикаються. Доливаючи воду в посудину реєструємо вагу (силу відштовхування F) та величину проміжку між магнітами. Під час контакту магнітів реалізується максимальна сила відштовхування $F_{\text{макс}}$. Для магнітів, які використовувалися в досліді, ця сила складала величину $F_{\text{макс}} = 23 \text{ Н}$.

$$p_{1\text{експ}} = r^2 \cdot \sqrt{\frac{2\pi F}{3\mu_0}} = 25 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{23 \cdot 10^7}{6}} = 0,155 \text{ А} \cdot \text{м}^2,$$

що узгоджується з даними виробника.

На графіку рис. 3 наведено результати вимірювання сили притягання двох неодимових постійних магнітів діаметром 10 мм висотою 5 мм як функції відстані між ними.

Як видно з графіка, сила притягання між магнітами дійсно змінюється майже як $1/r^4$, що повністю підтверджує залежність, відображену в формулі (6).

Для визначення магнітної сприйнятливості феромагнетика магніт №2 в установці, зображеної на фото (рис. 2), був замінений на залізний циліндр діаметром 10 мм і висотою 4 мм. На рис. 4 відображено графік залежності сили притягання між магнітом і залізним циліндром від відстані між ними (центрами циліндрів).

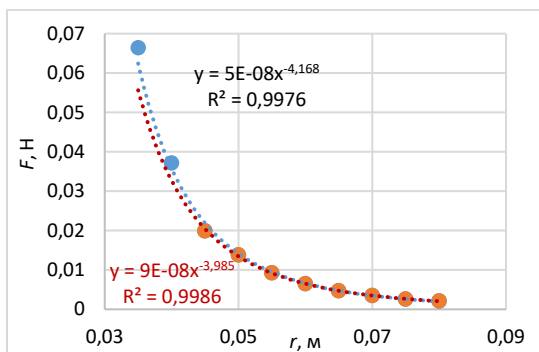


Рис. 3. Залежність сили притягання двох неодимових магнітів діаметром 10 мм висотою 5 мм від відстані між ними. Графік червоного кольору – згідно рівняння (6)

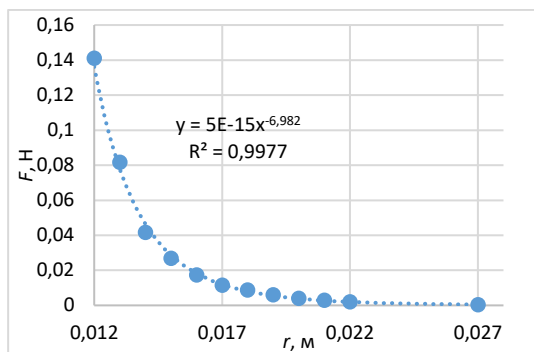


Рис. 4. Залежність сили притягання між магнітом і залізним циліндром від відстані між ними

Як видно з графіка рис. 4 величина сили притягання між магнітом і феромагнетиком (залізним циліндром) пропорційна $\sim \frac{1}{r^7}$, що підтверджує формулу (12). Коефіцієнт пропорційності $5 \cdot 10^{-15} = \frac{3\chi_m\mu_0 p_1^2}{4\pi^2} \cdot V$. Об'єм зразка $V = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$. Виходячи з того, що величина магнітного моменту магніту $p_{1\text{експ}} = 0,155 \text{ А} \cdot \text{м}^2$, об'ємна сприйнятливість цього зразка заліза дорівнює $\chi_m = 6,9$, що майже співпадає зі значенням $\chi \approx 7$, отриманим у роботі (Gayetsky & Caylor, 2007). Залежність сили притягання між магнітом і феромагнетиком від відстані між ними відповідає степеневому закону:

$$F = 5 \cdot 10^{-15} r^{-7}, \text{ Н.}$$

Визначення магнітної сприйнятливості пара- та діамagnetиків за допомогою електронних терезів.

Як відомо, магнітна сприйнятливості пара- та діамagnetиків на порядки менше її значення для феромагнетиків. Тому на підвіс на місце магніту №2 встановлюється (див. рис. 1) більш сильний магніт. Замість магніту №1 встановлюються зразки досліджуваного матеріалу. Згідно формули (13) для визначення магнітної сприйнятливості необхідно виміряти силу взаємодії F , відстань між центрами магніту і досліджуваного зразка r , об'єм зразка та величину магнітного моменту магніту. Для визначення значення p_1 магніту за допомогою датчика смартфона та мобільного застосунка Magnetometer була виміряна величина магнітної індукції B в залежності від відстані r . Результати вимірювань відображені на рис. 5.

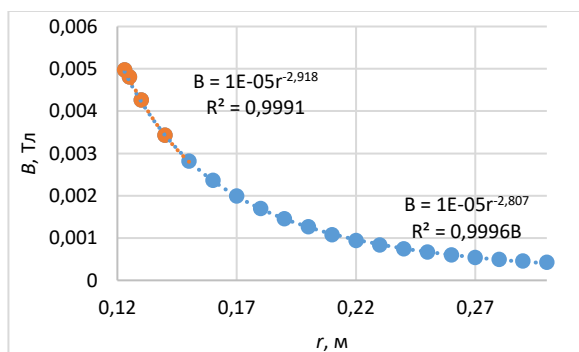


Рис. 5. Залежність величини магнітної індукції B від відстані r до центра магніту діаметром Ø50 мм, висотою $h = 24 \text{ мм}$

З графіка рис. 5 видно, що експериментальна залежність величини магнітної індукції циліндричного магніта від відстані до його центра описується теоретичною формулою (3): $B \sim \frac{1}{r^3}$. Коефіцієнт, що стоїть перед $\frac{1}{r^3}$ дорівнює 10^{-5} , тому $\frac{\mu_0 p_1}{2\pi} = 10^{-5}$. Звідки магнітний момент $p_1 = 50 \text{ А} \cdot \text{м}^2$. Сила взаємодії магніта із зразками наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Експериментальні результати визначення магнітної об'ємної сприйнятливості матеріалів

Матеріал	$F, \text{ Н}$	$r, \text{ м}$	$V, 10^{-6} \text{ м}^3$	$\chi_V, 10^{-6}$	$\chi_{V\text{табл.}}, 10^{-6}$
Вода (діамагнетик) $\varnothing 28,5 \text{ мм}, h = 44 \text{ мм}$	+0,00048	0,035	28	-4,4	- 8,95
Алюміній (парамагнетик) $\varnothing 25 \text{ мм}, h = 40 \text{ мм}$	-0,0010	0,035	20	+13	+20,5

ОБГОВОРЕННЯ

Основним результатом роботи є доведення того факту, що закони, за допомогою яких описуються магнітні поля постійних магнітів, не є "обернено-квадратичними". Взаємодія сильного магніта з водою й алюмінієм показала, що вона набагато слабше, ніж з феромагнетиком, але вона є, тобто вода і алюміній намагнічуються. У той час як вода відштовхується магнітним полем (маса її на шальках терезів зростає), алюміній притягується. Демонстрація діа- або парамагнітних властивостей речовин дає змогу привернути увагу студентів до діа- та парамагнетизму, показати, що класифікувати матеріали за принципом магнітні-немагнітні, нехтуючи умовами вимірювання, неправильно.

Проведення експериментів з діа- та парамагнетиками потребує використання сильного магніту та чутливих ваг. В умовах дистанційного проведення вимірювань можна без втрати результатів зменшити діаметр магніта та його висоту до 25 мм та 10 мм, відповідно. Ця лабораторна робота була успішно виконана дистанційно (не в лабораторії) 78% студентами-фізиками 2-го курсу КДПУ в другому навчальному семестрі 2022-2023 р. Власні електронні ваги майбутні вчителі фізики використовують також і під час дистанційного виконання інших лабораторних робіт, наприклад, для доведення справедливості закону Кулона. Результати їх досліджень будуть опубліковані пізніше.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.

Доведено, що розроблена лабораторна установка та методичний супровід надає можливість студентам визначити функціональну залежність від відстані: 1) магнітної індукції $B \sim \frac{1}{r^3}$, 2) сили взаємодії між двома постійними магнітами $F \sim \frac{1}{r^2}$, між магнітом і феромагнетиком $F \sim \frac{1}{r^2}$. Крім цього, використання чутливих електронних терезів дозволило визначити магнітну сприйнятливості магнетиків: у феромагнетика (залізо) $\chi_V = 7$, парамагнетика (алюміній) $\chi_V = 13 \cdot 10^{-6}$, діаманетика (вода) $\chi_V = -4,4 \cdot 10^{-6}$, що узгоджується з літературними джерелами.

Перспективи подальших дослідження полягають у вивченні впливу геометричних факторів на точність вимірювань параметрів магнетиків та функціональних залежностей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кучерук, І.М., Горбачук, І.Т., & Луцук, П.П. (2001). Загальний курс фізики. *Електрика і магнетизм*. Т.2. К: Техніка.
2. Saslow, W. M. (2022). Magnetic Poles: A Missing Manual. *The Physics Teacher*, 60, 540–545. <https://doi.org/10.1119/5.0079043>
3. Warburton, F. W. (1934). The magnetic pole, a useless concept. *The American Journal of Physics*, 2, 1–6.
4. Webster, D. L. (1934). Facing reality in the teaching of magnetism. *The American Journal of Physics*, 2, 7–10.
5. Gayetsky, L. E., & Caylor, C. L. (2007). Measuring the Forces Between Magnetic Dipoles. *The Physics Teacher*, 45(6), 348–351. <https://doi.org/10.1119/1.2768690>
6. Lufburrow, R.A. (1963). Inverse-square law experiments. *The American Journal of Physics*, 31, 60–62.
7. Romer, A. (1973). Magnetic repulsion: An introductory experiment. *The American Journal of Physics*, 41, 1332–1336.
8. Defrancesco, S., & Zanetti, V. (1983). Experiments on magnetic repulsion. *The American Journal of Physics*, 51, 1023–1035.
9. Laumann, D. (2017). Is an Apple Magnetic: Magnetic Response of Everyday Materials Supporting Views About the Nature of Science. *The Physics Teacher*, 55, 142–145. <https://doi.org/10.1119/1.4976654>
10. Proctor, J. E., & Gould, H.T. (2023). Derivation of the Field Due to a Magnetic Dipole Without Use of the Vector Potential. *The Physics Teacher*, 61, 40–42. <https://doi.org/10.1119/5.0077127>

REFERENCES

1. Kucheruk, I.M., Horbachuk, I.T., & Lutsyk, P.P. (2001). Zahalnyi kurs fizyky. *Elektryka i mahnetyzm*. T.2 [General course of physics. Electricity and magnetism. V 2.]. K: Tekhnika. (in Ukrainian).
2. Saslow, W. M. (2022). Magnetic Poles: A Missing Manual. *The Physics Teacher*, 60, 540–545. <https://doi.org/10.1119/5.0079043>
3. Warburton, F. W. (1934). The magnetic pole, a useless concept. *The American Journal of Physics*, 2, 1–6.
4. Webster, D. L. (1934). Facing reality in the teaching of magnetism. *The American Journal of Physics*, 2, 7–10.
5. Gayetsky, L. E., & Caylor, C. L. (2007). Measuring the Forces Between Magnetic Dipoles. *The Physics Teacher*, 45(6), 348–351. <https://doi.org/10.1119/1.2768690>
6. Lufburrow, R.A. (1963). Inverse-square law experiments. *The American Journal of Physics*, 31, 60–62.
7. Romer, A. (1973). Magnetic repulsion: An introductory experiment. *The American Journal of Physics*, 41, 1332–1336.
8. Defrancesco, S., & Zanetti, V. (1983). Experiments on magnetic repulsion. *The American Journal of Physics*, 51, 1023–1035.
9. Laumann, D. (2017). Is an Apple Magnetic: Magnetic Response of Everyday Materials Supporting Views About the Nature of Science. *The Physics Teacher*, 55, 142–145. <https://doi.org/10.1119/1.4976654>
10. Proctor, J. E., & Gould, H.T. (2023). Derivation of the Field Due to a Magnetic Dipole Without Use of the Vector Potential. *The Physics Teacher*, 61, 40–42. <https://doi.org/10.1119/5.0077127>



Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
 Has been issued since 2013.
 Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
 Видається з 2013.



p-ISSN 2413-1571
 e-ISSN 2413-158X

DOI: 10.31110/2413-1571
<https://fmo-journal.org/>

DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-4-006

УДК 378.147:[37.011.3-051:51]:[519.2:004]

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО У НАВЧАННІ СТОХАСТИКИ В КОНТЕКСТІ ПІДГОТОВКИ УЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ STEM-ОСВІТИ

Тетяна КРАМАРЕНКО ✉

Криворізький державний педагогічний університет, Україна
 kramarenko.tetyana@kdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-2125-2242>

USING THE MONTE CARLO METHOD IN TEACHING STOCHASTICS IN THE CONTEXT OF TRAINING MATHEMATICS TEACHERS TO IMPLEMENT STEM EDUCATION

Tetiana KRAMARENKO ✉

Kyryvi Rih State Pedagogical University, Ukraine
 kramarenko.tetyana@kdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-2125-2242>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. Актуальною проблемою в освіті є запровадження STEM-навчання. Методика підготовки учителів математики (014 Середня освіта. Математика) в контексті реалізації STEM-освіти потребує удосконалення. Наскрізне використання методу Монте-Карло у навчанні стохастики є engineering-інструментом, успішне опанування яким сприятиме інтеграції знань та умінь здобувачів освіти з математики та інформатики, підготовки учителів до впровадження STEM-підходів у навчанні математики. Метою статті є висвітлення доробку автора з питання впровадження STEM-підходів у навчанні стохастики.

Матеріали і методи. В роботі використані теоретичні й емпіричні методи дослідження: аналіз для уточнення тезаурусу дослідження; аналіз наукових джерел для визначення важливих напрямків, на яких варто зосередити увагу для формування STEM-компетентностей здобувачів освіти; синтез, спостереження за освітнім процесом; систематизація й узагальнення результатів дослідження; використання статистичного критерію для визначення зсуву у значеннях ознаки (критерій Вілкокса).

Результати. Наскрізне використання методу Монте-Карло у навчанні стохастики позитивно впливає на рівень навчальних досягнень здобувачів освіти та їх готовність до впровадження STEM-підходів у навчанні учнів.

Висновки. Застосування методу Монте-Карло як engineering-інструменту зміщує акценти навчання з теоретичної в експериментальну площину. У ході дослідження встановлено, що наскрізне використання методу Монте-Карло у навчанні стохастики позитивно впливає на рівень навчальних досягнень здобувачів освіти. Експериментально підтверджено підвищення рівня готовності майбутніх учителів до подальшого впровадження STEM-підходів у навчанні учнів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: метод Монте-Карло; генератор випадкових чисел; таблиці Google та Microsoft Excel; система динамічної математики GeoGebra, стохастика, теорія ймовірностей та математична статистика, методика STEM-навчання; професійна освіта; підготовка майбутніх учителів математики.

ABSTRACT

Formulation of the problem. The introduction of STEM education is an urgent problem in education. The methodology for training mathematics teachers (014 Secondary Education. Mathematics) in the context of STEM education needs to be improved. The cross-cutting use of the Monte Carlo method in teaching stochastics is an engineering tool, the successful mastery of which will help integrate the knowledge and skills of students in mathematics and computer science, and to train teachers to implement STEM approaches in mathematics teaching. The purpose of the article is to highlight the author's work on the implementation of STEM approaches in teaching stochastics.

Materials and methods. The paper uses theoretical and empirical research methods: analysis to clarify the thesaurus of the study; analysis of scientific sources to identify important areas that should be focused on for the formation of STEM competencies of students; synthesis, observation of the educational process; systematization and generalization of research results; use of statistical criteria to determine shifts in the value of the feature (Wilcoxon criteria).

Results. The cross-cutting use of the Monte Carlo method in teaching stochastics has a positive effect on the level of academic achievement of students and their readiness to implement STEM approaches in teaching students.

Conclusions. The use of the Monte Carlo method as an engineering tool shifts the emphasis of learning from the theoretical to the experimental plane. The study found that the cross-cutting use of the Monte Carlo method in teaching stochastics has a positive effect on the level of academic achievement of students. The increase in the level of readiness of future teachers for further implementation of STEM approaches in teaching students has been experimentally confirmed.

KEYWORDS: Monte Carlo method; random number generator; Google and Microsoft Excel spreadsheets; GeoGebra system of dynamic mathematics, stochastics, probability theory and mathematical statistics, STEM teaching methods; vocational education; training of future math teachers.

ВСТУП

Постановка проблеми. Одним із найважливіших нормативних документів, які окреслюють перспективи розвитку STEM-освіти в Україні, є Концепція реалізації державної політики у сфері реформування загальної середньої освіти на період до 2029 року «Нова українська школа». Набула чинності Концепція розвитку природничо-математичної освіти до 2027 року – STEM-освіти. STEM-орієнтований підхід до навчання є актуальним напрямом модернізації та інноваційного розвитку природничо-математичного й гуманітарного профілів освіти, а STEM-грамотність – міждисциплінарною областю дослідження, яка поєднує науку, технології, інженерію та математику.

Для цитування:

Крамаренко Т. Використання методу Монте-Карло у навчанні стохастики в контексті підготовки учителів математики до впровадження STEM-освіти. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 4. С. 42-48. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-4-006
 Крамаренко, Т. (2023). Використання методу Монте-Карло у навчанні стохастики в контексті підготовки учителів математики до впровадження STEM-освіти. *Фізико-математична освіта*, 38(4), 42-48. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-006>

For citation:

Kramarenko, T. (2023). Using the Monte Carlo method in teaching stochastics in the context of training mathematics teachers to implement STEM education. *Physical and Mathematical Education*, 38(4), 42-48. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-006>
 Kramarenko, T. (2023). Vykorystannia metodu Monte-Karlo u navchanni stokhastyky v konteksti pidgotovky uchyteliv matematyky do vprovadzhennia STEM-osvity [Using the Monte Carlo method in teaching stochastics in the context of training mathematics teachers to implement STEM education]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(4), 42-48. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-006>

✉ Corresponding author

© T. Kramarenko, 2023

Запорукою запровадження актуальної на сьогодні STEM-освіти можуть стати креативні педагоги, у тому числі й учителі математики, які здатні своїми знаннями та вміннями зробити привабливими STEM-програми і методи навчання, спроможні генерувати ідеї, застосовувати фундаментальні знання для вирішення складних, практичних завдань у майбутній професійній діяльності теперішніх здобувачів освіти.

Однак, методика підготовки учителів математики («01 Освіта (014 Середня освіта. Математика)») в контексті реалізації STEM-освіти потребує удосконалення. Тому використання методу Монте-Карло у навчанні майбутніх учителів математичних дисциплін, зокрема теорії ймовірностей та математичної статистики, розглядаємо як engineering-інструмент, успішне опанування яким сприятиме інтеграції знань та умінь здобувачів освіти з математики та інформатики, підготовці учителів до впровадження STEM-підходів у навчанні математики.

Аналіз актуальних досліджень. Концептуальні підходи та практичні напрями реалізації STEM-освіти досліджують багато науковців, методистів. Зокрема О. Барна, В. Олексюк, Н. Балик та ін. (2018), Ю. Ботузова, Н. Валько, І. Василяшко, Д. Васильєва, К. Власенко та ін. (2019; 2021), С. Горбенко, О. Гриб'юк, О. Кузьменко, Н. Морзе, О. Патракеєва, В. Пікалова (2021), О. Струтинська, Н. Хараджян та ін. На основі аналізу досліджень STEM-освіту трактуємо як цілісну систему природничої і математичної освітніх галузей. STEM-навчання базується на практичному застосуванні наукових, математичних, технічних та інженерних знань для розв'язання практичних проблем для подальшого використання цих знань і умінь у професійній діяльності. Метою STEM-освіти є, зокрема, розвиток особистості через формування STEM-компетентностей, бачення природничо-наукової картини світу здобувачами освіти, використання трансдисциплінарного підходу до навчання. Очікуваними результатами має стати трансфер знань, який забезпечує впровадження досягнень наукової сфери в освітній процес.

Проблеми підготовки, підвищення кваліфікації учителів математики в контексті використання інноваційних технологій навчання та розвитку навчальних компетентностей здобувачів освіти знайшли відображення в дослідженнях І. Лов'янової, К. Власенко та ін. (2019; 2021). Автори акцентують увагу на необхідності посилення практичної спрямованості навчання математики.

В. Пікалова (2021) в дисертаційній роботі обґрунтовує комплекс педагогічних умов використання GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики. Зокрема супроводу різних видів навчальної діяльності студентів із використанням пакету GeoGebra.

Часто для визначення характеристик деяких процесів, перебіг яких не є детермінованим і залежить від випадкових факторів, розробляють спеціальні імітаційні моделі та здійснюють імітацію з використанням програмних засобів. Генерація випадкових чисел є важливим компонентом багатьох застосунків, включаючи криптографію, системи безпечного зв'язку, симуляції та імовірнісні алгоритми. Здійснивши статистичне моделювання, усереднені результати спостережень використовують для наближеного визначення шуканих характеристик процесів, що досліджують. У цьому полягає суть методу статистичних випробувань – методу Монте-Карло (Жалдак та ін., 2009; Семеніхіна, 2008).

У деяких випадках метод Монте-Карло є єдиним, за яким можна дістати наближені розв'язки задач, які не можна проаналізувати іншими аналітичними чи чисельними методами. Метод Монте-Карло – метод імітації для відтворення реальних явищ. Заснований на одержанні великої кількості реалізацій стохастичного процесу, який здійснюється так, щоб його ймовірнісні характеристики збігалися з аналогічними величинами задачі, яку потрібно розв'язати. Наприклад, щоб середнє значення за отриманою вибіркою було оцінкою для невідомого математичного сподівання. Застосування методу дає змогу побудувати модель, щоб мінімізуючи вхідні дані, отримати максимально правдоподібний результат. Оскільки метод використовується, зокрема, через симуляції за допомогою програмних засобів для розв'язування задач математики, фізики, економіки, оптимізації, теорії управління тощо, то його застосування можна розглядати як один із ефективних engineering-інструментів, успішне опанування яким сприятиме підготовці учителів до впровадження STEM-підходів у навчанні природничо-математичних дисциплін.

По суті, STEM-підхід у навчанні стохастики розглядається у працях М. І. Жалдака та Г. О. Михаліна (Жалдак та ін., 2009), О. В. Семеніхіної та М. Г. Друшляк (Семеніхіна & Друшляк, 2015), Т. П. Кобильника та ін., хоча і не використовується відповідна термінологія.

О. В. Семеніхіна (2008) звертає увагу на те, що метод Монте-Карло доцільно використовувати при вивченні циклу математичних дисциплін. З цієї метою необхідно актуалізувати міжпредметні зв'язки. Наприклад, курсу інформаційних технологій з математичним аналізом чи теорією ймовірностей та математичною статистикою. У статті наводиться приклад оцінювання значення кратного інтеграла через застосування методу Монте-Карло у *спеціалізованому пакеті MAPLE*.

Для розв'язування задач стохастики, опрацювання статистичних вибірок, візуалізації експериментальних випробувань на основі випадкових подій дослідники використовують також системи динамічної математики. Зокрема, висвітлювалося застосування *програмного засобу Gran1* (Жалдак та ін., 2009; Семеніхіна & Друшляк, 2015). Дослідження імітаційного моделювання з використанням *системи динамічної математики GeoGebra* знайшли відображення в роботах науковців О. Хоминської та ін. (2022).

Генератори псевдовипадкових чисел та квантові генератори випадкових чисел є двома основними типами генераторів випадкових чисел. Як стверджують автори публікації Д. Проскурін та ін. (2023), останні забезпечують кращу безпеку завдяки своїй непередбачуваності. Автори публікації розглядають модель глибинного навчання, яка навчається та оцінюється на наборі даних, що містить зокрема послідовності випадкових чисел.

Висвітлення особливостей навчання методу Монте-Карло у підготовці майбутніх учителів математики та інформатики нами започатковано у публікації (Крамаренко, 2016).

У розглянутих публікаціях, на нашу думку, методу Монте-Карло як engineering-інструменту STEM-навчання майбутніх учителів математики приділено недостатньо уваги. Недостатньою є кількість досліджень, присвячених моделюванню процесів, пов'язаних з випадковими подіями та випадковими величинами, які в подальшому здобувачі освіти зможуть використати у навчанні учнів. Потребує детальнішого розгляду методика навчання майбутніх учителів

математики в контексті підготовки їх до впровадження STEM-навчання учнів. Зокрема, використання методу Монте-Карло для візуалізації абстракцій, висунення гіпотез, перевірки їх вірогідності.

Метою статті є висвітлення доробку автора з питання впровадження STEM-підходів у навчанні стохастичності, зокрема наскрізного використання методу Монте-Карло у навчанні теорії ймовірностей та математичної статистики.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі використані теоретичні й емпіричні методи дослідження: аналіз для уточнення тезаурусу дослідження; аналіз наукових джерел для визначення важливих напрямків, на яких варто зосередити увагу для формування STEM-компетентностей здобувачів освіти; синтез, спостереження за освітнім процесом; систематизація й узагальнення результатів дослідження; використання статистичного критерію Вілкоксона для визначення зсуву у значеннях ознаки.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

За програмою підготовки фахівців за спеціальностями «Середня освіта. Математика» та «Середня освіта. Інформатика» метод Монте-Карло зустрічається принаймні при вивченні чисельних методів, теорії ймовірностей та математичної статистики, навчанні студентів програмуванню. Тому доцільно більше уваги приділити реалізації міжпредметних зв'язків при вивченні теми. Наприкінці вивчення курсу теорії ймовірностей та математичної статистики для студентів-математиків та майбутніх учителів інформатики в педагогічному університеті для опанування методом Монте-Карло відводиться 2 години лекцій, 4 години практики та 6 годин самостійної роботи. Враховуючи важливість теми, зокрема, при підготовці майбутніх учителів до STEM-навчання, ми експериментально перевірили доцільність *наскрізного застосування методу при вивченні стохастичності*. Наші дослідження показали, що при вивченні теорії ймовірностей та математичної статистики доцільно застосовувати метод Монте-Карло впродовж усього курсу.

У низці підручників з теорії ймовірностей та математичної статистики рекомендується окремі поняття описової статистики, числові та графічні характеристики вибірки вводити перед вивченням випадкових величин та законів розподілу ймовірностей значень випадкових величин. Зокрема, практично-орієнтованому спрямуванню навчання стохастичності перевагу віддають М. І. Жалдак та ін. (2009).

Власне ознайомлення з методом Монте-Карло здобувачів освіти розпочинаємо на етапі *означення ймовірності випадкової події*. Студентам пропонуємо провести кілька стохастичних експериментів, визначити відносні частоти відбування тієї чи іншої події. Рекомендації щодо проведення і опрацювання результатів стохастичних експериментів, доступних учням старшої школи та студентам 1-2 курсів фахових коледжів, висвітлено нами у розробленому навчально-методичному посібнику «Математика в STEMі». Розглядаючи означення статистичної ймовірності випадкової події, можемо запропонувати здобувачам освіти наближено обчислити ймовірності випадання випадкових чисел, рівних сумі чисел на верхніх гранях двох кубиків. Доцільно порівняти отримані значення з обчисленими ймовірностями, здійснити пропедевтику вивчення закону великих чисел. А саме, продемонструвати стійкість відносних частот в серії повторних незалежних випробувань. Подібні експерименти розглядають і у підручниках для поглибленого вивчення математики в 9-му та в 11-му класах.

Експеримент №1 з підкидання двох кубиків та визначення суми чисел на верхніх гранях (рис.1). Навіть при відносно невеликій кількості реалізацій (на поданому рисунку майже 900), отримуємо, що відносні частоти та ймовірності практично не відрізняються. Для візуалізації результатів дослідження будемо полігони відносних частот та ймовірностей з використанням таблиць Google.

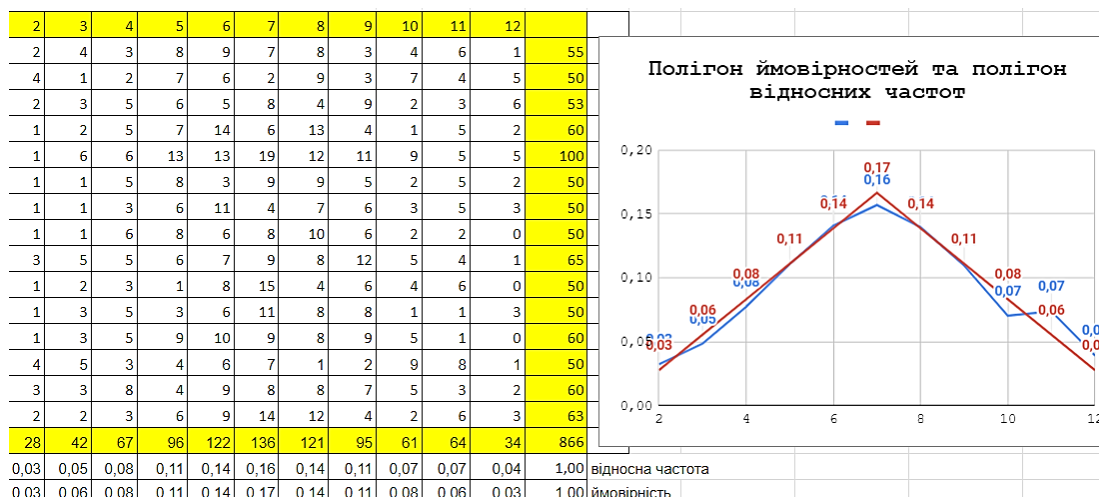


Рис. 1. Полігон відносних частот та ймовірностей викидання суми чисел на верхніх гранях двох кубиків

Експеримент №2 стосувався написання чотирьох випадкових слів, визначення кількості літер, встановлення, чи отримане число є парним. Далі потрібно розрахувати і порівняти відносні частоти та ймовірності того, що з чотирьох слів одне, два, три чи чотири з парною кількістю літер.

Експеримент №3. Методом Монте-Карло оцінку для значення π можна здійснити шляхом генерації випадкових точок в квадраті і обчислення пропорції точок, що лежать усередині вписаного в квадрат круга, до числа точок, кинутих у квадрат.

У навчанні учнів стохастики також доцільно запропонувати наступний STEM-підхід. На дні коробки квадратної форми побудувати вписане в квадрат коло. Далі всипаємо в коробку горошинки так, щоб вони одним шаром були відносно рівномірно розподілені на дні коробки. Записуємо, скільки горошинок всипано в коробку та кількість, яка потрапляє в круг. У подальшому подібний експеримент доцільно провести для визначення площі фігури, побудованої на дні коробки, та наближеного оцінювання значення визначеного інтеграла.

У ході експерименту доцільно зробити кілька реєстрацій даних, попередньо перемішуючи розташування горошинок. Адже у подальшому, при вивченні закону великих чисел обґрунтовується стійкість середнього вибіркового.

Ймовірність того, що точка, кинута в квадрат, потрапить в круг, пропорційна відношенню площі круга до площі квадрата. При програмуванні методу, наприклад на мові Python, привабливість алгоритму полягає в тому, що взагалі не потрібна графіка чи симуляція для відображення згенерованих точок. Генеруємо випадкові (x, y) пари, а потім перевіряємо, чи виконується нерівність $x^2 + y^2 \leq r^2$. Якщо так, то збільшуємо кількість точок, які з'являються всередині кола. У рандомізованих алгоритмах і алгоритмах моделювання, таких як Монте-Карло, чим більше число ітерацій, тим точніший результат. Тому оцінку числа π будемо здійснювати за формулою:

$$\pi \approx 4 \cdot (N \text{ точок, що потрапили у круг}) / (N \text{ точок, кинутих у квадрат}) \quad (1)$$

Експеримент №4. Класичним прикладом на застосування методу Монте-Карло є *задача Бюффона для оцінки числа π* . Завдання також пропонується учням для ознайомлення у підручниках для 11-го класу при поглибленому вивченні математики.

Для отримання більшої кількості реалізацій в одних і тих же умовах доцільно попередньо визначитися з учасниками експерименту щодо довжини сірника ($2 \cdot l = 4$ см), який підкидають, та ширини між проведеними на аркуші горизонтальними лініями ($2 \cdot a = 6$ см). Для обчислення ймовірності випадкової події А «сірник перетнув лінію», необхідно визначити простір елементарних подій. Для цього описують положення голки/сірника кутом, який утворюється з додатним напрямом осі абсцис та відстанню від центра голки до найближчої з горизонтальних ліній. При цьому кут φ вимірюється в межах від 0° до 180° (від 0 до π радіан). Простір елементарних подій подаємо у вигляді прямокутника, одна з сторін якого дорівнює π , а інша рівна половині відстані між горизонтальними лініями. Тоді в прямокутнику заштриховують фігуру, обмежену знизу віссю абсцис, а зверху графіком функції $l \cdot \sin(\varphi)$. Відношення площі утвореної фігури до площі прямокутника наближено дорівнює відношенню кількості перетинів голкою лінії до загального числа підкидань голки. Отримуємо формулу для наближеного обчислення π .

Спочатку при реалізації задачі Бюффона студенти не розуміли, чому запис простору елементарних подій Ω важливий і є ключем для подальшого моделювання та програмування. $\Omega = \{(x; \varphi) | 0 \leq x \leq a; 0 \leq \varphi \leq \pi\}$. Випадкова подія при цьому буде описуватися множиною точок $A = \{(x; \varphi) | 0 \leq x \leq l \cdot \sin(\varphi); 0 \leq \varphi \leq \pi\}$, де $2a$ – відстань між паралельними прямими, $2 \cdot l$ – довжина голки. Для імітації процесу кидання голки достатньо випадково обрати пару чисел $(x; \varphi)$ з проміжків $[0; a]$ та $[0; \pi]$ відповідно та перевірити виконання умови перетину голкою лінії $x \leq l \cdot \sin(\varphi)$.

До кожного з чотирьох експериментів ми пропонували студентам змоделювати процеси, скласти програму на одній з мов програмування, насамперед Python, протестувати її, обговорити з одногрупниками код програми, можливості застосування бібліотек статистичних функцій. Для перших трьох експериментів і простір елементарних подій, і множина, що відповідає події, були інтуїтивно зрозумілими. Студенти зазначали, що найважче було запрограмувати задачу Бюффона, оскільки необхідна була попередня підготовка і встановлення того, яким є простір елементарних подій та множина, що відповідає події «сірник перетнув лінію».

Розглядаючи означення ймовірності випадкової події, доцільно використати наочності з GeoGebra Sada Manuel, О. Хоминської та ін. (2022). Це симуляції до задач теорії ймовірностей та математичної статистики, реалізовані в системі динамічної математики. Ми пропонували здобувачам освіти створювати подібні наочності в GeoGebraBook через генерування випадкових чисел.

Метод Монте-Карло доцільно застосувати при вивченні основних законів розподілу дискретних та неперервних випадкових величин. Варто розглядати як алгоритми генерації випадкових чисел за певними законами, так і розігрування повної групи подій. Наприклад, отримати значення випадкової величини з експоненціальним розподілом ймовірностей. Розглянутий датчик випадкових чисел широко використовується при імітації за допомогою програмних засобів функціонування деяких систем масового обслуговування. Так, проміжок часу між двома послідовними запитами на обслуговування є випадковою величиною з експоненціальним розподілом ймовірностей. Для генерації достатньо знайти значення випадкової величини з рівномірним розподілом ймовірностей на відрізку $[0; 1]$, надавати функції розподілу ймовірностей цих значень і обчислювати аргумент функції за відповідними формулами:

$$F(x_i) = 1 - e^{-\lambda \cdot x_i} = r_i; \quad x_i = \ln(1 - r_i) \quad (2)$$

Доцільно для генерації значень випадкової величини за певним законом розподілу ймовірностей використати бібліотеку статистичних функцій Python, вбудованих функцій таблиць Google чи Microsoft Excel. Наприклад, для біноміального розподілу BINOM.INV(), для нормально розподілених випадкових величин можна використати NORM.INV(), NORM.S.INV(). Тоді як традиційно для нормального розподілу використовують функцію Лапласа.

Доцільно перевірити, генератори псевдовипадкових чисел дають числа, що мають рівномірний розподіл.

Актуальним в контексті дослідження може стати побудова та дослідження стохастичних моделей на основі методу Монте-Карло. Доцільно розглянути модель броунівського руху, побудова й опрацювання якої вводить у світ випадкових чисел і математичної статистики, сприяє формуванню уявлень про розподіли ймовірностей, зокрема ілюструє рівномірний та нормальний розподіли. Моделювання за допомогою випадкових чисел доцільно здійснювати з використанням таблиць Microsoft Excel і GeoGebra.

При вивченні закону великих чисел актуалізуються результати досліджень, отримані при проведенні описаних вище чотирьох експериментів. Здійснене моделювання використовуємо для демонстрації стійкості вибіркового середнього, стійкості відносних частот. Тут доцільно ще раз наголосити на тому, що для обчислення оцінок певних величин, наприклад, площі фігури, найкраще брати середнє арифметичне отриманих результатів. Доцільно для побудови

графіків полігону ймовірностей чи функції щільності розподілу ймовірностей при додаванні значень випадкових величин пропонувати наочності Wolfram Demonstrations, розглянути розроблені фрагменти програм з відкритими кодами для цих наочностей чи створити власні.

Надзвичайно важливо розв'язати серію задач на визначення кількості проведення випробувань методом Монте-Карло для забезпечення заданої точності з використанням нерівності Чебишова та теореми Лапласа. Це можуть бути як завдання на визначення ймовірності випадкової події, так і наближені обчислення інтегралів, зокрема кратних. Приклад задачі: ймовірність відбування деякої події визначається методом Монте-Карло. Знайти кількість незалежних випробувань, які забезпечують з ймовірністю не менш як 0,99 обчислення шуканої ймовірності з похибкою, що не перевищує 0,02. Оцінку подати за допомогою нерівності Чебишова та теореми Лапласа.

Доцільно застосувати отримані результати експериментів при перевірці статистичних гіпотез. Зокрема, чи суттєво відрізняються отримані відносні частоти від розрахованих ймовірностей. Тобто здійснити перевірку гіпотези про відхилення коефіцієнта пропорційності від стандарту. Наприклад, відносну частоту $p^* = 0,16$ випадання суми чисел, рівної семи (рис.1), на рівні значущості 0,05 порівняти з ймовірністю $p = 0,17$ і встановити, що нема підстав відкидати нульову гіпотезу про відсутність відмінностей у значеннях $(|(0,16 - 0,17)/\sqrt{(0,17 * (1 - 0,17)/900)}| < 1,64)$.

Важливо також, використовуючи датчики випадкових чисел, перевірити гіпотези про закони розподілу ймовірностей випадкових величин. Доцільно перевірити, наскільки якісно генеруються набори випадкових чисел відповідно до законів розподілу ймовірностей за допомогою таблиць Google, Microsoft Excel чи системи динамічної математики GeoGebra. Зокрема, рівномірного та нормального розподілів. Варто порівнювати як реалізується розігрування випадкової величини в табличному процесорі Excel, зокрема з використанням «Пакету аналізу», та, наприклад, в системі динамічної математики GeoGebra.

На завершальному етапі вивчення стохастичності необхідно узагальнити прийоми використання методу Монте-Карло для обчислення визначених інтегралів, середнього значення функції на відрізок, кратних інтегралів тощо.

Ми досліджували, як може впливати наскрізне використання методу Монте-Карло у навчанні стохастичності на розвиток STEM-компетентностей здобувачів освіти – майбутніх учителів математики. Встановили, що наскрізне використання методу Монте-Карло сприяє посиленню інтегрованого навчання, демонструє, як математичні методи реалізуються через використання мов програмування. І навпаки: як методами інформатики можемо розв'язувати математичні задачі практичного змісту. Інтегроване навчання – це сукупність послідовних та взаємопов'язаних дій учасників навчального процесу. Вони спрямовані на формування у здобувачів освіти цілісної картини на основі об'єднання навчального матеріалу з різних освітніх галузей (навчальних предметів).

Однією з важливих характеристик для майбутніх учителів є готовність до впровадження STEM-підходів у навчанні учнів. Як складники характеристики розглядалося уміння ефективного застосування ІКТ, зокрема, використання датчиків випадкових чисел, постановка математичних задач для учнів, організація співробітництва для досягнення інноваційних результатів і розв'язування складних завдань. При цьому в командах працювали особистості з різним науковим і технічним бекграундом. Навчання в області STEM надає широкі можливості для спілкування “один на один” і “один-до-багатьох”. Зокрема, розвитку комунікативності сприяло сумісне програмування, обговорення та удосконалення кодів. У процесі навчання розвивається критичне мислення у здобувачів освіти як здатність осмислити, вдумливо й обґрунтовано проаналізувати і застосовувати знання. Встановили вплив на розвиток творчості – використання креативних вмінь для покращення наукового і технологічного проекту, демонстрації його нерозкритих можливостей.

Метою опитування студентів спеціальностей 014.04 Середня освіта. Математика, додаткова спеціальність Інформатика та 014.08 Середня освіта. Фізика, додаткова спеціальність Математика перед вивченням курсу теорії ймовірностей та математичної статистики та після його завершення було визначити ступінь обізнаності здобувачів освіти з поняттям та змістом STEM-освіти, умінням сформулювати для майбутніх учнів тему та визначити зміст завдань для STEM-проекту, обрати доцільні методи та засоби для вирішення певної практичної проблеми. Здобувачам освіти пропонувалося прочитати питання і за допомогою запропонованих варіантів обрати відповідь чи записати розширену відповідь. Наведемо приклади питань, які наводилися в анкеті: як розшифровується аббревіатура STEM / STREAM; наскільки ви обізнані у змісті поняття «STEM-освіта»; як у навчанні математики та STEM-заходах можна використовувати системи динамічної математики, наприклад, GeoGebra; яке обладнання / програмне забезпечення може використовуватися на STEM-заняттях; як знання з теорії ймовірностей та математичної статистики можуть використовуватися при впровадженні STEM-проектів, як за 5-бальною шкалою оцінюєте власний рівень компетентності для впровадження STEM-навчання в освітній процес закладу середньої освіти тощо. Оскільки питання щодо STEM-навчання піднімалися при вивченні багатьох тем курсу стохастичності, зокрема при вивченні кореляційного та регресійного аналізу, то опитування включало окремі питання, пов'язані саме з використанням методу Монте-Карло. Пропонувалися для розв'язування приклади завдань, ключовими моментами у яких було визначення площі фігури і об'єму тіла наближеними методами, зокрема за фотознімками.

У ході анкетування студенти відзначали підвищення рівня особистісної характеристики – готовності до впровадження STEM-підходів у навчанні математики учнів. Об'єм вибірки склав 42 особи. Для опрацювання результатів дослідження скористалися критерієм для виявлення зсувів у значеннях рівня ознаки – критерієм Вілкоксона. Застосовували критерій для зіставлення показників, виміряних у двох різних умовах на одній і тій самій вибірці. Типовим виявився зсув у напрямку підвищення готовності впроваджувати STEM-підходи у навчанні математики. За допомогою критерію була змога на рівні значущості 5% встановити не тільки спрямованість змін, але й їхню вираженість, тобто констатувати, що зсув показників у типовому напрямку є інтенсивнішим, ніж в нетиповому ($T_{кр 0,01} = 266 < T_{емп} = 272 < T_{кр 0,05} = 319$).

Обговорюючи підсумки анкетування, студенти звертали увагу на те, що для STEM-навчання з використанням методу Монте-Карло характерне подання навчальних відомостей через життєві ситуації; заохочення до експериментальних досліджень; прикладні аспекти – розв'язування задач/проблем практичного змісту; міждисциплінарний підхід як поєднання відомостей з декількох предметів, зокрема математики, інформатики, географії

та ін. При цьому визначалися в доцільній послідовності етапи дослідження: проблема, гіпотези, експеримент, аналіз, висновки.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Запропонований виклад теми «Метод Монте-Карло» впродовж вивчення курсу стохастичної математики майбутніми учителями математики дає змогу краще реалізувати компетентнісний підхід у навчанні. Перспективним бачимо впровадження наскрізного використання методу в науково-педагогічну практику.

Наскрізне використання методу Монте-Карло у навчанні стохастичної математики позитивно впливає на рівень навчальних досягнень здобувачів освіти та їх готовність до впровадження STEM-підходів у навчанні учнів. У ході анкетування студенти відзначали підвищення рівня особистісної характеристики – готовності до впровадження STEM-підходів у навчанні математики учнів. Експериментально підтверджено підвищення рівня готовності майбутніх учителів до подальшого впровадження STEM-підходів у навчанні учнів.

При наскрізному навчанні методу Монте-Карло з використанням таблиць Google, Microsoft Excel, системи динамічної математики GeoGebra закладається значний потенціал інструментарію щодо використання STEM-підходів у навчанні математики, для організації випадкових випробувань, візуалізації їх результатів.

Аналіз завдань, які можуть бути виконані у навчанні стохастичної математики через використання методу Монте-Карло, підтверджує тезу про те, що його застосування надає навчальному процесу дослідницького характеру. Застосування методу Монте-Карло як engineering-інструменту зміщує акценти навчання з теоретичної в експериментальну площину.

Подальші наші дослідження будуть пов'язані з трансдисциплінарним підходом у підготовці майбутніх учителів математики до впровадження STEM-навчання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Balyk, N., Barna, O., Shmyger, G., & Oleksiuk, V. (2018). Model of Professional Retraining of Teachers Based on the Development of STEM Competencies. *ICT in Education, Research and Industrial Applications. Proc. 14th Int. Conf. ICTERI 2018*, 2, 318–331 https://ceur-ws.org/Vol-2104/paper_157.pdf
- Proskurin, Dm., Gnatyuk, S., & Okhrimenko, T. (2023). Predicting Pseudo-Random and Quantum Random Number Sequences using Hybrid Deep Learning Models. *Proceedings of the Modern Machine Learning Technologies and Data Science Workshop Lviv, Ukraine, June 3, 2023*. 3426 (77-88). <https://ceur-ws.org/Vol-3426/paper7.pdf>
- Vlasenko, K., Lovianova, I., Armash, T., Sitak, I., & Kovalenko, D. (2021). A competency-based approach to the systematization of mathematical problems in a specialized school. *Journal of Physics*. 1946. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1946/1/012003>
- Vlasenko, K., Sitak, I., Chumak, O., & Kondratyeva, O. (2019). Review of the Experience with the Implementation of STEM-education Technologies. *Current Issues in Ensuring the Quality of Mathematical Education*. SCASPEE. 97–110. https://drive.google.com/file/d/0B0mGM6IS_wnKZVpKWfK1LWIKRTdaVndEdFvVLU5SeFRpRWn3/view
- Wolfram Demonstrations Project. (2023). <https://demonstrations.wolfram.com/>
- Жалдак, М. І., Кузьміна, Н. М., & Михалін, Г. О. (2009). *Теорія ймовірностей і математична статистика* (2-ге вид.). Довкілля.
- Крамаренко, Т. Г. (2016). Особливості вивчення методу Монте-Карло в теорії ймовірностей та математичній статистиці. *Новітні комп'ютерні технології* (с. 28-29). Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет», (14). <https://scjournals.eu/ojs/index.php/nocote/issue/view/60/63>
- Пікалова, В. В. (2021). *Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики*. Автореф. дис. канд. пед. наук, Луганський національний університет імені Тараса Шевченка. Репозитарій Луганського національного університету імені Тараса Шевченка. <http://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/handle/123456789/7747>
- Семеніхіна, О. В. (2008). Розв'язування задач методом Монте-Карло у спеціалізованому пакеті MAPLE. *Педагогічні науки*, (3), 406-412. https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/7855/1/Semenikhina_O_V.pdf
- Семеніхіна, О. В., & Друшляк, М. Г. (2015). Розв'язування задач шкільного курсу статистики у середовищах Gran1 і GeoGebra: порівняльний аналіз. *Фізико-математична освіта*, 1 (4), 21-30. <http://repository.sspu.edu.ua/handle/123456789/6169>
- Хоминська, О., Друшляк, М., & Удовиченко, О. (2022). Підтримка вивчення стохастичної лінії в школі засобами динамічної математики. *Освіта. Інноватика. Практика*, 10(3), 59–68. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol10i3-007>

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- Balyk, N., Barna, O., Shmyger, G., & Vasyl, O. (2018). Model of Professional Retraining of Teachers Based on the Development of STEM Competencies. *ICT in Education, Research and Industrial Applications. Proc. 14th Int. Conf. ICTERI 2018*, 2, 318–331 https://ceur-ws.org/Vol-2104/paper_157.pdf
- Proskurin, Dm., Gnatyuk, S., & Okhrimenko, T. (2023). Predicting Pseudo-Random and Quantum Random Number Sequences using Hybrid Deep Learning Models. *Proceedings of the Modern Machine Learning Technologies and Data Science Workshop Lviv, Ukraine, June 3, 2023*. 3426 (77-88). <https://ceur-ws.org/Vol-3426/paper7.pdf>
- Vlasenko, K., Lovianova, I., Armash, T., Sitak, I., & Kovalenko, D. (2021). A competency-based approach to the systematization of mathematical problems in a specialized school. *Journal of Physics*. 1946. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1946/1/012003>
- Vlasenko, K., Sitak, I., Chumak, O., & Kondratyeva, O. (2019). Review of the Experience with the Implementation of STEM-education Technologies. *Current Issues in Ensuring the Quality of Mathematical Education*. SCASPEE. 97–110. https://drive.google.com/file/d/0B0mGM6IS_wnKZVpKWfK1LWIKRTdaVndEdFvVLU5SeFRpRWn3/view
- Wolfram Demonstrations Project. (2023). <https://demonstrations.wolfram.com/>
- Zhalda, M. I., Kuzmina, N. M., & Mykhalin, H. O. (2009). *Teoriia ymovirnostei i matematychna statystyka [Probability theory and mathematical statistics]* (2nd ed.). Dovkillia. (in Ukrainian).
- Kramarenko, T. G. (2016). Osoblyvosti vyvchennia metodu Monte-Karlo v teorii ymovirnostei ta matematychnii statystyky [Peculiarities of studying the Monte Carlo method in probability theory and mathematical statistics]. *Novitni kompiuterni tekhnolohii – The latest computer technologies*. (s. 28-29). Vydavnychiy tsentr DVNZ «Kryvorizkyi natsionalnyi universytet»
- Pikalova, V. V. (2021). *Vykorystannia paketu GeoGebra yak instrumenta realizatsii kontseptsii STEM-osvity u protsesi pidhotovky maibutnikh uchyteliv matematyky [Using the GeoGebra Package as a Tool for Implementing the Concept of STEM Education in the Process of Training*

- Future Mathematics Teachers*] Extended abstract of candidate's thesis. Luhansk Taras Shevchenko National University. <http://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/handle/123456789/7747> (in Ukrainian)
9. Semenikhina, O. V. (2008). Rozviazuvannia zadach metodom Monte-Karlo u spetsializovanomu paketi MAPLE [Solving problems by the Monte Carlo method in a specialized package MAPLE]. *Pedahohichni nauky – Pedagogical sciences*, (3), 406-412. https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/7855/1/Semenikhina_O_V.pdf (in Ukrainian)
 10. Semenikhina, O. V., & Drushliak, M. H. (2015). Rozviazuvannia zadach shkilnoho kursu statystyky u seredovyshchakh Gran1 i GeoGebra: porivnialnyi analiz [Solving problems of the school statistics course in Gran1 and GeoGebra environments: a comparative analysis]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and mathematical education*, 1 (4), 21-30. <http://repository.sspu.edu.ua/handle/123456789/6169> (in Ukrainian)
 11. Khomyńska, O., Drushliak, M., & Udovychenko, O. (2022). Pidtrymka vyvchennia stokhastychnoi linii v shkoli zasobamy dynamichnoi matematyky [Supporting the study of stochastic line at school by means of dynamic mathematics]. *Osvita. Innovatyka. Praktyka – Education. Innovation. Practice*, 10(3), 59–68. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol10i3-007> (in Ukrainian).



Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
 Has been issued since 2013.

Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
 Виходить з 2013.



p-ISSN 2413-1571
 e-ISSN 2413-158X

DOI: 10.31110/2413-1571
<https://fmo-journal.org/>

DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-4-007

УДК 004.853

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВІДКРИТОЇ НАУКИ ДЛЯ ПРОФЕСІЙНОГО РОЗВИТКУ ТА ДІЯЛЬНОСТІ ВЧИТЕЛІВ

Юлія НОСЕНКО ✉

Інститут цифровізації освіти НАПН України, Україна
 nosenko-y@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-9149-8208>

MODELING THE ECOSYSTEM OF OPEN SCIENCE FOR THE PROFESSIONAL DEVELOPMENT AND ACTIVITY OF TEACHERS

Yuliia NOSENKO ✉

The Institute for Digitalisation of Education of NAES of Ukraine, Ukraine
 nosenko-y@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-9149-8208>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. Розвиток цифрових засобів, хмаро орієнтованих систем сприяє підвищенню доступності здобутків відкритої науки, відкриває нові можливості для фахівців різних сфер діяльності, в т.ч. вчителів закладів загальної середньої освіти. Так, хмаро орієнтовані сервіси відкритої науки мають потенціал значно покращити професійний розвиток вчителів, надаючи їм доступ до великої кількості ресурсів, інструментів і можливостей для підвищення якості навчання та викладання.

Матеріали і методи. Представлено деякі результати дослідження, що виконується в рамках проекту «Хмаро орієнтовані системи відкритої науки у навчанні і професійному розвитку вчителів» (реєстраційний номер 2020.02/0310) за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України. Застосовано теоретичні методи, зокрема аналіз дослідницьких робіт вітчизняних і закордонних дослідників, експертів, аналіз міжнародних документів, рекомендацій.

Результати. Розроблено модель системи відкритої науки, що містить: принципи та чинники, які сприятимуть її успішній реалізації; фасилітаторів, які залучені в процеси запровадження відкритої науки; бенефіціарів – суб'єктів, які отримують від цього максимальну користь; е-інфраструктуру. Визначено можливості використання відкритої науки у професійному розвитку та діяльності вчителів; можливості та переваги хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки для професійного розвитку вчителів. Обґрунтовано виклики відкритої науки та чинники подолання перешкод на шляху її запровадження. Розроблено рекомендації щодо розвитку системи відкритої науки, які можна використати як для поширення принципів відкритої науки загалом, так і для покращення професійного розвитку та діяльності вчителів зокрема.

Висновки. Нині відкрита наука є невід'ємним елементом розвитку сучасного глобалізованого світу, що сприяє підвищенню якості, прозорості і достовірності наукових досліджень. Її запровадження і розвиток стали можливими завдяки широкому застосуванню цифрових засобів, зокрема хмаро орієнтованих сервісів і систем. Для вчителів застосування хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки відкриває потенціал для професійного розвитку, надаючи доступ до великої кількості ресурсів, інструментів та можливостей для підвищення якості навчання та викладання. При цьому успішність моделювання і запровадження системи відкритої науки залежить від узгодженості та ефективності взаємодії різних суб'єктів відкритої науки – від політиків до освітян.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: відкрита наука; цифрові технології; хмаро орієнтовані сервіси і системи; професійний розвиток вчителів; моделювання.

ABSTRACT

Formulation of the problem. The development of digital tools, cloud-oriented systems, contributes to increasing the accessibility of achievements of open science, reveals new opportunities for specialists in various fields of activity, including teachers of general secondary schools. Thus, cloud-based open science services have the potential to significantly improve the professional development of teachers by giving them access to a large number of resources, tools and opportunities to improve the quality of learning and teaching.

Materials and methods. The article presents some results of the research within the project «Cloud-oriented systems of open science in teaching and professional development of teachers» (registration number 2020.02/0310) implemented with grant support from the National Research Fund of Ukraine. Theoretical methods are applied, in particular, analysis of research works of domestic and foreign researchers, experts, analysis of international documents, recommendations.

Results. A model of the ecosystem of open science has been developed, which contains: principles and factors that will contribute to its successful implementation; facilitators who are involved in the processes of introducing open science; beneficiaries - subjects who will get the maximum benefit from it; e-infrastructure. The possibilities of using open science in the professional development and activities of teachers have been determined; opportunities and advantages of cloud-oriented services of open science for the professional development of teachers have been defined. The challenges of open science and factors for overcoming obstacles on the way to its introduction are substantiated. Recommendations for the development of the open science ecosystem have been developed, which can be used both to spread the principles of open science in general and to improve the professional development and activities of teachers in particular.

Conclusions. Today, open science is an integral element of the development of the modern globalized world, which contributes to increasing the quality, transparency and credibility of scientific research. Its implementation and development became possible due to the widespread use of digital tools, in particular cloud-oriented services and systems. For a teacher, the use of cloud-oriented services of open science opens up the potential for professional development, providing access to a large number of resources, tools and opportunities for improving the quality of learning and teaching. At the same time, the success of the modelling and implementation of the ecosystem of open science depends on the coherence and effectiveness of the interaction of various subjects of open science - from politicians to educators.

KEYWORDS: open science; digital technologies; cloud-oriented services and systems; teachers' professional development; modelling.

ВСТУП

Формулювання проблеми. Відкрита наука – невід'ємний елемент розвитку сучасного глобалізованого світу. Вона сприяє підвищенню якості наукових досліджень (за рахунок прозорості, відкритості даних і методів, вільному доступу до наукових знань і результатів досліджень, можливості репродукції досліджень та ін.), прискоренню наукового

Для цитування:

Носенко Ю. Моделювання системи відкритої науки для професійного розвитку та діяльності вчителів. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 4. С. 49-55. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-4-007
 Носенко, Ю. (2023). Моделювання системи відкритої науки для професійного розвитку та діяльності вчителів. *Фізико-математична освіта*, 38(4), 49-55. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-007>

For citation:

Nosenko, Yu. (2023). Modeling the ecosystem of open science for the professional development and activity of teachers. *Physical and Mathematical Education*, 38(4), 49-55. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-007>
 Nosenko, Yu. (2023). Modeliuvannya systemy vidkrytoї nauky dlia profesinoho rozvytku ta diialnosti vchyteliv [Modeling the ecosystem of open science for the professional development and activity of teachers]. *Fiziko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(4), 49-55. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-007>

✉ Corresponding author

© Yu. Nosenko, 2023

процесу (через доступність інформації, можливість спільної роботи, колаборації, відкритий обмін ідеями і досвідом). У цілому, відкрита наука сприяє прозорості, контролю якості і збільшенню достовірності наукових досліджень, посиленню довіри до наукових результатів.

Упровадження і розвиток відкритої науки в глобальному вимірі стали можливими завдяки широкому застосуванню цифрових засобів – мережних технологій, хмаро орієнтованих сервісів і платформ, систем штучного інтелекту та ін.

Серед аспектів, за якими цифрові технології сприяють розвитку відкритої науки, варто відзначити:

- відкритий доступ до наукових даних і публікацій (цифрові архіви, онлайн-журнали, репозиторії тощо);
- співпраця та комунікація (веб-технології, соціальні мережі й ін. засоби синхронної та асинхронної віддаленої комунікації);
- аналіз даних – складний аналіз даних і моделювання, що полегшує виявлення нових зв'язків і закономірностей у наукових дослідженнях;
- відкрите оцінювання наукових робіт – використання цифрових платформ для відкритого рецензування, обміну думками та коментарями;
- відкрита освіта – цифрові технології сприяють доступності освітніх матеріалів та навчальній взаємодії, дозволяючи людям навчатися і підвищувати свою кваліфікацію будь-де, будь-коли.

Цифрові технології розширюють можливості відкритої науки, роблять науковий процес більш демократичним, підвищують якість наукових досліджень, дозволяючи залучити більшу кількість людей, сприяючи обміну знаннями та інформацією. Поширення і доступність здобутків відкритої науки підвищується за рахунок розвитку хмаро орієнтованих систем, що відкриває нові можливості для фахівців різних сфер діяльності, зокрема вчителів закладів загальної середньої освіти. Так, хмаро орієнтовані сервіси відкритої науки мають потенціал значно покращити професійний розвиток вчителів, надаючи їм доступ до величезної кількості ресурсів, інструментів та можливостей для підвищення якості навчання та викладання.

При цьому варто відзначити, що успішність моделювання і запровадження системи відкритої науки залежить від узгодженості та ефективності взаємодії різних суб'єктів відкритої науки.

Аналіз актуальних досліджень. Організація економічного співробітництва та розвитку (the Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) визначає відкриту науку як загальну доступність (у цифровому форматі, без обмежень або з мінімальними обмеженнями) результатів досліджень, що фінансуються за державний рахунок (OECD, 2015).

Згідно з рекомендаціями ЮНЕСКО щодо відкритої науки (UNESCO, 2021), відкриту науку визначено як інклюзивний конструкт, що поєднує різні рухи і практики, спрямовані на забезпечення відкритості та доступності наукових знань для кожного, розширення наукового співробітництва та обміну інформацією на користь науки і суспільства, забезпечення відкритості процесів створення наукових знань, їх оцінювання та наукової комунікації для суб'єктів, яку не належить до наукової спільноти.

Хмаро орієнтовані системи відкритої науки, що є гнучким, потужним, функціональним засобом підтримки професійного розвитку та діяльності, привертають все більшу увагу дослідників.

В Україні досягнуто значних результатів щодо дослідження теоретичних та методологічних засад проектування інформаційно-освітніх середовищ відкритої освіти (В. Ю. Биков (Вуков та ін., 2020), С. Г. Литвинова (Коваленко та ін., 2020), М. В. Мар'єнко (Мар'єнко та ін., 2021), С. О. Семеріков, М. П. Шишкіна та ін.).

Закордонними дослідниками визначено теоретичні засади (Fecher та ін., 2014; Tacke, 2010), тенденції, проблеми і перспективи запровадження технологій відкритої науки (В. Kumar, М. Raju, I. Larsen-Ledet (Larsen-Ledet та ін., 2019), Н. Korsgaard, N. Chakravorty (Chakravorty та ін., 2022) та ін.), узагальнено рекомендації щодо впровадження практик відкритої науки (Banks та ін., 2019) та ін.

Ці та інші роботи вітчизняних і закордонних авторів утворюють методологічний базис для подальших досліджень за даним напрямом, спираючись на розуміння того, що хмаро орієнтовані системи відкритої науки є новим етапом розвитку відкритих освітніх систем.

Мета – розробити модель системи відкритої науки для успішного запровадження відкритих наукових результатів загалом та для професійного розвитку і діяльності вчителів зокрема.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У даній статті представлено деякі результати дослідження, що виконується в рамках проекту «Хмаро орієнтовані системи відкритої науки у навчанні і професійному розвитку вчителів» (реєстраційний номер 2020.02/0310) за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України.

Застосовано теоретичні методи науково-педагогічного пошуку. Зокрема, аналіз дослідницьких робіт вітчизняних і закордонних дослідників, експертів, аналіз міжнародних документів, рекомендацій. У результаті синтезу, узагальнення аналітичної роботи здійснено розробку рекомендацій щодо розвитку системи відкритої науки, які можна використати як для поширення принципів відкритої науки загалом, так і для покращення професійного розвитку та діяльності вчителів зокрема.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Обговорюючи відкриту науку доцільно наголосити, що ключовим аспектом її реалізації є співпраця, що в сучасних умовах може здійснюватися напряму (офлайн) та опосередковано (розподілено), із застосуванням цифрових технологій. Постійний наголос на «цифрі» вказує на значущість технологічного фактору в розвитку сучасної цивілізації загалом та відкритої науки зокрема. З одного боку можна спостерігати цифровий розрив (цифрову, інформаційну

нерівність) та його наслідки у соціальній, культурній, економічній, освітній та ін. сферах. З іншого – постійне розроблення нових обчислювальних інфраструктур, технологій, стандартів, рекомендацій для підтримки відкритої науки. В Україні цифровий розрив особливо відчутний, якщо порівнювати якість Інтернет-з'єднання у загальноосвітніх школах в містах та сільській місцевості.

Пов'язані терміни «відшукуваність», «доступність», «сумісність», «відтворюваність» (від принципів FAIR – Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable) поклали початок дослідженням у галузях інформатики та є ключовими для розуміння нових викликів, що виникають перед цифровими технологіями. До прикладу, «відтворюваність» (або «повторне використання»), зокрема, може передбачати перепрофілювання та призводити до побоювань дослідників щодо потенційних небажаних побічних ефектів від їхніх досліджень. Це одна з причин того, що деякі вчені та інші фахівці досі не прагнуть поширювати проміжні і кінцеві результати своїх робіт у цифровому просторі.

Такі побоювання створюють перепони поширенню концепції відкритої науки. Важливо пам'ятати, що відкрита наука не є протиставленням традиційній науці. Натомість вона передбачає, що дослідження здійснюються більш прозоро, у співпраці, із застосуванням сучасних цифрових засобів. І це стосується всіх наукових дисциплін.

Основу системи відкритої науки складає саме співпраця. На рис. 1 зображено цикл, в якому поширюються результати наукових пошуків для забезпечення можливості співпраці шляхом повторного використання, безперервного обміну результатами, поширення розробок і знань.

Центральним фокусом цієї системи є спільний доступ до наукових результатів, зокрема публікацій. Часто поняття відкритих публікацій вживають у сенсі відкритої науки, як синонімічне поняття. Досі тривають дискусії щодо необхідності 100% відкритості публікацій, що зумовлює необхідність оновлення економічних моделей видавничої справи. Також предметом дискусій виступають відкритість даних, запровадження чого потребує додання низки культурних, політичних та ін. бар'єрів. Однією з причин неузгодженості є відсутність на глобальному рівні спільного розуміння поняття «публікація» та шляхів її поширення. Ця проблема стосується і наукових результатів через невизначеність сутності цих результатів, їхню значну варіативність (від наукової статті до прикладної розробки, програмного коду і т.ін.). Глибина проблеми відрізняється у залежності від низки факторів: наукової дисципліни, географічного регіону тощо.

Побудова системи відкритої науки має відбуватися як за принципами FAIR, згаданими вище (відшукуваність, доступність, сумісність, відтворюваність), так і за принципами співпраці: довіри, рівності, інклюзивності (підтримки різноманітності), відповідальності. Відповідальність передбачає дотримання принципів наукової етики, авторського права, законодавчих норм.

Серед чинників, що сприятимуть успішній реалізації системи відкритої науки, розглядаємо такі:

- зміна культури ведення наукових досліджень – формування у фахівців та суспільстві загалом розуміння того, що наукові дослідження мають здійснюватися за принципами FAIR та за принципами співпраці;
- навчання і підготовка – формування у майбутніх та практикуючих дослідників компетентностей відкритої науки, здатності ефективно працювати у відкритому науковому просторі;
- нарощування потенціалу – мотивування, створення механізмів заохочення, залучення молоді до наукової діяльності; заохочення фахівців різних галузей (зокрема, вчителів) до використання наукових здобутків;
- фінансування – матеріальна підтримка процесів впровадження відкритої науки на різних рівнях (локальному, регіональному, державному, глобальному).

Серед фасилітаторів (тобто суб'єктів, які залучені в процеси запровадження відкритої науки) розглядаємо:

- законодавчі органи, що створюють нормативне підґрунтя для регулювання процесів на різних рівнях – державному, міжнародному та ін. (у т.ч. законодавці, політики, розробники державної політики і т.ін.);
- донори – різноманітні фонди, спонсори, грантодавачі, які надають фінансову підтримку дослідженням на конкурсних умовах;
- наукові установи – головні суб'єкти запровадження відкритої науки, які безпосередньо працюють над створенням і поширенням наукових результатів;
- освітні установи – реалізують підготовку нових наукових кадрів, забезпечують розвиток актуальних компетентностей, формують думку щодо цінностей і переваг відкритої науки, впроваджують актуальні наукові результати в освітньому процесі (зокрема, на базі закладів загальної середньої освіти) тощо;
- технічна підтримка – суб'єкти, що здійснюють реалізацію і підтримку електронних мереж, платформ, сервісів і т.ін. для запровадження відкритої науки (до прикладу, технічна підтримка електронних журналів, бібліотек, хмарної інфраструктури EOSC, мережних підключень в закладах освіти тощо);
- видавництва – суб'єкти, основним видом діяльності яких є підготовка і випуск видавничої продукції. У контексті відкритої науки актуальності набуває саме випуск електронної продукції, натомість попит на друковану продукцію поступово знижується. Це зумовлює необхідність переформатування роботи видавництва, орієнтацію їх на електронний контент.

Основними бенефіціарами (тобто тими суб'єктами, які отримують максимальну користь від зазначених процесів) вважаємо:

- науковий сектор (наукові установи, дослідницькі організації та ін.);
- освітній сектор (заклади освіти різного рівня);
- економічний сектор (промисловість, виробництво, інновації тощо);
- суспільство загалом.

Для побудови системи відкритої науки важливе функціонування електронної інфраструктури, зокрема мереж і платформ (наприклад, EOSC), спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад, журнальних систем), репозиторіїв (електронних бібліотек) тощо. Для підтримки електронної інфраструктури необхідним є якісне мережне з'єднання, швидкісне підключення до мережі Інтернет для ефективної взаємодії. Також потрібно забезпечити потрібні потужності

для виконання обчислювальних завдань, які цього потребують. Наразі переважна більшість електронних послуг є хмаро орієнтованими (надаються і обслуговуються через «хмару»), що дозволяє мінімізувати витрати та мати безперервний доступ до необхідних сервісів і платформ, будь-де і будь-коли.



Рис. 1. Модель системи відкритої науки

Очевидно, модель системи відкритої науки охоплює різні рівні – від освітнього і наукового до загально суспільного. Ефективна реалізація відкритих наукових досліджень та запровадження їхніх результатів можлива за умов співпраці усіх зазначених суб'єктів. Розглянемо, як це реалізується на рівні закладів загальної середньої освіти, зокрема у професійному розвитку та діяльності вчителів.

Можливості використання відкритої науки у професійному розвитку та діяльності вчителів:

– доступ до актуальної інформації – вчителі можуть скористатися відкритими науковими ресурсами для отримання останніх даних зі своєї дисципліни. Це допомагає підвищити їхню компетентність, формувати в учнів актуальні знання;

– навчальні матеріали для вчителів – відкрита наука слугує джерелом навчальних матеріалів для вчителів. Вони можуть знайти безкоштовні підручники, статті, відео та інші ресурси для використання в освітньому процесі – як для власного розвитку, так і для застосування на заняттях з учнями;

– дослідницькі можливості для вчителів – відкрита наука дозволяє вчителям брати участь у дослідженнях та проектах, що стосуються їхньої дисципліни, співпрацювати з науковцями і розвивати власні дослідницькі навички;

– збільшення мотивації учнів – відкрита наука може стати джерелом натхнення для учнів, їхнього пізнання актуальних наукових відкриттів, застосування знань у реальному світі, що може збільшити їхню мотивацію до навчання;

– сприяння критичному мисленню – відкрита наука сприяє розвитку критичного аналізу і оцінці джерел інформації. Вчителі можуть використовувати це як можливість для розвитку навичок критичного мислення;

– можливість впровадження інновацій – вчителі можуть використовувати інновації та передові методи навчання, які базуються на актуальних наукових відкриттях, що дозволяє покращити якість навчання;

– глобальна співпраця – відкрита наука сприяє глобальній співпраці між учителями та освітніми закладами з різних країн, що може сприяти обміну досвідом та ресурсами, створенню спільних проектів.

Відкрита наука розширює можливості вчителів, робить процес навчання більш науково обґрунтованим, захопливим та інформативним, що сприяє підвищенню якості освіти. При цьому хмаро орієнтовані сервіси відкритої науки мають потенціал значно покращити професійний розвиток вчителів, надаючи їм доступ до величезної кількості ресурсів, інструментів та можливостей для підвищення якості навчання та викладання.

Можливості та переваги хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки для професійного розвитку вчителів:

– доступ до величезних обсягів інформації: хмарні сервіси дозволяють вчителям отримувати доступ до великих обсягів наукових статей, журналів, книг та даних, що можуть бути корисними для підготовки уроків та ін. видів професійної активності;

– спільна робота та обмін досвідом: вчителі можуть використовувати хмарні сервіси для спільної роботи над проектами з іншими вчителями, обміну досвідом. Це сприяє розвитку спільноти вчителів і підвищенню якості навчання;

– зручний доступ до інструментів для аналізу даних: хмарні сервіси надають доступ до різноманітних інструментів для аналізу даних, які можуть бути корисними для оцінювання успішності учнів, створення персоналізованих навчальних матеріалів і розвитку стратегій викладання;

– можливість створення та публікації власних досліджень: вчителі можуть використовувати хмарні сервіси для створення і публікації власних досліджень та навчальних матеріалів, що сприяє їхньому професійному розвитку та підвищенню авторитету в галузі освіти;

– адаптивність та оновлення: хмарні сервіси постійно оновлюються та розвиваються, надаючи вчителям доступ до нових інструментів і можливостей для навчання та викладання;

– зменшення витрат на матеріали та зберігання даних: за допомогою хмарних сервісів відкритої науки вчителі можуть зменшити витрати на паперові матеріали та зберігання даних, оскільки великі обсяги інформації можуть бути збережені в електронному форматі та доступні будь-де, будь-коли;

– підвищення ефективності навчання: за допомогою хмарних сервісів вчителі можуть створювати інтерактивні навчальні матеріали, відеоуроки та тести, що сприяє підвищенню ефективності навчання та залученню учнів;

– підвищення конкурентоспроможності: знання та використання хмарних сервісів відкритої науки може підвищити конкурентоспроможність вчителя на ринку праці та сприяти його професійному зростанню.

Виклики відкритої науки. Відкрита наука зумовлює необхідність змін у дослідницькій методології і практиці, у процесах впровадження – на рівні мислення, ментальності. Проблеми побудови системи відкритої науки охоплюють дві групи:

– людський фактор – необхідність оновлення цінностей, культури, модернізація освітньої і наукової сфери, формування свідомого відношення до запровадження відкритої науки, відповідних компетентностей та ін. На рівні закладів загальної середньої освіти – формування у вчителів умовленості, свідомого прагнення до застосування переваг відкритої науки;

– технічний фактор – необхідність побудови якісної електронної інфраструктури, підготовки фахівців до підтримки і роботи з такою інфраструктурою та її постійного вдосконалення. На технічному рівні можуть виникати перепони: фізичні (наприклад, невідповідна електронна інфраструктура), адміністративні (наприклад, потреба реструктуризації певних структур, установ, підрозділів чи ін.), компетентнісні (наприклад, відсутність належних навичок, умінь у технічного персоналу), юридичні (наприклад, пов'язані з законодавчою базою для обліку ліцензій, інтелектуальної власності тощо). Відсутність або низька якість Інтернет-з'єднання, ненадійне живлення, застріле обладнання, ігнорування питань безпеки – все це призводить до невідповідності електронної інфраструктури, до неможливості забезпечення умов відкритості.

Різні фасилітатори (суб'єкти, залучені в процеси запровадження відкритої науки) мають об'єднатися у забезпеченні інклюзивності (підтримки різноманітності), сприяти рівноправній співпраці, справедливості і рівності у доступі до наукових надбань, враховувати відмінності, що існують в різних секторах економіки, регіональні особливості.

Чинники подолання перешкод на шляху запровадження відкритої науки.

– Освіта: важливо підвищувати обізнаність як майбутніх, так і практикуючих освітян (зокрема, вчителів) щодо сутності, принципів, способів реалізації, переваг відкритої науки, особливостей глобальної співпраці. Розвиток глобальної науки в багатодисциплінарному, мультикультурному контексті, наукова етика, безпека та конфіденційність даних, відкриті дані (будь то публікації чи програмне забезпечення) – ці та інші питання повинні розглядатися в рамках підготовки не лише наукових кадрів, а й кадрів освіти. Також при підготовці доцільно розглянути такі проблеми як «розриви» (gaps) – між науковою сферою і сферою практичної реалізації, між регіонами (в сенсі цифрової неоднорідності – технічного оснащення і цифрової компетентності; різного рівня забезпечення наукового сектору та ін.).

– Стимулювання: публічне визнання зусиль і досягнень фахівців у поширенні відкритої науки, що може виражатися в розробленні системи нагород, включенні відповідних критеріїв для прийому на посади і кар'єрного зростання, матеріальному заохоченні тощо. Стимулювання, заохочення може створити підґрунтя для мотивування поширювати у відкритому просторі результати своїх надбань, дотримуватися принципів FAIR.

– Електронна інфраструктура: важливо забезпечити доступний широкопasmовий Інтернет у всіх регіонах, в т.ч. сільській, віддаленій місцевості; підтримувати спільний доступ до широкого спектру ресурсів, включаючи апаратні системи, безпечні обчислювальні середовища на базі хмаро орієнтованих систем; забезпечити підготовку технічних фахівців, здатних здійснювати підтримку дослідницьких цифрових сервісів та інфраструктур, проєктувати і розробляти відкрите програмне забезпечення для потреб відкритої науки тощо. На рівні закладів загальної середньої освіти – запровадження ставок для фахівців, які підтримуватимуть електронну інфраструктуру закладу, формування у вчителів цифрової компетентності на рівні, достатньому для застосування відкритих електронних ресурсів, цифрових сервісів.

Долання зазначених перепон сприятиме запровадженню системи відкритих наукових досліджень, що поєднає різні сектори на регіональному, державному та глобальному рівнях для взаємодії, спільного покращення суспільного добробуту. Поряд із цим, важливо зазначити, що першочерговими змінами, які потрібно ініціювати, є культурні зміни, у т.ч. формування свідомого відношення, відповідальності, вмотивованості, відповідної ментальності майбутніх і практикуючих наукових і освітніх кадрів. Зокрема, у підготовці вчителів необхідно закласти кластер відкритої науки – формування їхньої компетентності щодо можливостей і практичного застосування принципів і переваг відкритої науки. Таку підготовку можна здійснювати у закладах вищої педагогічної освіти, закладах післядипломної педагогічної освіти. Доцільним є створення доступних дистанційних курсів, що сприяли б неперервному професійному розвитку вчителів у даному контексті.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Отже, нині відкрита наука є невід'ємним елементом розвитку сучасного глобалізованого світу, що сприяє підвищенню якості наукових досліджень, їхньої прозорості і достовірності, посиленню довіри до наукових результатів. Упровадження і розвиток відкритої науки стали можливими завдяки широкому застосуванню цифрових засобів, зокрема хмаро орієнтованих систем.

Для вчителя застосування хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки відкриває потенціал для професійного розвитку, надаючи доступ до величезної кількості ресурсів, інструментів та можливостей для підвищення якості навчання та викладання. При цьому успішність моделювання і запровадження системи відкритої науки залежить від узгодженості та ефективності взаємодії різних суб'єктів відкритої науки – від політиків до освітан.

У результаті виконаної дослідницької роботи ми розробили рекомендації, спрямовані на подальший розвиток системи відкритої науки, та які можуть бути адресовані різним суб'єктам реалізації відкритої науки. Вважаємо, що тільки шляхом узгодженої співпраці різних зацікавлених сторін можна досягти значущих результатів.

Рекомендації щодо розвитку системи відкритої науки:

– Зміцнення зв'язків між наукою та суспільством, зокрема шляхом популяризації науки, залучення громадян до участі в розв'язанні проблем суспільного значення і т.ін. Впровадження та просування практик відкритої науки.

– Пропагування і всебічна підтримка науки, зокрема відкритої науки, на державному, громадському рівнях. Формування у суспільстві усвідомлення того, що наукові здобутки, знання сприяють подоланню проблем, криз різного рівня і складності.

- Сприяння обізнаності щодо можливостей і переваг, що надає запровадження принципів відкритої науки.

– Забезпечення рівного доступу до наукових результатів – як для дослідників різних галузей, так і для освітян (вчителів), громадськості (виробників, споживачів та ін.).

– Сприяння культурним, ментальним змінам у веденні наукових досліджень, як на рівні методології, так і на рівні практики.

– Забезпечення узгодженої політики щодо запровадження відкритої науки, зокрема шляхом відповідних дискусій на глобальному рівні, створення міжнародних угод.

– Забезпечення розвитку національної та міжнародної нормативно-правової бази, що сприяла б обміну науковими результатами, доступності наукових репозиторіїв попри міждержавні кордони.

- Розвиток якісної електронної інфраструктури для підтримки відкритої науки, забезпечення норм кібербезпеки.

– Розвиток електронних платформ відкритої науки для сприяння доступності, інклюзивності наукового прогресу для вирішення актуальних регіональних проблем.

- Сприяння розвитку компетентностей відкритої науки, навчання суб'єктів, які забезпечують підтримку відкритих даних, публікацій, програмного забезпечення.

- Сприяння співпраці державного і приватного секторів для посилення відкритої науки.

– Створення нових бізнес-моделей, відповідних умов для видавництва, щоби вони могли забезпечувати відкриту публікацію наукових результатів та доступ до них.

– Сприяння швидкій, оперативній доступності проміжних результатів досліджень у разі виникнення надзвичайних ситуацій глобального і регіонального рівнів.

- Розроблення нормативної бази для підтримки відкритих даних, відкритого програмного забезпечення.

- Розроблення системи заохочень тих суб'єктів, які запроваджують практики відкритих досліджень.

– Розроблення механізмів для вирішення проблем неправомірної поведінки в науковій сфері (зокрема, запровадження відповідальності за фальсифікацію результатів, порушення норм авторського права, наукової етики, плагіат тощо).

Реалізація рекомендацій сприятиме подальшому розвитку відкритої науки, науковій співпраці, покращенню якості наукової та освітньої діяльності, підготовки та професійної діяльності майбутніх і практикуючих фахівців, зокрема вчителів.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на формування і розвиток компетентностей (цифрової компетентності, компетентностей відкритої науки) різних суб'єктів діяльності науково-освітнього простору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Коваленко, В., Литвинова, С., Мар'єнко, М., & Шишкіна, М. (2020). Хмаро орієнтовані системи відкритої науки у навчанні і професійному розвитку вчителів: зміст основних понять дослідження. *Фізико-математична освіта*, 25 (3), 67–74. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2020-025-3-028>
2. Мар'єнко, М., Носенко, Ю., Шишкіна, М. (2021). Засоби і сервіси європейської хмари відкритої науки для підтримки науково-освітньої діяльності. *Фізико-математична освіта*, 31 (5), 60–66. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-031-5-009>.
3. Banks, G., Field, J., Oswald, F., O'Boyle, E. et al. (2019). Answers to 18 Questions About Open Science Practices. *Journal of Business and Psychology*, 34. <https://doi.org/10.1007/s10869-018-9547-8>.
4. Bykov, V., Mikulowski, D., Moravcik, O., Svetsky, S., & Shyshkina, M. (2020). The Use of the Cloud-Based Open Learning and Research Platform for Collaboration in Virtual Teams. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 76 (2), 304–320. <https://doi.org/10.33407/itlt.v76i2.3706>.
5. Chakravorty, N., Sharma, C.S., Molla, K. A., & Pattanaik, J. K. (2022). Open Science: Challenges, Possible Solutions and the Way Forward. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 88, 456–471. <https://doi.org/10.1007/s43538-022-00104-2>.
6. Fecher, B., & Friesike, S. (2014). *Open Science: One Term, Five Schools of Thought*. In: Bartling, S., Friesike, S. (eds) *Opening Science*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00026-8_2
7. Hall R. Information Technology for Open Science: Innovation for Research. 2020. URL: <https://goo.su/9Emv>
8. Larsen-Ledet, I., & Korsgaard, H. (2019). Territorial Functioning in Collaborative Writing: Fragmented Exchanges and Common Outcomes. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 28 (3–4), 391–433. <https://doi.org/10.1007/s10606-019-09359-8>
9. OECD (2015), "Making Open Science a Reality", *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, No. 25, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5jrs2f963zs1-en>.
10. Tacke, O. (2010). *Open Science 2.0: How Research and Education Can Benefit from Open Innovation and Web 2.0*. In: Bastiaens, T.J., Baumöl, U., Krämer, B.J. (eds) *On Collective Intelligence. Advances in Intelligent and Soft Computing*, vol 76. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14481-3_4.
11. UNESCO Recommendation on Open Science (2021). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379949/PDF/379949eng.pdf>

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Kovalenko, V., Lytvynova, S., Marienko, M., & Shyshkina, M. (2020). Cloud Oriented Systems of Open Science in Teacher Teaching and Professional Development: Contents of the Basic Concepts of Research. *Physical and Mathematical Education*, 25 (3), 67–74. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2020-025-3-028>
2. Marienko, M., Nosenko, Yu., & Shyshkina, M. (2021). Tools and services of the European Cloud of Open Science to Support Scientific and Educational Activities. *Physical and Mathematical Education*, 31 (5), 60–66. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-031-5-009>
3. Banks, G., Field, J., Oswald, F., O'Boyle, E. et al. (2019). Answers to 18 Questions About Open Science Practices. *Journal of Business and Psychology*, 34. <https://doi.org/10.1007/s10869-018-9547-8>
4. Bykov, V., Mikulowski, D., Moravcik, O., Svetsky, S., & Shyshkina, M. (2020). The Use of the Cloud-Based Open Learning and Research Platform for Collaboration in Virtual Teams. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 76 (2), 304–320. <https://doi.org/10.33407/itlt.v76i2.3706>
5. Chakravorty, N., Sharma, C.S., Molla, K. A., & Pattanaik, J. K. (2022). Open Science: Challenges, Possible Solutions and the Way Forward. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 88, 456–471. <https://doi.org/10.1007/s43538-022-00104-2>
6. Fecher, B., & Friesike, S. (2014). *Open Science: One Term, Five Schools of Thought*. In: Bartling, S., Friesike, S. (eds) Opening Science. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00026-8_2
7. Hall R. Information Technology for Open Science: Innovation for Research. 2020. URL: <https://goo.su/9Emv>
8. Larsen-Ledet, I., & Korsgaard, H. (2019). Territorial Functioning in Collaborative Writing: Fragmented Exchanges and Common Outcomes. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 28 (3–4), 391–433. <https://doi.org/10.1007/s10606-019-09359-8>
9. OECD (2015), "Making Open Science a Reality", *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, No. 25, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5jrs2f963zs1-en>
10. Tacke, O. (2010). *Open Science 2.0: How Research and Education Can Benefit from Open Innovation and Web 2.0*. In: Bastiaens, T.J., Baumöl, U., Krämer, B.J. (eds) On Collective Intelligence. Advances in Intelligent and Soft Computing, vol 76. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14481-3_4
11. UNESCO Recommendation on Open Science (2021). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379949/PDF/379949eng.pdf>



Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
 Has been issued since 2013.
 Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
 Видається з 2013.



p-ISSN 2413-1571
 e-ISSN 2413-158X

DOI: 10.31110/2413-1571
<https://fmo-journal.org/>

DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-4-008

УДК 378:371.134:51

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ЛІНЗА РЕАЛЬНОГО СВІТУ

Алла ПРУС ✉

Житомирський державний університет
 імені Івана Франка, Україна
pruswork@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8869-2544>

MATHEMATICAL MODELING AS A LENS OF THE REAL WORLD

Alla PRUS ✉

Zhytomyr Ivan Franko State University, Ukraine
pruswork@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8869-2544>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. Математичне моделювання сьогодні є не просто трендом, а нагальною потребою освіти. Однак впровадження в шкільний курс математики цього методу як методу наукового дослідження та основи для розвитку, для набуття математичних знань і вмінь є досить обмеженим.

Матеріали і методи. Аналіз навчально-методичної літератури з проблеми дослідження; систематизація й узагальнення різних підходів до визначення змісту математичного моделювання; аналіз та систематизація вітчизняного та зарубіжного досвіду використання методу математичного моделювання.

Результати. У статті представлено частину результатів дослідження про зміст математичного моделювання в освіті за кордоном (базуючись на публікаціях в англійськомовних джерелах) та в Україні. Розглянуті різні формулювання означення математичного моделювання, окреслено терміни, які вживають науковці, вивчаючи це поняття. Акцентовано увагу на важливості аналізу математичного моделювання як діяльності та як структури. Представлені схеми циклу математичного моделювання, які найчастіше використовуються у науково-методичних роботах. На основі аналізу структур компетенції математичного моделювання, які подані у дослідженнях різних авторів, виокремлено групи підкомпетенцій. Вони є важливими для формування вмінь на навичок розв'язувати відповідні модельні завдання.

Висновки. Розкриття змісту поняття математичного моделювання допоможе вчителю зосередитись на конкретних окремих діях, які варто опанувати учням для успішного здійснення всього циклу математичного моделювання. Для дійсного використання математичного моделювання у шкільному курсі математики, у відповідних вузівських курсах важливими є фактори зацікавленості вчителів (викладачів) математики та наявності у них відповідних знань та вмінь.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: моделювання; прикладна задача; практична задача; модельна задача; цикл математичного моделювання; компетенції математичного моделювання.

ABSTRACT

Formulation of the problem. Mathematical modeling today is not just a trend, but an urgent need for education. However, the introduction of this method into the school course of Mathematics as a method of scientific research and the basis for the development, for acquiring mathematical knowledge and skills is quite limited.

Materials and Methods. The analysis of the courseware on the research problem; the systematization and generalization of different approaches to determine the content of mathematical modelling; the analysis and systematization of domestic and foreign experience in using the method of mathematical modelling.

Results. A part of our research on the content of mathematical modelling in education abroad (based on publications in English-language sources) and in Ukraine in this paper is presented. Various definition statements of mathematical modelling are considered, the terms that scientists use when studying this concept are outlined. The attention is focused on the importance of the analysis of mathematical modelling as an activity and the structure as well. The cycle schemes of mathematical modelling, which are most often used in the scientific and methodological papers, are introduced. Based on the analysis of the structures of the competence in mathematical modelling that are described in the studies of various authors groups of subcompetencies have been identified. They are important for the formation of skills to solve the corresponding model problems.

Conclusions. Disclosing the content of the mathematical modelling concept will help the teacher focus on the specific individual actions that students should master in order to successfully complete the entire cycle of mathematical modelling. The condition of strong interest of teachers of Mathematics and the availability of relevant knowledge and skills in the actual use of mathematical modelling in the school course of Mathematics and in the corresponding University courses are important.

KEYWORDS: modelling; applied problem; practical problem; model problem; the cycle of mathematical modelling; the competencies of the mathematical modelling.

ВСТУП

Математична освіта є фундаментальною, оскільки дає можливість навчитись розв'язувати проблеми, що виходять далеко за межі математичних завдань. Будь-яке суспільство зараз потребує особистостей, які можуть використовувати математику для власних і суспільних цілей. Тому навчання математики має зосередитися на розвитку цих здібностей (Burkhardt, 2006). Моделювання є важливою складовою математики, а застосування математичних знань у реальному світі є вагомим компонентом математичної компетентності. Таким чином, розвиток компетентності учнів у розв'язуванні реальних проблем є загальною метою математичної освіти, як наслідок, математичне моделювання (далі будемо використовувати скорочення ММ) включено до багатьох навчальних програм у всьому світі.

Постановка проблеми. ММ сьогодні є не просто трендом, а є нагальною потребою освіти. Цей факт вже не потребує доведення. Однак впровадження в шкільний курс математики методу ММ як методу наукового дослідження та основи для розвитку, для набуття математичних знань і вмінь є досить обмеженим. У багатьох країнах, зокрема, і в нашій країні, все ще існує значний розрив між передовими дослідженнями та розробками в математичній освіті, з одного боку, і основною тенденцією навчання математики, з іншого.

Для цитування:

Прус А. Математичне моделювання як лінза реального світу. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 4. С. 56-61. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-4-008
 Прус, А. (2023). Математичне моделювання як лінза реального світу. *Фізико-математична освіта*, 38(4), 56-61. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-008>

For citation:

Prus, A. (2023). Mathematical modeling as a lens of the real world. *Physical and Mathematical Education*, 38(4), 56-61. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-008>
 Prus, A. (2023). Matematychnе modelivannia yak linza realnoho svitu [Mathematical modeling as a lens of the real world]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(4), 56-61. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-008>

Аналіз актуальних досліджень. З'ясування ролі ММ в освіті стало популярним після дослідження Генрі Поллака «Як ми можемо навчати застосуванням математики» (Pollak, 1969). ММ є темою постійно зростаючого міжнародного інтересу (Kutluca & Kaya, 2023; рис. 1).

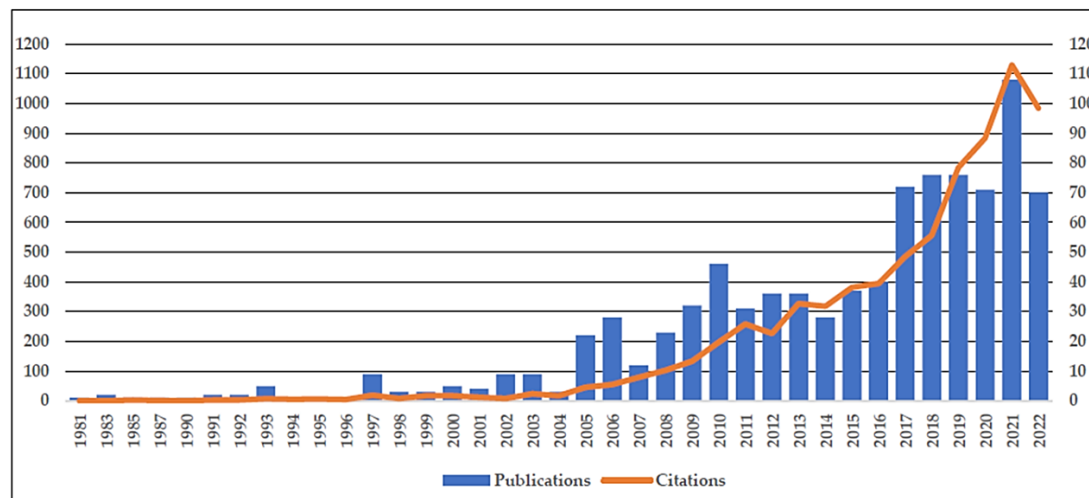


Рис. 1. Щорічна наукова продукція та цитування

В Україні ММ також активно вивчається. Протягом останніх майже двадцяти років були проведені ґрунтовні дослідження у цьому напрямку, їх результати обговорювались на науково-методичних конференціях, вони описані у дисертаційних роботах (див. табл.1) та науково-методичних статтях.

Таблиця 1

Дослідження, пов'язані з ММ

Рік	Автор	Тема
1997	Соколенко Л.	Методика реалізації прикладної спрямованості шкільної алгебри і початків аналізу
1998	Філон Л.	Вивчення елементів стереометрії в курсі математики основної школи
2006	Панченко Л.	Формування вмінь математичного моделювання в процесі навчання майбутніх учителів математики
2007	Прус А.	Прикладна спрямованість шкільного курсу стереометрії
2011	Гриб'юк О.	Математичне моделювання як засіб екологічного виховання учнів у процесі навчання математики в класах хіміко-біологічного профілю
2015	Філімонова М.	Формування умінь математичного моделювання в учнів основної школи в процесі навчання геометрії
2017	Волошена В.	Розвиток умінь математичного моделювання у старшокласників в процесі навчання природничо-математичних предметів
2020	Катеринюк Г.	Формування умінь математичного моделювання в учнів профільної школи

Аналізуючи поняття ММ в освіті, описуючи пов'язані з ним поняття, науковці за кордоном (в англомовних статтях) зазвичай вживають терміни, які подані у «хмарі слів» на рис. 2. Розмір кожного терміну та його близькість до хмарного центру визначають його важливість. Ключові слова, які найчастіше використовуються, такі: освіта, знання, учні, наука, продуктивність, вчителі, дизайн, математика, школа, модель. Термін «математичне моделювання» у відношенні до освіти ввели Gabriele Kaiser, Werner Hans-Joachim Blum у вісімдесятих роках минулого століття.



Рис. 2. «Хмара слів» (Kutluca & Kaya, 2023)

Автори публікацій з України, працюючи над цим же питанням, використовують схожу термінологію, однак є відмінності. Наприклад, про ММ говорять у контексті прикладної спрямованості математики, пишуть про необхідність навчати учнів розв'язувати прикладні задачі (синонімічно вживаючи «практична задача», «задача з прикладним змістом», «задача з практичним змістом») та квазіприкладні задачі.

Однак незважаючи на деякі термінологічні розбіжності, зміст ММ визначається, в цілому, однаково. Для ілюстрації ми обрали три означення ММ, взяті з англомовних джерел та три означення, які були сформульовані в роботах українськи авторів.

Таблиця 2

Трактування математичного моделювання

Автор, рік	Означення
Бахрушин В., 2004	Модельювання – це процес дослідження реальної системи, який включає побудову моделі, її дослідження та перенесення одержаних результатів на досліджувану систему.
Станжицький О., Таран Є., Гординський Л., 2006	Модельювання – це побудова (або вибір) і вивчення такого об'єкта будь-якої природи (моделі), що здатний замінити собою досліджуваний об'єкт (оригінал) і вивчення якого дає нову інформацію про досліджуваний об'єкт. Математичне моделювання є найвищою формою моделювання.
Niss, M., Blum, W., Galbraith, P, 2007	Математичне моделювання, задумане як розв'язування практичної задачі, є <i>процес</i> застосування математики до практичної задачі з метою її розуміння.
Семенова І., 2014	Математичне моделювання – один з основних методів дослідження систем. Він передбачає створення концептуальної моделі об'єкта дослідження, її формалізацію та перетворення у математичну або комп'ютерну модель, перевірку адекватності й подальше дослідження отриманої моделі за допомогою аналітичних або чисельних методів і сучасних комп'ютерних технологій.
Blum, W., 2015	Модельювання відбувається, коли вчителі, студенти, математики та інші намагаються описати деякі аспекти практичної задачі в математичних термінах, щоб зрозуміти щось краще або вжити або рекомендувати певні дії.
Greefrath & Vorhölder, 2016	Математичне моделювання завжди походить із практичної задачі, яка потім описується математичною моделлю та вирішується за допомогою цієї моделі. Весь процес називається моделюванням.

Мета статті. З'ясувати істотні властивості поняття ММ у процесі узагальнення розвитку проблеми впровадження математичного моделювання в освіту.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз навчально-методичної літератури проблеми дослідження; систематизація й узагальнення різних підходів до визначення змісту ММ; аналіз та систематизація вітчизняного та зарубіжного досвіду використання методу ММ.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянемо поняття «математичне моделювання» з двох точок зору: 1) як процес; 2) як структура.

Процес моделювання часто представляють у вигляді циклу. Він починається і закінчується проблемною ситуацією в реальному житті або в нематематичній дисципліні. У цьому циклі є переклад проблеми математичною мовою та математичне розв'язання. В англомовних статтях можна знайти багато модифікацій, розширень і поліпшень щодо цього циклу. Нижче (рис.3; рис 4) наведено найбільш поширені схеми, які створені відомими закордонними авторами (кроки кожного циклу, на нашу думку, інтуїтивно зрозумілі, тому ми їх не перекладали українською). Зазначимо, що в українських джерелах нам вдалось знайти лише одну схему ММ, вона побудована українським науковцем В. Швецем.

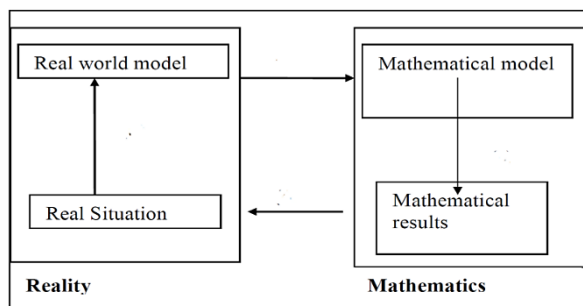


Рис. 3. Цикл моделювання за (Kaiser, 1995; Blum, 1996)

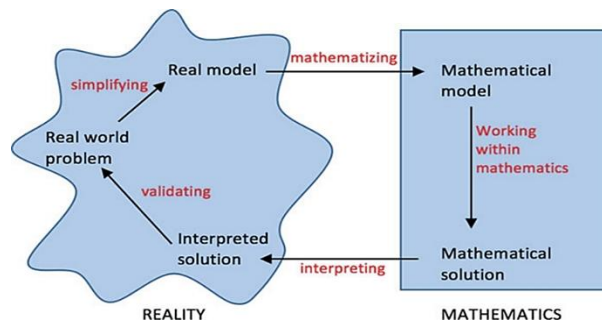


Рис. 4. Цикл моделювання за (Maab, 2006)

Процес моделювання, як показано далі на рис. 5, включає такі етапи: 1) розуміння завдання; 2) спрощення (структурування); 3) математизацію; 4) математичне розв'язування; 5) інтерпретацію; 6) валідацію; 7) представлення (Blum & Ferri, 2009). Ці сім кроків процесу моделювання добре відомі та успішно використовуються закордоном протягом останніх кількох десятиліть як евристика для навчання учнів ММ.

Пояснення позначень, які використовувались на рис. 6: ПЗ – прикладна задача; МЗ – математична задача; РМЗ – розв'язки математичної задачі; РПЗ – розв'язки прикладної задачі; $\mp$ – дуже слабо володіють навичками; + – добре володіють навичками; $\pm$ – навички сформовано недостатньо.

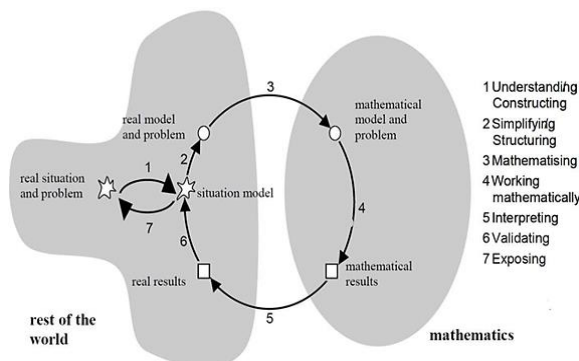


Рис. 5. Цикл моделювання за (Blum, Leiß, 2006)

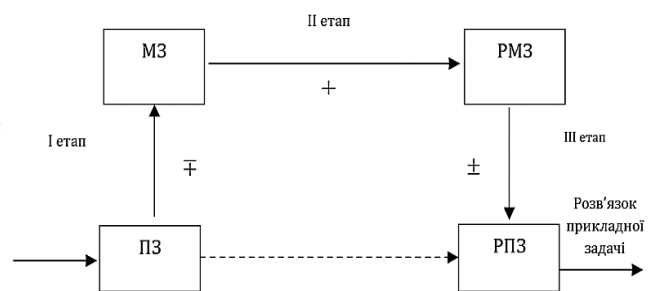


Рис. 6. Урізана графічна схема процесу математичного моделювання (мале коло) (Швець, 2008)

Перейдемо до розгляду ММ як до структури. Компетенції моделювання включають навички та здібності виконувати процеси моделювання належним чином і цілеспрямовано, а також готовність втілювати їх у життя (Мааß, 2006).

Перша група. Компетенції для розуміння проблеми та створення моделі на основі реальності: 1) зробити припущення щодо проблеми та спростити ситуацію; 2) розпізнати величини, які впливають на ситуацію, назвати їх і визначити ключові змінні; 3) будувати зв'язки між змінними; 4) шукати доступну інформацію та розрізнати релевантну та нерелевантну інформацію.

Друга група. Компетенції для створення математичної моделі з реальної моделі: 1) математизувати відповідні величини та їх співвідношення; 2) спростити відповідні величини та їх співвідношення, якщо це необхідно, а також зменшити їх кількість і складність; 3) обрати відповідні математичні позначення та графічно зобразити ситуацію; 4) використовувати евристичні стратегії (поділ проблеми на складові, встановлення відношень до подібних або аналогічних проблем, перефразування проблеми, перегляд проблеми в іншій формі, зміна величин або доступних даних тощо); 5) застосовувати математичні знання для розв'язування задачі.

Третя група. Компетенції для інтерпретації математичних результатів у реальній ситуації: 1) інтерпретувати математичні результати в позаматематичних контекстах; 2) узагальнити рішення, які були розроблені для конкретної ситуації; 3) переглянути розв'язання проблеми.

Четверта група. Компетенції перевірки знайденого розв'язку: 1) критично перевірити та обміркувати знайдені розв'язки; 2) переглянути деякі частини моделі або знову пройти процес моделювання, якщо розв'язки не відповідають ситуації; 3) подумати про інші способи вирішення проблеми, поставити під сумнів модель.

З'ясування істотних властивостей ММ дає вчителю необхідні знання, щоб навчати учнів розв'язувати прикладні задачі. За останні двадцять років написано як за кордоном, так і у нашій країні, декілька збірників таких задач (зокрема, Прус & Швець, 2007). Наведемо приклад повного розв'язування модельного завдання (Borromeo Ferri, 2010). Зазначимо, що це один із відомих прикладів, який взятий із дослідження (Hankeln, 2020), одним із завдань якого було порівняти індивідуальні модельні маршрути учнів із Німеччини та Франції, та з якими перешкодами вони зустрічаються у процесі математичного моделювання.

Завдання «Маяк». Маяк Balenoaux – це споруда, яка знаходиться в 3 км від Pointe du phare Baleines, на північному заході острова Іль-де-Ре. Спочатку планувалося, що висота вежі буде 50 м, але в результаті географічних труднощів маяк піднімається лише на 31 м. Вогні маяка дозволяють кораблям визначити розташування небезпечних зон біля узбережжя, а також портів. Яку відстань до узбережжя ще має судно, коли воно вперше розпізнає світло маяка? (рис. 7).

1. Розуміння та спрощення ситуації. У завданні дається інформація про маяк на атлантичному узбережжі Франції, який розташований на відстані 3 км від узбережжя і має висоту 31 м. Оскільки метою маяка є попередження суден про можливу небезпечну зону узбережжя, для екіпажу судна важливо знати свою відстань до узбережжя, коли вони вперше бачать маяк. Оскільки точна відстань залежить від різних факторів, таких як погода, висота корабля, тощо, але інформація про корабель, який прибув, не надається, здається доцільним пошукати приблизну оцінку.



Рис. 7. Маяк Balenoaux

Тому можна зробити деякі спрощення: 1) ідеальні погодні умови; 2) висотою корабля можна знехтувати; 3) світло випромінюється з вершини маяка; 4) максимальна відстань обмежена кривизною землі, Земля вважається ідеальною кулею з радіусом 6371 км.

2. Математизація ситуації, математичне розв'язування. Всі ці припущення можна перетворити на таку математичну модель (рис. 8): використаємо двовимірне уявлення ситуації, що є поперечним перерізом Землі і маяка. Коло d позначає землю, GE позначає маяк, дотична GH позначає промінь світла, а точка H – положення човна. Максимальна відстань між кораблем (що бачить світло) і маяком еквівалентна відстані між точкою дотику дотичної до кола, що проходить через вершину маяка, та основою маяка. Дотична та радіус у точці дотику перпендикулярні.

Найпростіший спосіб наближено визначити відстань HE – це двічі застосувати теорему Піфагора. Оскільки $EA = HA = 6371$ км і $GE = 31$ м, то:

$$HG = \sqrt{GA^2 - HA^2} = \sqrt{6371,031^2 - 6371^2} = \sqrt{395,003} \approx 19,874;$$

$$HE = \sqrt{GH^2 - GE^2} = \sqrt{395,003^2 - 0,031^2} = \sqrt{394,972} \approx 19,874$$

Примітка: оскільки маяк дуже малий по відношенню до радіуса Землі, перше застосування теореми Піфагора вже дає добре наближення до відстані. Інша можливість полягає в тому, щоб визначити криволінійну відстань HE за допомогою визначення косинуса. Якщо кут між HA і GA позначити α , то:

$$\alpha = \arccos \frac{HA}{GA} = \arccos \frac{6371}{6371,031}$$

$$HE = \frac{\alpha}{360} 2\pi \times 6371 \approx 19,874$$

3. *Інтерпретація та підтвердження результату.* Обидва розрахунки показують, що корабель знаходиться приблизно в 20 км від маяка, коли екіпаж корабля вперше побачить його світло. Оскільки маяк розташований не на узбережжі, а за 3 км від нього, максимальна відстань від корабля до узбережжя може становити 23 км, залежно від того, з якого боку судно прибуває. Ця відстань здається виправданою, оскільки вона залишає достатньо часу для екіпажу корабля, щоб відреагувати відповідним чином та скоригувати курс. Проте, припущення, що висоту корабля можна ігнорувати, може мати серйозні наслідки для вимірювання відстані. Чим вищий корабель, тим більша максимальна відстань до маяка. Ця інформація може бути інтегрована в модель на рис. 9. За допомогою цієї моделі можна тестувати різну висоту корабля (відрізок DF). Але ці судження виходять далеко за межі того, що очікується від даного завдання.

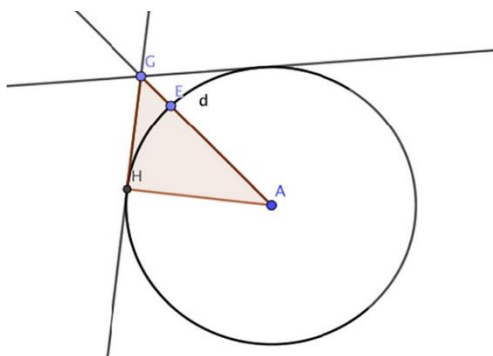


Рис. 8. Модель 1

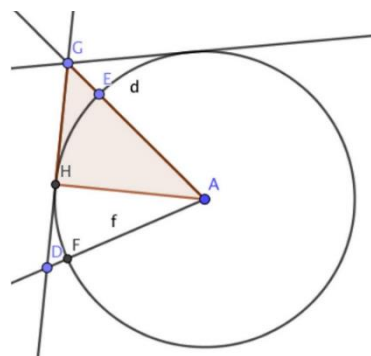


Рис. 9. Модель 2

ОБГОВОРЕННЯ

Існують чітко визначені у дослідженнях як у нас в Україні, так і за кордоном (Blum, 1991), причини переваги використання процесу ММ у навчанні математики. *Прагматичні аргументи.* Викладання математики покликане допомогти учням зрозуміти та впоратися з практичними завданнями. Виходячи з цього, без моделювання не обійтись. *Формуючі аргументи.* Цікавлячись математикою, учні повинні набувати загальних якостей (наприклад, здатність вирішувати проблеми) або установок (наприклад, відкритість до нових ситуацій). Моделювання є одним із важливих способів їх розвитку. *Культурні аргументи.* Учням слід викладати математичні теми як джерело для роздумів або для того, щоб створити всеосяжне та збалансоване уявлення про математику як науку та частину людської історії та культури. Моделювання – це невід’ємна риса людського інтелекту, а також історії та реальної практики, і, таким чином, воно може сприяти просуванню цих аспектів. З огляду на перераховане, багато науковців підтримують думку, що ММ має стати наскрізною змістовою лінією шкільного курсу математики (Швець, 2009). Впровадження ММ у шкільну практику в Україні реально почалось із оновлення змісту навчальних програм із математики, підручників. Однак там, практично, і зупинилось. Причиною цього, на нашу думку, є не лише «ковідні роки» та війна, яка триває. Це є приводом всебічного обговорення.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Розкриття змісту поняття ММ допоможе вчителю зосередитись на конкретних окремих діях, які варто опанувати учням для успішного здійснення всього циклу ММ. Для дійсного широкого використання ММ у шкільному курсі математики, у відповідних вузівських освітніх компонентах важливими є фактор зацікавленості вчителів (викладачів) математики та фактор наявності у них відповідних знань та вмінь.

Ми представили лише частину нашого дослідження. Наступна частина дослідження сфокусована на аналізі прикладних задач (модельних завдань), які використовуються за кордоном та в Україні, ролі ІКТ для ММ в освіті. Також ми плануємо детально розглянути системні бар’єри реального впровадження ММ в освіту (середню, вищу) та ключових важелів їх подолання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бахрушин, В. Є. (2004). *Математичне моделювання*. ЗІДМУ.
- Прус, А.В., & Швець, В.О. (2007). *Теорія та практика прикладної спрямованості шкільного курсу стереометрії*. ЖДУ ім.І.Франка.
- Семенова, І. Ю. (2014). *Математичні моделі МСС*. Київ.
- Станжицький, О. М., Таран, Є. Ю., & Гордінський, Л. Д. (2006). *Основи математичного моделювання*. Київський університет.
- Швець, В. О. (2009). Математичне моделювання як змістова лінія шкільного курсу математики. *Дидактика математики: проблеми і дослідження*, (32), 16-23.
- Blum, W. (1996). Anwendungsbezüge im Mathematikunterricht – Trends und Perspektiven. *Trends und Perspektiven. Schriftenreihe Didaktik der Mathematik*, (23), 15 – 38.

7. Blum, W., & Borromeo Ferri, R. (2009). Mathematical Modeling: Can It Be Taught And Learnt? *Journal of Mathematical Modeling and Application*, 1(1), 45-58.
8. Blum, W., & Leiß, D. (2006). How do students and teachers deal with modeling problems? In C. Haines, P. Galbraith, W. Blum and S.Khan (Eds.), *Mathematical Modeling (ICTMA12): Education, Engineering and Economics* (pp 222 – 231). Chichester: Horwood Publishing.
9. Blum, W. (2015). Quality teaching of mathematical modelling: What do we know, what can we do? In S. J. Cho (Ed.), *The Proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education* (pp. 73–96). Cham: Springer International Publishing.
10. Borromeo Ferri, R. (2010). On the influence of mathematical thinking styles on learners' modelling behavior. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 31(1), 86–95.
11. Burkhardt, H., & Muller, E. R. (2006). Applications and Modelling for Mathematics. In W. Blum, P. Galbraith, H.-W. Henn, & M. Niss (Eds.), *Modelling and Applications in Mathematics Education. New ICMI Studies Series* no. 10, New York: Springer. To appear.
12. Greefrath, G., & Vorhölter, K. (2016). Teaching and Learning Mathematical Modelling, *ICME-13 Topical Surveys*, DOI 10.1007/978-3-319-45004-9_1.
13. Hankeln, Corinna (2020). Mathematical modeling in Germany and France: a comparison of students' modeling processes. *Journal of Educational Studies in Mathematics*, (103), 209–229.
14. Kutluca, T., & Kaya, D. (2023). Mathematical modelling: A retrospective overview. *Journal of Computer and Education Research*, 11 (21), 240-274. <https://doi.org/10.18009/jcer.1242785>.
15. Kaiser, G. (1995). Realitätsbezüge im Mathematikunterricht – Ein Überblick über die aktuelle und historische Diskussion. In G. Graumann, et al. (Eds.): *Materialien für einen realitätsbezogenen Mathematikunterricht* (pp 64 – 84). Bad Salzdetfurth: Franzbecker.
16. Maaß, K. (2006). What are modelling competencies? *ZDM*, 38(2), 113–142.
17. Niss, M., Blum, W., & Galbraith, P. (2007). Introduction. In W. Blum, P.L. Galbraith, H.-W. Henn & M. Niss (Eds.), *Modelling and applications in mathematics education. The 14th ICMI Study* (pp. 3–32). New York: Springer.
18. Pollak, H. O. (1969). How can we teach applications of mathematics? *Educational Studies in Mathematics* 2(2/3), 393-404.

REFERENCES

1. Bakhruşyn, V. Ye. (2004). *Matematychni modeliuvannia [Mathematical modeling]*. ZIDMU (in Ukrainian)
2. Prus, A.V., & Shvets, V.O. (2007). *Teoriia ta praktyka prykladnoi spriamovanosti shkilnoho kursu stereometrii [Theory and practice of the applied orientation of the school course of stereometry]*. ZhDU im.I.Franka. (in Ukrainian)
3. Semenova, I. Yu. (2014). *Matematychni modeli MSS [Mathematical models of MSS]*. Kyiv (in Ukrainian)
4. Stanzhytskyi, O. M., Taran, Ye. Yu., & Hordynskyi, L. D. (2006). *Osnovy matematychnoho modeliuvannia [Fundamentals of mathematical modeling]*. Kyivskyi universytet (in Ukrainian)
5. Shvets, V. O. (2009). Matematychni modeliuvannia yak zmistova liniia shkilnoho kursu matematyky [Mathematical modeling as a content line of the school mathematics course]. *Dydaktyka matematyky: problemy i doslidzhennia – Didactics of mathematics: problems and research*, (32), 16-23.
6. Blum, W. (1996). Anwendungsbezüge im Mathematik-unterricht – Trends und Perspektiven. *Trends und Perspektiven. Schriftenreihe Didaktik der Mathematik*, (23), 15 – 38 (in German).
7. Blum, W., & Borromeo Ferri, R. (2009). Mathematical Modeling: Can It Be Taught And Learnt? *Journal of Mathematical Modeling and Application*, 1(1), 45-58.
8. Blum, W., & Leiß, D. (2006). How do students and teachers deal with modeling problems? In C. Haines, P. Galbraith, W. Blum and S.Khan (Eds.), *Mathematical Modeling (ICTMA12): Education, Engineering and Economics* (pp 222 – 231). Chichester: Horwood Publishing.
9. Blum, W. (2015). Quality teaching of mathematical modelling: What do we know, what can we do? In S. J. Cho (Ed.), *The Proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education* (pp. 73–96). Cham: Springer International Publishing.
10. Borromeo Ferri, R. (2010). On the influence of mathematical thinking styles on learners' modelling behavior. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 31(1), 86–95.
11. Burkhardt, H., & Muller, E. R. (2006). Applications and Modelling for Mathematics. In W. Blum, P. Galbraith, H.-W. Henn, & M. Niss (Eds.), *Modelling and Applications in Mathematics Education. New ICMI Studies Series* no. 10, New York: Springer. To appear.
12. Greefrath, G., & Vorhölter, K. (2016). Teaching and Learning Mathematical Modelling, *ICME-13 Topical Surveys*, DOI 10.1007/978-3-319-45004-9_1.
13. Hankeln, Corinna (2020). Mathematical modeling in Germany and France: a comparison of students' modeling processes. *Journal of Educational Studies in Mathematics*, (103), 209–229.
14. Kutluca, T., & Kaya, D. (2023). Mathematical modelling: A retrospective overview. *Journal of Computer and Education Research*, 11 (21), 240-274. <https://doi.org/10.18009/jcer.1242785>.
15. Kaiser, G. (1995). Realitätsbezüge im Mathematikunterricht – Ein Überblick über die aktuelle und historische Diskussion. In G. Graumann, et al. (Eds.): *Materialien für einen realitätsbezogenen Mathematikunterricht* (pp 64 – 84). Bad Salzdetfurth: Franzbecker.
16. Maaß, K. (2006). What are modelling competencies? *ZDM*, 38(2), 113–142.
17. Niss, M., Blum, W., & Galbraith, P. (2007). Introduction. In W. Blum, P.L. Galbraith, H.-W. Henn & M. Niss (Eds.), *Modelling and applications in mathematics education. The 14th ICMI Study* (pp. 3–32). New York: Springer.
18. Pollak, H. O. (1969). How can we teach applications of mathematics? *Educational Studies in Mathematics* 2(2/3), 393-404.



Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
 Has been issued since 2013.
 Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
 Видається з 2013.



p-ISSN 2413-1571
 e-ISSN 2413-158X

DOI: 10.31110/2413-1571
<https://fmo-journal.org/>

DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-4-009

УДК 378.126+37.018.001.895:53

ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД У ФАХОВІЙ ПІДГОТОВЦІ МАГІСТРІВ З КІБЕРБЕЗПЕКИ

Василь РІЗАК

Ужгородський національний університет, Україна
 vrizak@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-9177-0662>

Магдалина ОПАЧКО ✉

Ужгородський національний університет, Україна
 magdaopachko@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1985-8053>

Наталія ДЕШКО

Ужгородський національний університет, Україна
 nataliia.deshko@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-0171-2582>

INNOVATIVE APPROACH IN THE PROFESSIONAL TRAINING OF MASTERS IN CYBER SECURITY

Vasyl RIZAK

State University «Uzhhorod National University», Ukraine
 vrizak@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-9177-0662>

Magdalyna OPACHKO ✉

State University «Uzhhorod National University», Ukraine
 magdaopachko@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1985-8053>

Nataliya DESHKO

State University «Uzhhorod National University», Ukraine
 nataliia.deshko@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-0171-2582>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. Освітні програми підготовки здобувачів другого освітньо-професійного рівня (магістрів) фізичного факультету УжНУ містять перелік компетентностей, що є своєрідними елементами моделі фахівця. Забезпечення майбутніх фахівців здатністю адаптуватися до роботи в режимі інноваційного рівня передбачає розвиток у них, крім інших, навичок інноваційного вирішення проблем науково-дослідного характеру. Це передбачає організацію такого типу підготовки фахівців, яка забезпечує формування навичок інноваційного мислення.

Матеріали та методи. Використовувались теоретичні (аналіз літератури з проблеми дослідження та контент-аналіз сучасних тенденцій інноваційної підготовки інженерів-дослідників) та емпіричні (анкетування магістрів з кібербезпеки) методи. У процесі дослідження використовувались також матеріали освітніх програм підготовки магістрів з кібербезпеки на фізичному факультеті УжНУ.

Результати дослідження. В роботі розкрито сутність інноваційного підходу до формування компетентностей магістрів з кібербезпеки, що полягає в оновленні змісту, процесу та результату їх підготовки в освітньому середовищі вищої школи. Інновації у змісті підготовки відображають результати методологічної рефлексії взаємозв'язків між поняттями «особистість», «цінності», «інновації» та науково-дослідницька діяльність і фокусують увагу на понятті «навички інноваційного мислення». Інновації у процесі підготовки майбутніх фахівців позначені маркерами «інноваційні освітні технології», «інформаційно-комунікаційні системи, мережі, зв'язки, технології». Інновації у результатах націлюють на оновлення критеріїв оцінки сформованості показників, якими описуються результати підготовки та методів їх діагностики.

Висновки. Реалізація інноваційного підходу у підготовці магістрів з кібербезпеки передбачає організацію освітнього процесу з використанням інноваційних освітніх технологій розвитку критичного, креативного, творчого мислення; навичок розв'язання дослідницьких проблем, методів особистісного та індивідуального саморозвитку магістрів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: інноваційний підхід; інноваційне мислення; інноваційні освітні технології; магістри з кібербезпеки; фахова підготовка.

ABSTRACT

Formulation of the problem. Educational programs of the second academic and professional level (master degree) of the Physics Faculty of UzhNU list competencies that are specific elements of the specialist model. Developing in future specialists the ability to adapt to work at an innovative level involves the developing, among others, of skills to innovatively solve scientific and research problems. This assumes the type of organization of specialist training, which ensures the formation of innovative thinking skills.

Materials and methods. Theoretical (analysis of scientific literature on the issue under consideration and content analysis of modern trends in innovative training of engineers-researchers) and empirical (questionnaire surveys conducted with masters in cyber security) methods have been applied. In the research process, the materials of educational programs for the training of masters in cyber security at the Faculty of Physics of UzhNU have also been used.

Research results. The research reveals the essence of an innovative approach to the formation of competencies of masters in cyber security. It consists of updating the content, process and result of the training in the educational environment of a higher education institution. Innovations in the content of training reflect the results of methodological reflection of relationships between the concepts of "personality", "values", "innovations" and scientific-research activity. They focus attention on the concept of "innovative thinking skills". Innovations in the process of training of future specialists are marked with the markers of "innovative educational technologies", "information and communication systems, networks, connections, technologies". Innovations in the results are aimed at updating the criteria for evaluating the indicators formed, which describe the results of training and methods of their diagnosis.

Conclusions. The implementation of an innovative approach in the training of masters in cyber security involves the organization of the educational process using innovative educational technologies for the development of critical and creative thinking; skills for the solving of research problems, methods of individual self-development of masters in physics.

KEYWORDS: innovative approach, innovative thinking, innovative educational technologies, masters in cyber security, professional training.

ВСТУП

Постанова проблеми. Освітні програми підготовки здобувачів другого освітньо-професійного рівня (магістрів) фізичного факультету УжНУ містять перелік компетентностей, що є своєрідними елементами моделі фахівця. Інтегративний результат формування компетентностей спрямований на володіння здатностями, що забезпечують

Для цитування:

Різак В., Опачко М., Дешко Н. Інноваційний підхід у фаховій підготовці магістрів з кібербезпеки. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 4. С. 62-67. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-4-009

Різак, В., Опачко, М., & Дешко, Н. (2023). Інноваційний підхід у фаховій підготовці магістрів з кібербезпеки. *Фізико-математична освіта*, 38(4), 62-67. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-009>

For citation:

Rizak, V., Opachko, M., & Deshko, N. (2023). Innovative approach in the professional training of masters in cyber security. *Physical and Mathematical Education*, 38(4), 62-67. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-009>

Rizak, V., Opachko, M., & Deshko, N. (2023). Innovatsiynyi pidkhid u fakhovii pidhotovtsi mahistriv z kiberbezpeky [Innovative approach in the professional training of masters in cyber security]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(4), 62-67. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-009>

випускників освітньо-професійних програм можливістю успішно конкурувати на ринку праці. Забезпечення майбутніх фахівців здатністю адаптуватися до роботи в режимі інноваційного рівня (наприклад, розв'язування наукових та науково-технічних задач інноваційного рівня в галузі прикладної фізики та наноматеріалів; задач дослідницького та/або інноваційного характеру у сфері інформаційної безпеки та/або кібербезпеки), – передбачає розвиток у них, крім інших, навичок інноваційного вирішення проблем науково-дослідного характеру. Це в свою чергу передбачає організацію такого типу підготовки фахівців, яка забезпечує формування навичок інноваційного мислення.

Основою для оновлення змісту освітніх компонентів програм підготовки магістрів з кібербезпеки можуть стати кроки для підтримки наукової та науково-технічної діяльності, розвитку дослідницької та інноваційної інфраструктури університету. Насамперед, це реалізація установок філософії сучасної науки у контексті розвитку інноваційної парадигми, спрямованої на утвердження єдності і взаємодії освіти і науки, з економікою та промисловістю. Ця ідея конкретизована у «Концепції інноваційного розвитку ДВНЗ «Ужгородський національний університет» на 2015-2025 р.р. (Концепція... <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/8662>). Важливими положеннями цього документу у контексті нашого дослідження є ті, що відносяться до наукової діяльності, яка у дослідницько-інноваційному університеті «здійснюється в рамках проведення фундаментальних і прикладних досліджень» та підготовки нової генерації фахівців «здатних забезпечити позитивні зміни в економіці регіону» і не тільки.

Цінними у цьому контексті є положення, напрацьовані Мінісвіти впродовж 25 червня 2020 року – 26 жовтня 2022 року (Головні досягнення... <https://mon.gov.ua/ua/news/golovni-dosyagnennya-u-sferi-nauki-ta-innovacij-2020-2022>). Серед основних індикаторів, яких планують досягти до 2032 року з метою інтеграції до Європейського дослідницького простору, зазначено наступні: збільшення кількості дослідників; відповідність наукової та науково-технічної діяльності сучасним світовим тенденціям; розширення можливості для роботи науковців та інноваторів.

З огляду на важливість прийнятих на різних рівнях рішень зазначимо, що зміст підготовки фізиків-дослідників з необхідністю поповнюється знаннями про нові можливості сучасної техніки та програмного забезпечення у проведенні досліджень та аналізі їх результатів.

Аналіз актуальних досліджень. Проблеми розвитку інноваційної освіти відображено у численних дослідженнях, які сприяли виокремленню галузі педагогічної науки під назвою педагогічна інноватика. Усі дослідження у цій сфері можна поділити за напрямками: інновації у змісті освіти, інновації у організації та здійсненні освітнього процесу, інновації у діагностуванні результатів освітнього процесу, інновації в управлінні освітнім процесом (інноваційний освітній менеджмент), інновації в підготовці та перепідготовці фахівців.

Конкретизація напрямку «інновації у підготовці фахівців» уможливорює розкриття таких компонент як інновації у змісті підготовки, інновції у процесі підготовки, інновації у діагностуванні результатів підготовки. Розуміння структури уможливорює розкриття сутності поняття «інновації у підготовці фахівців».

Інновації у змісті підготовки фахівців безпосередньо пов'язані із методологією сучасної освіти, у якій відображаються тенденції розвитку освіти в сучасному глобалізованому світі (Debétaz, 2023; Nwabueze & Isilebo, 2022; Pramoth, 2022); методологією сучасного природознавства та сучасного наукового дослідження (Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень..., 2022). Це наближає нас до сприйняття методологічних установок щодо розробки освітніх програм підготовки сучасного фахівця, загалом та магістрів з кібербезпеки для природничо-дослідної галузі, зокрема. Освітні програми (ОПП «Система технічного захисту інформації, автоматизація її захисту»; ОПП «Безпека інформаційних і комунікаційних систем») у «координатах» компетентностей описують цілі і зміст підготовки фахівців з урахуванням актуальних вимог суспільства і сучасного професійного середовища. Інновації у змісті підготовки сучасних фахівців науково-природничої галузі, відображають освітні цілі і можуть бути представлені системою актуальних навичок («Навички 21 століття»).

Інновації у процесі підготовки фахівців тісно пов'язані із оновленням парадигмального підходу до розвитку особистості фахівця і знаходять своє втілення в ідеї використання інноваційних технологій розвитку креативного, критичного, системного та творчого мислення (Козубовська & Повідайчик, 2021). Окрім того, інноваційність процесу підготовки тісно переплетена із використанням інформаційно-комунікативних технологій, які для магістрів з кібербезпеки аналізованих освітніх програм є і засобом досягнення навчальних цілей і результатом підготовки, втіленим у програмних компетентностях.

Інновації у результатах (Опачко та ін., 2021) орієнтовані на оновлення діагностичної процедури в цілому: від опису очікуваних результатів до методів і методик їх діагностування (виявлення і оцінювання). У дослідженні на предмет вивчення та діагностики «інноваційного дидактичного потенціалу» у здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня спеціальності «011 Освітні, педагогічні науки» розкрито досвід такого оновлення. У даному дослідженні розкриття сутності інноваційного підходу до підготовки магістрів з кібербезпеки передбачає представлення очікуваних результатів не лише у параметрах когнітивного рівня (знання, уміння, навички) а й процесуального (виконує..., демонструє..., представляє..., поєднує..., включає..., пропонує..., перевіряє..., тощо) та оцінного (рівень ставлення до того, чим людина займається, над чим працює, що виготовляє) рівнів.

Таким чином проблему дослідження актуалізує суперечність між потребою у формуванні навичок інноваційного мислення у майбутніх магістрів з кібербезпеки, що опирається на методологію інноваційного підходу та переважанням класичних (характерних для діяльнісного підходу) методів їх підготовки.

Мета статті полягала у визначенні сутності поняття «інноваційний підхід у підготовці фахівців» та розкритті особливостей його реалізації у процесі підготовки магістрів з кібербезпеки.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використовувались теоретичні методи, а саме: аналіз літератури з проблеми дослідження та контент-аналіз сучасних тенденцій інноваційної підготовки фізиків-дослідників; емпіричні методи, а саме: анкетування магістрів з кібербезпеки, експрес-опитування розробників освітніх програм. У процесі дослідження використовувались також

матеріали освітніх програм підготовки магістрів з кібербезпеки на фізичному факультеті УжНУ («Безпека інформаційних і комунікаційних систем», «Системи технічного захисту інформації, автоматизація її обробки»).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі розкрито сутність інноваційного підходу до формування компетентностей майбутніх дослідників, що полягає в оновленні змісту, процесу та результату їх підготовки в освітньому середовищі вищої школи.

Інновації у змісті підготовки відображають результати методологічної рефлексії взаємозв'язків між поняттями «особистість», «цінності», «інновації» та науково-дослідницька діяльність і фокусують увагу на понятті «навички інноваційного мислення».

Психологія трактує навичку як психічне новоутворення, що контролюється свідомістю і виражається у процесі виконання вправ. Багаторазове вправлення призводить до автоматизації навички і набуття уміння. Класичне визначення уміння зводиться до його розуміння як автоматизованої навички. Навички інноваційного мислення – це інтегративне утворення, що поєднує навички критичного, креативного, творчого мислення. Інноваційне мислення можна представити як поєднання цілі (побачити, вловити, відчувати нове), процесу (синтезувати, відкинути/прийняти, долучити/відмінити) і продукту (об'єкт з новими властивостями, функціями, сферами застосування тощо). У переліку «Навичок...» («Навички 21 століття») це структуровано у блоки: творчість та інноваційність; критичне мислення і вміння вирішувати проблеми; комунікативні навички та навички співробітництва, медіа та комп'ютерні навички, життєві та кар'єрні навички тощо.

Розвиток навичок інноваційного мислення у магістрів з кібербезпеки – мислення, спрямованого на бачення і відкриття нового, що лежить в основі здатності продукувати інноваційний продукт, – потребує наповнення змісту підготовки знаннями про методи і форми інноваційної природничо-дослідницької роботи.

Насамперед, звертаємо увагу на сучасні тенденції у викладанні фізики та фізичних дисциплін у вищій школі (Magazù, 2018). Серед провідних напрямів зазначається необхідність обґрунтування нового змісту математики для курсів фізики; зростання ролі лабораторних робіт з фізики (фізичних практикумів); важливість міждисциплінарних підходів, зокрема комплексного теоретико-експериментального підходу (в якому взаємопов'язані між собою різні галузі знань: математика, філософія, наукова культура, комунікація тощо).

В цьому контексті зміст освітніх компонентів (ОК) освітніх програм (ОП) може доповнюватися «елементами» інноваційного змісту. На теоретичному рівні: окрема тема, параграф, доповнюються інформацією з різних галузей знань у фокусі розглядуваної проблеми (математичний апарат; історії відкриттів, винаходів; соціальний контекст проблеми тощо). На практичному рівні: пропонуються завдання для індивідуального пошуково-дослідницького проекту, завдання для групового проекту; завдання для самостійної творчої пошукової роботи; завдання для колективного обговорення та синтезу ідей; передбачення часу для колективного розв'язування задач із динамічним розвитком змісту тощо.

Як відмічає М. Ліпін (2018), «конститування освітнього простору як «емерджентної» системи неможливе поза креативною діяльністю. Освіта, так само як і творчість, безпосередньо пов'язана із спілкуванням і взаємодією однією людиною з іншою». В цьому контексті «важливим є не лише те, що намагаються надати іншій людині як навчальний матеріал, важливо як це роблять: <...> дійсна освіта надає не просто «навчальний матеріал», а цілісний життєвий досвід». Саме на такій основі твориться простір для спілкування на рівні партнерства, співпраці, співтворчості. У монологічній інтерпретації зміст навчання не надихає на саморозвиток усіх учасників освітнього процесу, заняття позбавлені «заразної» енергетики колективної творчості.

Якщо творчість, у більшій мірі, відносять до особистісних характеристик людини, то креативність – до індивідуальних. Саме тому змістова лінія «інноваційність – творчість» набуває смислових і реальних атрибутів у колективній співпраці викладачів і студентів. У цій співпраці відточуються алгоритми (відомі способи і методи) творчого вирішення проблем, набуваються навички синтезу/аналізу, прийняття/відкидання ідей.

Змістова лінія «інноваційність – креативність» полягає у стимулюванні гнучкості мислення, його оригінальності, що виявляється у здатності помічати незвичайні, нестандартні ідеї, розвивати їх; швидко знаходити методи вирішення проблемних ситуацій. У освітніх компонентах ОП для магістрів з кібербезпеки ця змістова лінія може реалізовуватись через завдання для самостійної роботи, через «творчі майстерні» із розв'язування задач із невизначеними умовами (або задачі на виявлення протиріччя, проблемне бачення; задачі з відсутністю повної вихідної інформації тощо).

Змістова лінія «інноваційність – критичність» відноситься до інтелектуального розвитку магістрів з кібербезпеки. Насамперед, критичність проявляється у здатності аналізувати інформацію у різних контекстах, аспектах; сприймати думки інших людей критично, тобто крізь призму об'єктивної оцінки різних суджень; прагнення уникати мислити за зразком, стереотипно. Така здатність може розвиватися і виявлятися у діалозі, дискусії. Тому у змісті освітніх компонентів ОП може бути передбачена можливість групових дискусій та запропоновано теми для їх проведення.

Отже інновації у змістовій площині підготовки майбутніх інженерів-фізиків, фізиків-дослідників пов'язана із оновленням підходів до розробки освітніх компонентів, як із урахуванням тенденцій розвитку викладання фізики в сучасній вищій школі, так і особливостями розвитку інноваційного мислення через реалізацію змістових ліній «інноваційність - творчість, креативність, критичність».

Інновації у процесі підготовки майбутніх фахівців позначені маркерами «інноваційні освітні технології», «інформаційно-комунікаційні системи, мережі, зв'язки, технології», «науково-дослідницьке та інноваційне проектування». Тобто, йдеться про впровадження і використання новітніх форм і методів навчання у процесі фахової підготовки магістрів з кібербезпеки. Для вивчення стану впровадження інноваційних освітніх технологій у практику підготовки фахівців нами проводилось опитування серед магістрів (у опитуванні взяли участь 8 осіб 1 року навчання), які навчаються за освітньою програмою спеціальності 125 Кібербезпека на фізичному факультеті УжНУ. Детальний аналіз отриманих результатів буде розглянуто в інших матеріалах. Тут прокоментуємо відповіді на питання, що мають відношення до процесуальної частини розвитку інноваційного мислення магістрів з кібербезпеки (див. табл.1).

Таблиця 1

Результати опитування магістрів у контексті розвитку інноваційного мислення

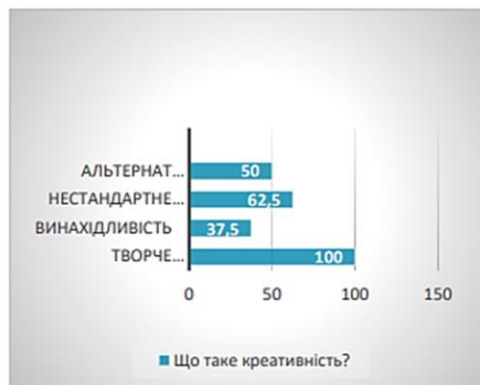


Рис.1 Розуміння/тлумачення креативності



Рис.2 Методи розвитку креативності



Рис.3 Використання методів розвитку креативності



Рис.4 Знання про техніки розвитку креативності



Рис.5 Використання методу діалогізації



Рис.6 Сутність ТРВЗ - технології

Як видно із рис.1, магістри однакові у розумінні креативності як здатності творчого вирішення проблем (100%); більшість виявляє розуміння креативності як здатності нестандартного вирішення проблем (62,5 %) та здатності до пошуку альтернативних способів вирішення проблем (50 %). Але невелика кількість із числа опитаних пов'язують креативність із винахідливістю (37,5 %), хоча якраз таке розуміння креативності (інсайт, осяяння, «еврика» тощо) є ключовим для створення моделі розвитку інноваційного мислення.

Найбільш поширеними методами розвитку креативності (рис.2) магістри називають дискусію (62,5%), половина опитаних згадують Метод асоціацій, або «Асоціативного ґрунування» та метод «За» - «Проти»; незначна кількість опитаних (37,5%) згадують метод «Нестандартних рішень» та «Метод Пікассо» та незначний відсоток (25 %) становлять ті, які чули, або знайомі із методом ТРВЗ - технології. Уточнення того, в чому полягає сутність ТРВЗ - технології (рис.6) підтверджує наше припущення про поверхневе (несистемне) знайомство з цим методом магістрів.

Найбільш часто у освітньому процесі використовуються (рис. 3) такі методи розвитку креативності, як «Дослідницькі завдання», «Мозковий штурм», «Проблемні ситуації, які потребують обговорення» (62,5%). Набагато рідше використовується «Проектне навчання» і технологія «Навчання як дослідження» (25%). Найбільш поширеними серед магістрів є знання (рис. 4) про технологію «Шість капелюхів» (це рольова гра, сутність якої полягає у розгляді однієї й тієї ж проблемної ситуації з шести незалежних позицій) – 62,5%, трохи менше знайомі із «Методом Дельфі» (технологія

прийняття рішення на основі експертних оцінок). Магістри мало знайомі із ТРВЗ-технологією (пошук оригінальних ідей та виявлення і вирішення творчих проблем) та методом «Якби...» (продукування нових ідей у зв'язку з припущеннями щодо зміни умов, можливостей тощо, які дозволяють побачити проблему в іншій площині) – 25%, і зовсім мала кількість їх ознайомена із методом «Синектики» – (створення нового, оригінального об'єкту на основі аналогій: прямих, особистих, фантастичних, символічних) – 12,5%. Припускаємо, що магістрам відомо, наприклад, що за принципом роботи ехолотатора кажана створено модель радара; але вони можуть не знати, як називається цей метод розробки нової ідеї за аналогією, або вони не мають досвіду його використання тощо.

Формування інноваційного мислення передбачає відкритість до нового, в тому числі, і через комунікування. Діалогізація у сучасній освіті розглядається як один із методологічних підходів, як метод навчання. Тому для нас важливим було з'ясування того, яке місце займає діалогізація як метод навчання у підготовці магістрів. Результати опитування (рис. 5) показують, що діалогізація використовується в переважній більшості для пояснення розв'язку завдання і для організації групової взаємодії (62,5%) та у процесі публічної презентації етапів виконання дослідницьких завдань (50%). Менше діалогізація використовується для уточнення цілей і завдань дослідної роботи та у процесі роботи над дослідницьким проектом (37,5%). Незначний відсоток вказує на діалогізацію в процесі обговорення різних аспектів наукової проблеми (25%).

Аналіз методів розвитку творчості, креативності та критичності як передумов інноваційності мислення, що використовуються і процесі викладання фахових дисциплін за вище згадуваними освітніми програмами дозволяє констатувати необхідність у подальшій розробці цієї проблеми у контексті зростання рівня знань магістрів про методи (техніки, способи, алгоритми) розвитку креативності, інноваційного мислення. Важливим питанням є підготовленість викладачів до використання методів розвитку креативності у навчанні. У будь-якому разі, результати проведеного опитування вказують на необхідність набування «досвіду креативності» усіх учасників освітнього процесу через систему неформальної освіти та самоосвіти.

Інновації у результатах підготовки налаштовують на розробку критеріїв оцінки сформованості показників, якими описуються отримані внаслідок впровадження інноваційного підходу продукти-цілі та методів їх діагностики.

Представлення навички інноваційного мислення в якості кінцевого результату впровадження інноваційного підходу до підготовки фізиків-магістрів має супроводжуватись поясненням про інтегративну природу такого продукту-цілі. Це дозволяє виокремити у його структурі показники/параметри, які б дали змогу створити модель людини з інноваційним мисленням. Інноваційність мислення як якість особистості і може бути виявлена у системі ставлень: у ставленні до себе (має досвід генерації нових ідей, вміє організувати і провести експеримент, шукає альтернативні підходи, проявляє допитливість, постійно поповнює банк інноваційних ідей); до інших (здатний зацікавити інших своїми ідеями; вміє залучати інших до створення нового, вміє налагоджувати співпрацю з іншими для досягнення цілей), до природи (пропонує ідеї щодо нових методів/засобів дослідження явищ природи; використовує та популяризує інноваційний досвід інших у вивченні явищ природи); до праці (до того, над чим працює) (пропонує нові ідеї, пропонує нестандартне рішення проблемних ситуацій, цікавиться тенденціями в розвитку своєї професійної сфери).

На основі цих показників може бути: введено поняття індексу (кількісного показника) навичок інноваційного мислення; запропонована модель кількісної і якісної оцінки рівня розвитку навичок інноваційного мислення, описана діагностична процедура. Діагностика рівня розвитку навичок інноваційного мислення окрім традиційних методів вивчення/розпізнавання явища (спостереження, анкетування, самооцінка, тестування тощо) має містити набір завдань, виконання яких дасть змогу наповнити змістом використання методу вивчення продуктів діяльності саме для цього випадку.

На цьому етапі дослідження важливим є усвідомлення можливості опису/вербалізації інноваційного мислення та визначення індексу його розвитку. У подальшому це може стати показником ефективності системи навчання, спрямованої на розвиток інноваційного мислення в рамках конкретної освітньої програми. Розкриття сутності інноваційного підходу до підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня у частині інноваційності результату підготовки націлює на створення завдань-еталонів, етапи роботи над якими дадуть можливість не тільки фіксувати фактичний стан рівня розвитку навичок інноваційного мислення а й дадуть змогу керувати цим процесом.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Проблема реалізації інноваційного підходу у підготовці інженерів – дослідників, навчання яких здійснюється на другому (магістерському) рівні за спеціальністю 125 Кібербезпека, передбачала визначення сутності поняття «інноваційний підхід у підготовці фахівців» та розкриття особливостей його реалізації освітньому середовищі вищої школи. Стрижнем у підготовці інженерів-дослідників у контексті інноваційного підходу є навички інноваційного мислення. Їх формування передбачає: 1) оновлення підходів до розробки освітніх компонентів, як із урахуванням тенденцій розвитку викладання фізики в сучасній вищій школі, так і з особливостями розвитку інноваційного мислення магістрів з кібербезпеки у процесі фахової підготовки; 2) організацію освітнього процесу на основі використання інноваційних освітніх технологій розвитку: критичного, креативного, творчого мислення; навичок розв'язання дослідницьких проблем, особистісного та індивідуального саморозвитку; 3) розробку критеріїв оцінки сформованості показників, якими описуються рівні розвитку інноваційного мислення та методів їх діагностики.

В подальшому планується визначити психолого-педагогічні умови реалізації інноваційного підходу до підготовки магістрів з кібербезпеки та провести експериментальну перевірку їх ефективності для формування у них досвіду інноваційного вирішення проблем науково-дослідного характеру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- ДВНЗ «Ужгородський національний університет». (2016). Концепція інноваційного розвитку ДВНЗ «Ужгородський національний університет» на 2015-2025 pp <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/8662>
- МОН України (2022). Головні досягнення у сфері науки та інновацій 2020-2022 <https://mon.gov.ua/ua/news/golovni-dosyagnennya-u-sferi-nauki-ta-innovacij-2020-2022>

3. Debétaz, E. (2023). *The top 5 Trends in Education to watch in 2023*. <https://hospitalityinsights.ehl.edu/education-trends>
4. Nwabueze, A. I., & Isilebo, N. C. (2022). Modern trends in educational development. In Y.M. Abdulrahman, R.O. Anyaogu, N.J. Izuagba & R.O. Osim (Eds.) *International and comparative education: Cross-cultural approach* (Pp. 545-558). Port Harcourt: Celwil Publishers https://www.researchgate.net/publication/360108214_MODERN_TRENDS_IN_EDUCATIONAL_DEVELOPMENT
5. Pramoth, A. (2022). *Modern trends in education pros and cons* <https://timesofindia.indiatimes.com/readersblog/modern-trends-in-education-pros-and-cons/modern-trends-in-education-pros-and-cons-46765/>
6. Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень (2022). матеріали III Міжнародної наукової конференції, м. Київ, 23 вересня, 2022 р. Вінниця: Європейська наукова платформа. <https://doi.org/10.36074/mcnd-23.09.2022>.
7. ДВНЗ «Ужгородський національний університет». (2022). *Освітньо-професійна програма «Система технічного захисту інформації, автоматизація її захисту»*. <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/50711>
8. ДВНЗ «Ужгородський національний університет». (2022). *Освітньо-професійна програма «Безпека інформаційних і комунікаційних систем»*. <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/47180>
9. Intel Corporation. (2021). *Навички 21 століття. Навчальні та інноваційні навички*. <https://www.calameo.com/read/001682096e9ddf82d1426>
10. Козубовська, І.В., & Повідайчик, О.С. (2021). *Інноваційні технології підготовки фахівців у вищій школі*. Ужгород <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/35755>
11. Опачко, М., Попадич, О., & Ключарова, А. (2021). Визначення показника інноваційного дидактичного потенціалу у здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня спеціальності «011 Освітні, педагогічні науки». *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*, 1 (48), 299-304. <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2021.48.299-304>
12. Ліпін, М. В. (2018). *Освіта в модифікаціях сучасного світу*. КНТЕУ
13. Magazù, S. (2018). *New Trends in Physics Education Research*. Nova

REFERENCES

1. Uzhhorodskyi Natsionalnyi Universytet. (2016). *Kontseptsiiia innovatsiinoho rozvytku DVNZ «Uzhhorodskyi natsionalnyi universytet» na 2015-2025 rr* [The concept of innovative development of State University «Uzhhorod National University» for 2015-2025]. <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/8662> (in Ukrainian).
2. Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. (2022, 15 november). *Holovni dosiagnennia u sferi nauky ta innovatsii 2020-2022* [Main achievements in the field of science and innovation of 2020-2022]. <https://mon.gov.ua/ua/news/golovni-dosyagnennia-u-sferi-nauki-ta-innovacij-2020-2022> (in Ukrainian).
3. Debétaz, E. (2023). *The top 5 Trends in Education to watch in 2023*. <https://hospitalityinsights.ehl.edu/education-trends>
4. Nwabueze, A. I., & Isilebo, N. C. (2022). Modern trends in educational development. In Y.M. Abdulrahman, R.O. Anyaogu, N.J. Izuagba & R.O. Osim (Eds.) *International and comparative education: Cross-cultural approach* (Pp. 545-558). Port Harcourt: Celwil Publishers https://www.researchgate.net/publication/360108214_MODERN_TRENDS_IN_EDUCATIONAL_DEVELOPMENT
5. Pramoth, A. (2022). *Modern trends in education pros and cons* <https://timesofindia.indiatimes.com/readersblog/modern-trends-in-education-pros-and-cons/modern-trends-in-education-pros-and-cons-46765/>
6. Tradytiini ta innovatsiini pidkhody do naukovykh doslidzhen – materialy III Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii (2022) [Traditional and innovative approaches to scientific research – Proceedings of the III International Scientific Conference]. Yevropeiska naukova platforma (in Ukrainian).
7. Uzhhorodskyi Natsionalnyi Universytet. (2022). *Osvitno-profesiina prohrama «Systema tekhnichnoho zakhystu informatsii, avtomatyzatsiia yii zakhystu»* [Educational-professional program «System of technical protection of information, automation of its protection»]. <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/50711> (in Ukrainian).
8. Uzhhorodskyi Natsionalnyi Universytet. (2022). *Osvitno-profesiina prohrama «Bezpeka informatsiinykh i komunikatsiinykh system»* [Educational-professional program «Security of information and communication systems»]. <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/47180> (in Ukrainian).
9. Intel Corporation. (2021). *Navychky 21 stolittia. Navchalni ta innovatsiini navychky* [Skills of the 21st century. Educational and innovative skills]. <https://www.calameo.com/read/001682096e9ddf82d1426> (in Ukrainian).
10. Kozubovska, I.V., & Povidaichyk, O.S. (2021). *Innovatsiini tekhnolohii pidhotovky fakhivtsiv u vyshchii shkoli* [Innovative technologies for training of specialists in the higher school]. Uzhhorod, <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/35755> (in Ukrainian).
11. Opachko, M., Popadych, O., & Kliucharova, A. (2021). *Vyznachennia pokaznyka innovatsiinoho dydaktychnoho potentsialu u zdobuvachiv tretogo (osvitno-naukovoho) rinvnia spetsialnosti «011 Osvitni, pedahohichni nauky»* [Defining the indicator of innovative didactic potential on the third (educational and scientific) level of specialty «011 Educational, pedagogical sciences»]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seria: «Pedahohika. Sotsialna robota»*, 1 (48), 299-304. <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2021.48.299-304> (in Ukrainian).
12. Lipin, M. V. (2018). *Osvita v modyfikatsiiakh suchasnoho svitu* [Education in the modifications of the modern world]. КНТЕУ (in Ukrainian).
13. Magazù, S. (2018). *New Trends in Physics Education Research*. Nova.



Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
 Has been issued since 2013.
 Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
 Видається з 2013.



p-ISSN 2413-1571
 e-ISSN 2413-158X

DOI: 10.31110/2413-1571
<https://fmo-journal.org/>

DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-4-010

УДК 537: 004.94: 37.016

КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ У ВІРТУАЛЬНОМУ ФІЗИЧНОМУ ПРАКТИКУМІ

Варфоломій САВЧУК

Дніпровський національний університет

імені Олеся Гончара, Україна

varfolomey44@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6324-7567>

Олена РОМАНЕЦЬ ✉

Дніпровська академія неперервної освіти, Україна

elena.romanetc@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0002-5439-3749>

USE OF COMPUTER SIMULATION IN STUDYING CIRCUITS OF DIRECT CURRENT

Varfolomii SAVCHUK

Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine

varfolomey44@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6324-7567>

Olena ROMANETC ✉

Dnipro Academy of Continuing Education, Ukraine

elena.romanetc@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0002-5439-3749>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. Вивчення та закріплення навчального матеріалу з фізики базується на експериментах. Останні, в умовах дистанційного навчання, досить важко реалізувати. Сучасні інформаційні технології дозволяють здійснити таку реалізацію. В статті в якості прикладу розглянуто використання комп'ютерної симуляції при вивченні кола постійного струму в умовах дистанційного навчання.

Матеріали і методи. Постановка проблеми та її вирішення спирається на матеріали навчальних програм з фізики для 10-11 класів загальноосвітніх навчальних закладів, програми з фізики бакалаврського рівня для закладів вищої освіти з фізико-технічних спеціальностей та спеціальності 014.08., матеріали науково-педагогічних та науково-методичних джерел, в яких розглядаються питання, дотичні до проведеного дослідження. Були використані також матеріали ресурсів з комп'ютерних симуляцій, зокрема з сайту інтерактивних симуляцій phet.

Результати. Аналіз використаних матеріалів визначив комплекс експериментальних робіт фізичного практикуму з електрики, варіативність завдань у яких надавала можливість використовувати їх в різних форматах навчання (як в старших класах середньої загальноосвітньої школи, так і на молодших курсах бакалаврського рівня). Із застосуванням комп'ютерної симуляції з сайту інтерактивних симуляцій phet в якості прикладу розглянуто навчальний експеримент «Дослідження постійного струму, корисної потужності та к. к. д. джерела струму».

Висновки. Використання інтерактивної симуляції при вивченні теми «Закон Ома для повного кола. Потужність постійного струму» дозволяє змодельовувати зазначений фізичний експеримент і використати його результати для обґрунтування низки теоретичних положень за темою, що вивчається. Розроблене методичне забезпечення виконання експерименту дозволяє використовувати його на різних рівнях навчання фізики. Перспективним є створення комплексу лабораторних робіт за різними розділами курсу загальної фізики, що базуються на використанні комп'ютерних симуляцій, та розробка методичного забезпечення їх виконання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: комп'ютерна модель; віртуальний фізичний практикум; phet-симуляції; самостійна робота; домашні завдання; коло постійного струму; корисна потужність.

ABSTRACT

Formulation of the problem. Studying and consolidating educational material in physics is based on experiments. The latter are rather difficult to implement in the conditions of distance learning. Modern information technologies allow such implementation. In the article, as an example, the use of computer simulation in the study of a direct current circuit in the conditions of distance learning is considered.

Materials and methods. The formulation of the problem and its solution is based on the materials of physics curricula for grades 10-11 of general educational institutions and bachelor's level physics programs for institutions of higher education in physical and technical specialties and specialist 014.08., materials of scientific-pedagogical and scientific-methodical sources, in which issues related to the conducted research are considered. Materials from resources on computer simulations, in particular from the phet interactive simulations site, were also used.

The results. The analysis of the materials used determined a complex of experimental works of the physical workshop on electricity, the variability of the tasks in which provided the opportunity to use them in different educational formats (both in senior classes of secondary comprehensive schools and in junior courses of the bachelor's level). Using a computer simulation from the phet interactive simulation site as an example, an educational experiment on the topic "Investigation of direct current, useful power and efficiency of a current source" was considered.

Conclusions. The use of interactive simulation when studying the topic "Ohm's law for a complete circle. The power of direct current" allows you to simulate the specified physical experiment and use its results to justify a number of theoretical propositions on the topic being studied. The developed methodological support for the experiment allows its use at various levels of physics education. It is promising to create a complex of laboratory works for various sections of the general physics course, based on the use of computer simulations, and to develop methodological support for their implementation.

KEYWORDS: computer simulations; Phet-simulations; independent work; homework; physical experiment; direct current; useful power.

ВСТУП

Постановка проблеми. Освітня політика України, як частини Європейського союзу, базується на ключових принципах безперервної сучасної освіти. Серед них одним з основних є той, за яким освітні системи повинні адаптуватися до сучасних умов, враховувати перспективи розвитку технологій, устрій суспільного життя й орієнтуватися саме на них у своєму розвитку. В сучасних умовах традиційне навчання, що базується на очному відвідуванні навчальних закладів за

Для цитування:

Савчук В., Романець О. Комп'ютерна модель кола постійного струму у віртуальному фізичному практикумі. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 4. С. 68-73. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-4-010

Савчук, В., & Романець, О. (2023). Комп'ютерна модель кола постійного струму у віртуальному фізичному практикумі. *Фізико-математична освіта*, 38(4), 68-73. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-010>

For citation:

Savchuk, V., & Romanetc, O. (2023). Use of computer simulation in studying circuits of direct current. *Physical and Mathematical Education*, 38(4), 68-73. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-010>

Savchuk, V., & Romanetc, O. (2023). Komp'juterna model kola postoiinoho strumu u virtualnomu fizychnomu praktykumi [Use of computer simulation in studying circuits of direct current]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(4), 68-73. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-010>

✉ Corresponding author

© V. Savchuk, O. Romanetc, 2023

певних причин може бути недоступним, отже дистанційне навчання є однією з альтернативних форм організації освітнього процесу. Специфіка дисципліни «Фізика» зрозуміло полягає в тому, що вивчення та закріплення навчального матеріалу повинно базуватися на експериментах і лабораторних роботах, без яких вона стає суто формальною. Запобігання (в рамках дистанційного навчання) формалізації процесу навчання, може допомогти комп'ютерне моделювання фізичних явищ та процесів.

В статті показано як демонстраційний експеримент та лабораторна робота з теми «*«Дослідження постійного струму, корисної потужності та к. к. д. джерела струму»* можуть бути реалізовані за допомогою PhET симуляцій.

Аналіз актуальних досліджень. Використання комп'ютерного моделювання при викладанні природних дисциплін, і фізики зокрема, є актуальним, особливо в сьогоденні. Дослідження з цього напрямку проводять як вітчизняні, так і зарубіжні науковці.

Потенціал комп'ютерного моделювання та комп'ютерних ігор для покращення науково обґрунтованого навчання досліджується, зокрема в монографії «Вивчення природничих наук через комп'ютерні ігри та моделювання» (Honey & Hilton, 2011). Вплив комп'ютерного моделювання на навчання досліджувався ще на початку XXI століття з використанням різних моделей навчання. Зокрема, «система симуляційного навчання була реалізована на основі... трьох моделей, і відмінності між симуляційним навчанням і традиційним лабораторним навчанням були досліджені в контексті вивчення фізики» (Chang et al., 2008). Однією з важливих цілей подібних досліджень стало «вивчення ефективності використання віртуальних експериментів на рівні досягнень студентів та їх практичних навичок, а також їх поглядів на застосування віртуальних експериментів у лабораторії загальної фізики» (Hamed & Aljanazrah, 2020). Застосування освітніх інновацій з використанням онлайн-технологій особливо актуалізувалося в світовому освітньому просторі в період пандемії COVID 19. В українському освітньому просторі ця проблема не втрачає актуальності у зв'язку з гострою необхідністю дотримування соціальної дистанції під час війни, яка триває вже не перший рік. Стан розвитку навчального комп'ютерного моделювання, його сучасних можливостей при викладанні фізики досліджують М.В. Головка, С.Ю. Крижановський, В.М. Мацюк (Головка та ін., 2015). В публікаціях низки дослідників розглядаються різноманітні аспекти комп'ютерного моделювання, застосування комп'ютерних симуляцій в практиці навчання фізики. Досліджуються вплив віртуального фізичного експерименту на вдосконалення професійних компетентностей (Федчишин та ін, 2023), аналізуються методичні основи використання phet-симуляцій (Федчишин та ін, 2022), формується методика застосування комп'ютерних симуляцій для виконання домашніх завдань з молекулярної фізики (Мястковська & Пшембаєв, 2016) та проведення лабораторних робіт з фізики (Подласов & Матвійчук, 2023), при вивченні атомної фізики (Слободяник, 2019).

Огляд сучасних публікацій, присвячених з'ясуванню впливу віртуальних лабораторій на викладання і саморегульоване навчання, засвідчив актуальність цього напрямку в освіті та виявив низку позитивних можливостей для досягнення якісного викладання і навчання (Govender, 2023). Більшість досліджень, порівнюючи ефективність традиційного викладання фізики з навчанням із використанням комп'ютерних симуляцій, доводять, що під час застосування відповідних комп'ютерних програм учнями (студентами) поліпшується розуміння фізичних концепцій, іде оволодіння навичками експериментальної роботи. Використання інтерактивних симуляцій збільшує інтерес до предмету та робить навчання цікавішим та підвищує мотивацію вивчення, що особливо важливо для середньої школи (Honey & Hilton, 2011; Головка та ін., 2015; Федчишин та ін, 2023; Подласов & Матвійчук, 2023).

Мета статті. За відповідною Phet симуляцією розробити та методично проаналізувати лабораторну роботу за темою «Дослідження струму, корисної потужності та к.к.д. джерела струму» в межах програми стандарт та профіль середньої загальноосвітньої школи та в рамках навчального плану спеціальності «014.08 Фізика. Середня освіта». Визначити можливості застосування відповідної симуляції в навчальному процесі за віртуальною формою навчання.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В рамках даної теми проведено аналіз відповідного пласту науково-методичної літератури з метою узагальнення результатів вітчизняного та зарубіжного досвіду роботи, з'ясовано існуючі підходи, відкриті проблеми та переваги використання симуляцій під час навчального процесу. Проведено аналіз концептуальних підходів до використання комп'ютерних симуляцій при викладанні фізики, задля розуміння переваг і обмежень що накладають саме симуляції, їхньої ролі у стимулюванні творчого мислення та осмисленні фізичних закономірностей процесів у ланцюгах постійного струму при вивченні зазначеної теми.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Перед розглядом основної теми, хочемо зазначити, що використання інтерактивних моделей не може замінити проведення експериментів з реальним устаткуванням, і якщо є можливість вибору, завжди треба надавати перевагу реальному об'єкту і приладам (звісно це не стосується явищ і процесів, які не можливо відтворити в рамках шкільного експерименту). Відсутність при навчанні навичок роботи з лабораторним устаткуванням в умовах реального експерименту зменшує можливості учням отримати той досвід роботи з фізичними приладами, ті можливості врахування зовнішніх факторів при проведенні та плануванні експерименту, отримати вищий рівень фізичної взаємодії з об'єктами, який надається під час традиційних експериментів, що може зменшити їх розуміння та сприйняття фізичних концепцій. Тож комп'ютерне моделювання відіграє допоміжну роль у викладанні (особливо у середній школі), коли формування навичок у учня іншими засобами є недоступним. Цьому аспекту приділено зокрема увагу в роботі (Подласов & Матвійчук, 2023). В той же час використання інтерактивних моделей надає інші можливості, які позитивно впливають на процес навчання. Деякі з них впливають з аналізу можливостей розглянутої (в якості прикладу) симуляції.

Основні принципи використання комп'ютерних моделей в навчальному процесі зазначені у роботі (Мястковська & Пшембаєв, 2016):

«1) модель певного фізичного явища необхідно використовувати лише в тому випадку, коли немає змоги провести експеримент або коли явище проходить дуже швидко й за ним не можливо простежити детально;

2) комп'ютерна модель повинна допомагати розібратися в деталях явища, що досліджується, або відігравати роль ілюстрації умови задачі, що пропонується для розв'язку;

3) у результаті роботи з моделлю учні повинні виявити як якісні, так і кількісні залежності між величинами, що характеризують дане явище.

4) під час роботи з моделлю необхідно пропонувати учням завдання».

Відносно першого пункту зазначимо, що особливої актуальності використання комп'ютерних моделей набуває в умовах сьогодення, коли більшість навчальних закладів вимушена проводити заняття в режимі онлайн.

До останнього пункту можна додати, що за умови дистанційного навчання, у учнів повинні бути прописані чіткі (або додані відео) інструкції роботи з моделлю, на які вони можуть спиратися під час виконання роботи. Дослідження показують, що самостійна «гра» з моделями, без чіткої мети і мотивації, буде певний час цікавою, але не приводить до покращеного розуміння навчального матеріалу. Використання комп'ютерних симуляцій без відповідного супроводу викладачем, може викликати в учнів зміщення уваги до графіків та анімації, що може призвести до втрати основного академічного фокусу та збільшення часу на розваги замість активного навчання.

З поміж інших ресурсів з комп'ютерних симуляцій, що творені на основі різних програмних середовищ наприклад: «JavaLab», «Exploration Series», «MOZAIK education», «Go-Labz», вирізняється сайт Інтерактивних симуляцій PhET – проект University of Colorado Boulder для створення і використання безкоштовних інтерактивних симуляцій з математики і наук про природу (<https://phet.colorado.edu/uk/simulations/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab>). Проект був заснований у 2002 році лауреатом Нобелівської премії Карлом Віманом. Сайт містить інтерактивні симуляції, що спонукають учнів до досліджень, а також методичний супровід всіх симуляцій, включно з розробками уроків від викладачів з усього світу. Великою перевагою ресурсу, є можливість працювати з симуляціями в режимі off-line та мінімальні вимоги до програмного забезпечення. Слід зазначити, що Інститутом інформаційних технологій і засобів навчання Національної академії педагогічних наук України було створено інтернет-ресурс «Шкільний навчальний експеримент із сайтом симуляцій PHET» (<https://ukrainephnet.blogspot.com/>), в якому розміщено різноманітні ресурси, такі як рекомендації щодо використання симуляцій, лабораторні роботи та роботи шкільного практикуму, розробки домашніх експериментальних завдань та настанови для проведення демонстраційного навчального експерименту для природничої освітньої галузі. Однак дану тему можна і необхідно розширювати і як приклад розглянемо проведення лабораторного практикуму за темою «Експериментальне дослідження залежності струму у ланцюзі постійного струму. Корисна потужність і коефіцієнт корисної дії джерела струму в залежності від опору навантаження». Слід зазначити, що згідно з програмою (Фізика). Навчальні програми для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 10–11 класи) тему «Робота та потужність електричного струму, теплова дія струму» вивчають детально у 11 класі в рамках теми «Електродинаміка», хоча початкові відомості вводять вже у 8 класі. Детально аналіз корисної потужності з визначенням максимальної потужності і відповідних параметрів кола вивчають саме в «профільному» рівні навчання фізики, а також на молодших курсах вищих навчальних закладів при викладанні фундаментальної дисципліни «Загальна фізика» (Електрика та магнетизм. Лабораторний практикум).

Розглянемо основні можливості симуляції «Лабораторія електрики: постійний струм - віртуальна лабораторія» (<https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab-uk.html>).

За рекомендацією сайту симуляцію доцільно використовувати для таких задач: дослідження основних понять електрики; початкові навички застосування електровимірювальних приладів, створення простіших кіл, дослідження електропровідності різноманітних матеріалів, вивчення закону Ома та застосування правил Кірхгофа.

Метою ж пропонованої лабораторної роботи на базі даної симуляції є дослідження **експериментальної залежності струму у колі постійного струму від зовнішнього та внутрішнього опорів, а також визначення корисної потужності і коефіцієнту корисної дії джерела струму від опору навантаження та з'ясування на основі графіка відповідної функціональної залежності особливостей розподілу потужності джерела між джерелом і зовнішнім колом (навантаженням).**

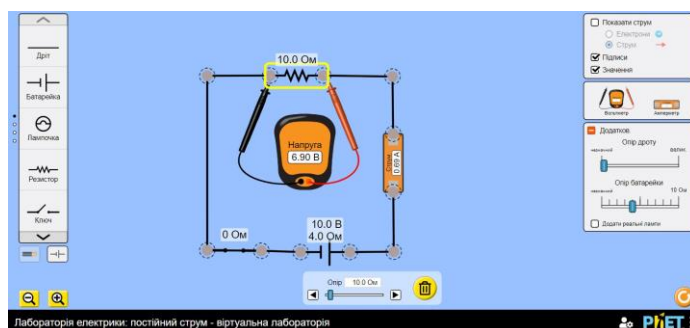


Рис. 1. Принципова схема кола постійного струму з послідовно з'єднаними елементами

Схема установки зображена на рис. 1. (скріншот симуляції лабораторної роботи). Вона складається з послідовно з'єднаних джерела струму, опору зовнішньої ділянки ланцюга, що може змінюватися за величиною, та вимикача. Для вимірювання сили струму і напруги використовуються відповідно амперметр та вольтметр, позначені на скріншоті. Їх можна під'єднати для вимірювання струму у ланцюзі з послідовно з'єднаними його елементами, та для вимірювання напруги на зовнішньому опорі. На панелі справа знаходиться елемент керування, який дозволяє обирати опір джерела струму. Знизу панелі знаходяться елемент керування, що дозволяє змінювати опір R зовнішньої ділянки ланцюга. Значення

опорів R та r можна змінювати за допомогою повзунків на шкалах значень цих опорів з певним кроком. Дані вимірювань здобувачі освіти заносять в таблицю, зразок якої наведений нижче. За отриманими експериментальними даними будуються й аналізуються графіки залежностей, що характеризують закони постійного струму. В наведеному прикладі експерименту ЕРС джерела - 10 Вольт; внутрішній опір $r = 4$ Ом; опір R навантаження будемо змінювати за допомогою повзунка (рис. 1 внизу) в межах від 1-го до 20-ти Ом з кроком 1 Ом.

Таблиця 1

Експериментальні дані, отримані при зміні зовнішнього опору R

R	r	$R+r$	I	I^2	$P_{\text{кор}} = I^2 R$	η	ϵ
Ом	Ом	Ом	А	А ²	Вт	%	В
1	4	5	2,00	4	4	20	10
2	4	6	1,67	2,79	5,58	33	10
3	4	7	1,43	2,04	6,13	43	10
4	4	8	1,25	1,56	6,25	50	10
5	4	9	1,11	1,23	6,16	56	10
6	4	10	1	1,00	6,00	60	10
...	...	...	...	...	...	...	...

Для математичної обробки результатів вимірювання, пропонується побудувати, використовуючи програму Excel, графіки залежності: струму від загального опору кола ($R+r$), корисної потужності та к.к.д. від опору зовнішньої ділянки кола R .

На Рис. 2 згідно закону Ома спостерігаємо **нелінійну залежність сили струму від опору**. Звичайно це впливає з самої формули, оскільки опір стоїть у знаменнику $I = \epsilon / (R+r)$.



Рис. 2. Залежність сили струму від опору в колі постійного струму

Графік на Рис. 3 представляє **нелінійну залежність $P_{\text{кор}}(R)$** . Маємо доволі важливий результат, на особливостях якого необхідно акцентувати увагу здобувачів освіти. Саме в момент, коли опір навантаження зрівнюється з опором джерела струму $R=r=4$, корисна потужність набуває максимального значення. $P_{\text{кор}} = I^2 R = \epsilon^2 R / (R+r)^2$.

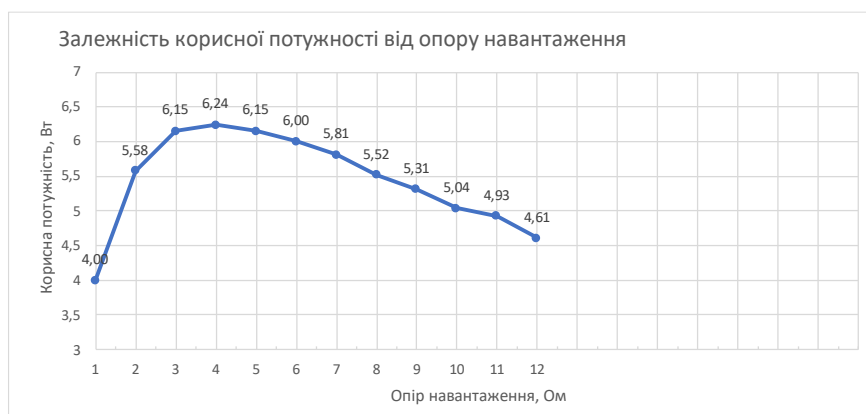


Рис. 3. Залежність корисної потужності від опору навантаження (опору зовнішньої ділянки кола постійного струму)

Такий результат, отриманий за експериментальними даними, можна обґрунтувати теоретично. У класі, що працює за профільною програмою, або для студентів молодших курсів, що навчаються за бакалаврською програмою, необхідно показати, що досліджуючи $P_{\text{кор}} = I^2 R = \epsilon^2 R / (R+r)^2$ на екстремум, можна теоретично з'ясувати, що корисна потужність має максимум саме при $R = r$; максимальне значення корисної потужності дорівнює:

$$P_{\text{кор}}^{\text{м}} = \epsilon^2 / 4r.$$

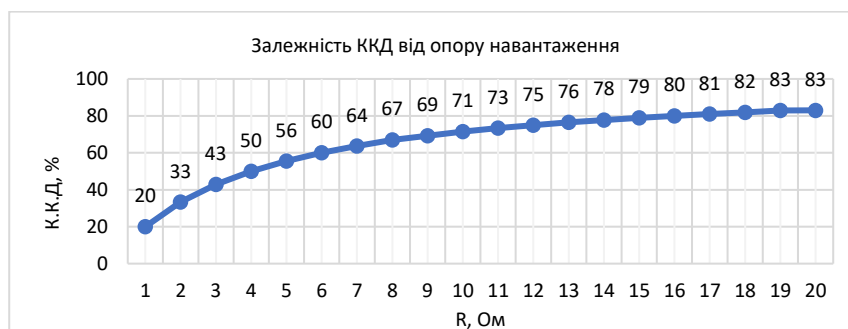


Рис. 4. Залежність ККД від опору навантаження (опору зовнішньої ділянки кола постійного струму)

Показовим для порівняльного аналізу характеру взаємовідносин між к.к.д та максимальною корисною потужністю, яка віддається у зовнішнє коло, є графік залежності ККД від опору навантаження, що наочно демонструє **нелінійну залежність ККД від опору навантаження**. $\eta = P_{\text{кор}}/P = I^2 R / I^2 \xi = IR/\xi = IR/I(R + r) = R/(R + r) = 1/(1 + r/R)$, $P_{\text{кор}}^{\text{м}} = \xi^2/4r$, к.к.д. у цьому випадку дорівнює $\eta = 0,5$ або $\eta = 50\%$, що ми й бачимо на графіку.

Порівняння графіків залежності к.к.д. та корисної потужності, отриманих при використанні даної симуляції, дає можливість створити чітке уявлення учнів (студентів), що одночасно отримати максимальну корисну потужність і максимальний к. к. д. неможливо. В електроенергетичній галузі бажаним є високий к. к. д. Його можна досягти, збільшуючи опір зовнішньої частини кола порівняно з внутрішнім опором джерела. На цьому треба акцентувати увагу здобувачів освіти при експериментальній перевірці закону Ома для повного кола.

Зазначений віртуальний фізичний експеримент був успішно застосований при викладанні в онлайн-режимі відповідної теми на першому курсі студентам фізико-технічних спеціальностей ДНУ імені Олеся Гончара.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Дидактичні можливості віртуального експерименту розширюють можливості обґрунтування теоретичних положень, що формуються у процесі викладання досить складних тем з фізики. Для їхнього засвоєння важливим і необхідним є демонстраційний або лабораторний експеримент, який під час дистанційного навчання (або при обмеженості матеріально-технічної бази навчального закладу) не може бути застосований. Розглянута в статті можливість використання однієї з віртуальних симуляцій з сайту Phet при вивченні теми «Закон Ома для повного кола. Потужність постійного струму», дозволяє змодельовати зазначений фізичний експеримент і використати його результати для обґрунтування низки теоретичних положень за темою, що вивчається.

Перспективи подальших досліджень, на наш погляд, полягають перш за все в створенні комплексу лабораторних робіт за різними розділами курсу загальної фізики, що базуються на використанні комп'ютерних симуляцій, та розробці методичного забезпечення їх виконання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Govender, R. (2023). Teaching and learning using virtual labs: Investigating the effects on students' self-regulation. *Cogent Education*, 10(1), 2172308. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2172308>
- Hamed, Gh., Aljanazrah, Ahm. (2020). The Effectiveness of Using Virtual Experiments on Students' Learning in the General Physics Lab. *Journal of Information Technology Education: Research*, 19, 977–996. <https://doi.org/10.28945/4668>
- Honey, M. A., & Hilton, M. L. (Eds.). National Research Council. (2011). *Learning Science Through Computer Games and Simulations*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13078>. <http://www.ics.uci.edu/~wscacchi/GameLab/Recommended%20Readings/Learning-ScienceGames-2011.pdf>
- Лабораторія електрики: постійний струм – віртуальна лабораторія. *phet.colorado.edu*. https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_uk.html
- Chang, K. E., Chen, Y. L., Lin, H. Y., & Sung, Y. T. (2008). Effects of learning support in simulation based physics learning. *Computers & Education*, 51 (4), 1486–1498.
- Головко, М. В., Крижановський, С. Ю., & Мацюк, В. М. (2015). Моделювання віртуального фізичного експерименту для систем дистанційного навчання в загальноосвітній і вищій педагогічній школах. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 47(3), 36–48.
- Електрика та магнетизм. Лабораторний практикум: методичний посібник для організації самостійної роботи студентів фізичних спеціальностей (2015) / укл. В. М. Здешиц, В. П. Ржепецький. Кривий Ріг.
- Інтерактивні моделювання. Веб-сайт Університету Колорадо. *phet.colorado.edu*. <https://phet.colorado.edu/uk/simulations/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab>
- Мястковська, М. О., & Пшембаєв, І. М. (2016). Використання phet-симуляцій для виконання домашніх завдань з молекулярної фізики. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*, 22, 204–207.
- Подласов, С. О., & Матвійчук, О. В. (2023). Особливості проведення лабораторних робіт з фізики в технічному університеті під час дистанційного навчання. *ITLT*, 93 (1), 152–162
- Слободяник, О.В. (2019). Комп'ютерні симуляції при вивченні атомної фізики у закладах загальної середньої освіти. *Наукові записки, Серія: Педагогічні науки*, 179, 228 с. Кропивницький: РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка.
- Федчишин, О., Мохун, С., & Чопик, П. (2022). Методичні основи використання phet-симуляцій у процесі вивчення фізики. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка*, 1(1), 16–24. <https://doi.org/10.25128/2415-3605.22.1.2>

13. Федчишин, О., Мохун, С., & Чопик, П. (2023). Віртуальний фізичний експеримент як засіб вдосконалення фахових компетентностей здобувачів освіти в умовах дистанційного навчання. *Фізико-математична освіта*, 38(2), 50–55. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-2-008>
14. Фізика. Навчальні програми для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 10–11 класи. <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/fizika-10-11-avtorskij-kolektiv-pid-kerivnicztvom-lokteva-vm.pdf>

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Govender, R. (2023). Teaching and learning using virtual labs: Investigating the effects on students' self-regulation. *Cogent Education*, 10(1), 2172308. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2172308>
2. Hamed, Gh., Aljanazrah, Ahm. (2020). The Effectiveness of Using Virtual Experiments on Students' Learning in the General Physics Lab. *Journal of Information Technology Education: Research*, 19, 977–996. <https://doi.org/10.28945/4668>
3. Honey, M. A., & Hilton, M. L. (Eds.). National Research Council. (2011). Learning Science Through Computer Games and Simulations. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13078>. <http://www.ics.uci.edu/~wscacchi/GameLab/Recommended%20Readings/Learning-ScienceGames-2011.pdf>
4. Laboratoriia elektryky: postiyni strum – virtualna laboratoriia [Laboratory of electricity: direct current - virtual laboratory]. *phet.colorado.edu*. https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_uk.html
5. Chang, K. E., Chen, Y. L., Lin, H. Y., & Sung, Y. T. (2008). Effects of learning support in simulation based physics learning. *Computers & Education*, 51 (4), 1486–1498.
6. Holovko, M. V., Kryzhanovskiy, S. Yu., & Matsiuk, V. M. (2015). Modeliuvannya virtualnogo fizychnogo eksperymentu dlia system dystantsiinoho navchannia v zahalnoosvitnii i vyshchii pedahohichnii shkolakh [Simulation of a virtual physical experiment for distance learning systems in general education and higher pedagogical schools]. *Informatsiini tekhnologii i zasoby navchannia – Information technologies and teaching aids*, 47(3), 36–48 (in Ukrainian).
7. Elektryka ta mahnetyzm. Laboratorni praktykum: metodychni posibnyk dlia orhanizatsii samostiinoi roboty studentiv fizychnykh spetsialnostei [Electricity and magnetism. Laboratory practicum: methodical guide for organizing independent work of students of physical specialties] (2015) / ukl. V. M. Zdeschychyts, V. P. Rzhpetskyi. Kryvyi Rih. (in Ukrainian).
8. Interaktyvni modeliuvannya [Interactive simulations]. *phet.colorado.edu*. <https://phet.colorado.edu/uk/simulations/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab>
9. Miastkowska, M. O., & Pshembaiev, I. M. (2016). Vykorystannia phet-symulatsii dlia vykonannia domashnykh zavdan z molekuliarnoi fizyky [Using phet-simulations for doing homework molecular physics]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnogo universytetu imeni Ivana Ohienka. Seriiia pedahohichna – Collection of scientific works of Kamianets-Podilskyi National University named after Ivan Ohienko. Pedagogical series*, 22, 204–207 (in Ukrainian).
10. Podlasov, S. O., & Matviichuk, O. V. (2023). Osoblyvosti provedennia laboratornykh robot z fizyky v tekhnichnomu universyteti pid chas dystantsiinoho navchannia [Peculiarities of laboratory work in physics at a technical university during distance learning]. *ITLT*, 93 (1), 152–162 (in Ukrainian).
11. Slobodanyk, O. V. (2019). Kompiuterni symulatsii pry vyvchenni atomnoi fizyky u zakladakh zahalnoi serednoi osvity [Computer simulations in the study of atomic physics in institutions of general secondary education]. *Naukovi zapysky, Seriiia: Pedahohichni nauky*, 179, 228 s. Kropyvnytskyi: RVV TsDPU im. V. Vynychan. (in Ukrainian).
12. Fedchyshyn, O., Mokhun, S., & Chopyk, P. (2022). Metodychni osnovy vykorystannia phet-symulatsii u protsesi vyvchennia fizyky [Methodological bases of using phet-simulations in the process of studying physics]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnogo pedahohichnogo universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriiia: pedahohika*, 1(1), 16–24. <https://doi.org/10.25128/2415-3605.22.1.2> (in Ukrainian).
13. Fedchyshyn, O., Mokhun, S., & Chopyk, P. (2023). Virtualnyi fizychnyi eksperyment yak zasib udoskonalennia fakhovykh kompetentnostei zdobuvachiv osvity v umovakh dystantsiinoho navchannia [A virtual physic experiment as a means of improving the professional competencies of students in the conditions of distance education]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(2), 50–55. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-2-008> (in Ukrainian).
14. Fizyka. Navchalni prohramy dlia zahalnoosvitnikh navchalnykh zakladiv. Fizyka. 10–11 klasy. [Physics. Educational programs for general educational institutions. Physics. 10–11 grades]. <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/fizika-10-11-avtorskij-kolektiv-pid-kerivnicztvom-lokteva-vm.pdf> (in Ukrainian).





DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-4-011

ТРАДИЦІЙНА ІНДОНЕЗІЙСЬКА ГРА «BANDHUL SADA» ПРИ ВИВЧЕННІ ПОНЯТЬ ДИНАМІКИ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ НА БАЗІ КОНТЕКСТУАЛЬНОГО ПІДХОДУ

Сіска Деси ФАТМАР'ЯНТИ ✉

Департамент фізичної освіти
 Університету Мухаммадії Пурворехо, Індонезія
siskadesy@umpwr.ac.id
<http://orcid.org/0000-0002-3655-4940>

INDONESIAN TRADITIONAL GAME «BANDHUL SADA» IN LEARNING ROTATION DYNAMIC CONCEPTS WITH CONTEXTUAL APPROACH

Siska Desy FATMARYANTI ✉

Department of Physics Education
 Universitas Muhammadiyah Purworejo, Indonesia
siskadesy@umpwr.ac.id
<http://orcid.org/0000-0002-3655-4940>

АНОТАЦІЯ

Вчителі можуть підтримувати збереження культури, водночас забезпечуючи актуальний і цікавий спосіб викладання різноманітних предметів, залучаючи традиційні ігри в навчальний процес. Метою цього дослідження є визначення понять динаміки обертального руху через традиційну індонезійську гру «Bandhul Sada» на базі контекстного підходу.

Формулювання проблеми. Ми зосередилися на тому, як вивчити поняття динаміки обертального руху через традиційну індонезійську гру «Bandhul Sada». Таке визначення включає аналіз понять динаміки обертального руху в грі «Bandhul Sada» та аналіз навчальних кроків при використанні цієї гри на базі контекстного підходу.

Матеріали і методи. Використано якісні методи з описовим аналізом. При аналізі понять динаміки обертального руху та навчальних кроків при використанні контекстного підходу використано метод нарративного огляду. Література та спостереження були використані як методи збору даних.

Результати. Результати дослідження показують, що (1) у грі «Bandhul Sada» можна пояснити такі поняття динаміки обертального руху, як лінійну швидкість, кутову швидкість, кутовий момент і кутовий момент; (2) цю гру можна застосувати в навчанні на базі контекстного підходу. Етапи використання цієї гри наступні: формування системи знань студентів, розвиток початкових знань студентів із використанням гри «Bandhul Sada», проведенні опитування шляхом обговорення та рефлексії. З усіх цих етапів навчання виявляється, що існує зв'язок між підходами до навчання та досягненням цілей.

Висновки. Таким чином, можна зробити висновок, що традиційна гра «Bandhul Sada» може бути використана як реальний приклад у вивченні таких фізичних понять динаміки обертального руху, як кутова швидкість і лінійна швидкість. Це надає студентам цінний досвід побудови системи власних знань різними методами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: традиційна гра; поняття динаміки обертального руху; контекстний підхід.

ABSTRACT

Teachers can support cultural preservation while also providing a relevant and interesting way to teaching diverse subjects by including traditional games into the learning process. The aim of this research is identify the rotation dynamic concepts of Indonesian traditional game «Bandhul Sada» with contextual approach.

Formulation of the problem. We focused how to learn the rotational dynamic concept with traditional game «Bandhul Sada» and implementation learning steps with contextual approach. This identification includes analysis of rotation dynamic concepts in «Bandhul Sada» and analysis of learning steps with a contextual approach to the application of the game.

Materials and methods. The method used qualitative approach with descriptive analysis. In the analysis of rotation dynamic concepts and learning step in contextual approach, we used the method of narrative review research. Literature and observation have been used as the data collection methods. In the analysis of learning step, we used the literature review includes gathering information through literature that supports the development of learning steps based on a contextual approach.

Results. Result of the research shows that (1) in «Bandhul Sada» game can be explained the concept of rotation dynamics that occur, namely linear speed, angular velocity, and angular momentum; (2) this game can be applied in learning with contextual approach. This learning consist of 5 phase. There were constructing knowledge possessed by students, developing students' initial knowledge, using game «Bandhul Sada» in delivering material concepts, conducting inquiry processes through discussion activities and finally reflection. From all these learning phases, it appears that there is a relationship between teaching approaches and achievement of goals.

Conclusions. Thus it can be concluded that the traditional game «Bandhul Sada» can be used as a real example in learning physics the concept of rotational dynamics such as angular velocity and linear velocity. And it provides students with valuable experience in constructing their own knowledge in a variety of methods.

KEYWORDS: traditional game; rotation dynamic concept; contextual approach.

INTRODUCTION

When applied in a real-world situation, physics becomes more interesting and understandable. Educators have embraced innovative ways, such as modifying traditional games to create compelling learning experiences (Baran et al., 2018), to bridge the gap between theoretical concepts and practical knowledge. There has been an increasing acknowledgment in recent years of the significance of incorporating cultural aspects into teaching techniques (Baran et al., 2018; Hainey et al., 2016; Sholahuddin & Admoko, 2021). Teachers can support cultural preservation while also providing a relevant and interesting way to teaching diverse subjects by including traditional games into the learning process. Studies on the effectiveness using traditional games in education have produced promising results. According to studies, including traditional games in the curriculum helps raise students' involvement, motivation, and cognitive skills (Deta et al., 2021). It also supports cultural identity and plays a role in the preservation of indigenous traditions and knowledge (Kancanadana et al., 2021).

Для цитування:

Fatmaryanti S. D. Indonesian traditional game «Bandhul Sada» in learning rotation dynamic concepts with contextual approach. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 4. С. 74-78. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-4-011
 Fatmaryanti, S. D. (2023). Indonesian traditional game «Bandhul Sada» in learning rotation dynamic concepts with contextual approach. *Фізико-математична освіта*, 38(4), 74-78. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-011>

For citation:

Fatmaryanti, S. D. (2023). Indonesian traditional game «Bandhul Sada» in learning rotation dynamic concepts with contextual approach. *Physical and Mathematical Education*, 38(4), 74-78. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-011>
 Fatmaryanti, S. D. (2023). Indonesian traditional game «Bandhul Sada» in learning rotation dynamic concepts with contextual approach. *Fizyko-matematyczna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(4), 74-78. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-011>

In Indonesia, the game of Bandhul Sada has a high cultural importance and has been played for many years. Its significance as a cultural heritage that symbolizes kinship within a community and traditional values has been emphasized by academics and scholars. It is seen as a sign of unity, and incorporating it into teaching methods helps encourage cultural awareness and preservation among pupils. The advantage of this traditional game is that it may be used as a learning tool or approach. Physics is included with nature-based learning, often known as Natural Sciences. There is one feature of science learning that distinguishes it from other subjects. Students must understand the concepts contained in learning materials for themselves through diverse activities such as discussing, observing, and investigating the problems (Fatmaryanti et al., 2017, 2018). They also have to be skilled to solve problems within their immediate environment. (Fatmaryanti et al., 2020).

One of the unique physics concepts that can be found in everyday activities is the concept of rotational dynamics. Difficulties often found in students were in analyzing the concept of moment inertia, acceleration of angles, torque and the relationship with kinetic energy of rigid object rotation (Haji et al., 2015). In other research also found that student difficulties lie in the relationship of moment inertia to rotational energy, and the effect of torque on angular acceleration (Jannah & Ermawati, 2020). Mastery of basic concepts about the dynamics of rotation will affect the ability of students to master the material further.

There hasn't been much research done specifically on using "Bandhul Sada" to teach rotation dynamics principles. Studies exploring the use of traditional games in science teaching have, however, shown how successful they are at improving students' comprehension of scientific ideas (Baran et al., 2018; Putranta et al., 2021). Future research can investigate how "Bandhul Sada" can be modified to illustrate ideas like angular velocity, and rotational equilibrium. To improve students' conceptual understanding, we conduct a detailed study of innovative learning models with traditional games. We focused how to learn the rotational dynamic concept with traditional game "Bandhul Sada" and implementation learning steps with contextual approach.

METHODS OF THE RESEARCH

The descriptive review method of research has been used in this article. Analysis of traditional games is viewed from the whole process when the game is being carried out with analysis of physics concepts and analysis of learning step.

In the analysis of rotation dynamic concepts, we used the method of narrative review research. This method is equivalent to the literature study approach as it integrates data collected from research objects collected from several literacies before coming to a conclusion. Literature and observation have been used as the data collection methods. The observation activity that was conducted used indirect observation, especially visual observation through photos and video recordings during the game. The research material was analyzed as a variation on the traditional game "Bandhul Sada", where the researcher examined the possibilities of any physics concept presented. The process of collecting data was through journal reviews. Data collected from various sources will be analyzed and adapted to the topic of physics concept analysis, namely the concept of rotational dynamics. The results of investigations from various sources are collected and integrated into a finding that can be useful for teachers and students in implementing physics learning.

In the analysis of learning step, we used the literature review includes gathering information through literature that supports the development of learning steps based on a contextual approach. Each learning step is described in detail regarding the learning activities carried out by students and teachers.

RESULTS AND DISCUSSION OF RESEARCH

Understanding how to apply basic physics concepts can be attained by creates activities and knowledge concerning suitable applications in real life situations. Cultural traditions can be used as a learning resource, particularly in physics education, which requires physical and real-world applications that improve students in understanding.

Analysis of Rotational dynamic concepts in "Bandhul Sada"

Bandhul sada uses items that are no longer used, namely Bluluk (coconut buds). This game can be played alone or in groups. The way to make these traditional toys is only in the form of bluluk which is given a rubber band as seen at figure 1. The way to play it is very easy, that is, you just need to rotate the bluluk around on the floor or ground, so that the rubber band that is attached is then tightly twisted. When it's twisted, lift it and float the rubber in the air, then we will see the turtledove spinning in the air until the rubber twist runs out and returns to normal. Participants in the game use a string to spin a wooden top called a "Bandhul Sada", then release it onto a playing field that has been demarcated. Players must deftly control the top's motion as it spins, offering a singular chance to investigate rotation dynamics.

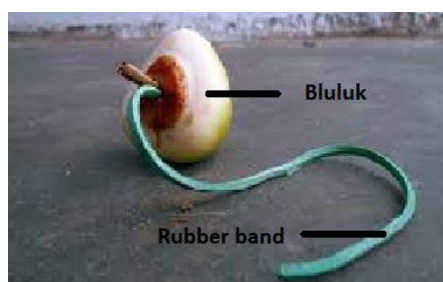


Figure 1. The Part of Bandhul Sada

From the results of the analysis of the concept of rotational dynamics found in traditional game "Bandhul Sada", it was found that the game contained several basic concepts of rotational dynamics. The concepts that can be found in the game can be seen in Table 1.

Table 1

Concepts of rotational dynamics can be found in step of "Bandhul Sada"	
Step of "Bandhul Sada"	Concept of rotational dynamics
Step 1: Rotate the rubber on the floor until it become short 	The concept of elasticity occurs when the rope is wrapped around the top. At that time, there was a concept of elasticity in the rubber strap and it caused the top to rotate.
Step 2: lift it and observe the spin 	The rotational dynamics process is related to concept of angular and linear velocity. When moving, the bluluk in the Bandhul Sada game takes a changing position, namely turns. There is a change in time from the initial position to a different displacement position.



Figure 2. Difference of velocity and diameter against time

The angular displacement is the displacement encountered by the propeller during circular motion. Furthermore, when the bluluk rotates, it possesses angular velocity. The angular velocity can be calculated by taking the angular displacement traveled in a given time and dividing it by the time. As a result, it can be stated as equation 1.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (1)$$

The angular displacement taken in a period of time $\Delta t = T$ and $\Delta\theta = 2\pi \text{ rad}$. So, we found the angular velocity experienced by a bluluk in a regular circular motion is formulated as equation 2.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

The rotational dynamics process is related to angular velocity and linear velocity. When moving, the bluluk in the bandhul sada game takes a changing position, particularly turning. The time from the initial location to the displacement position is different. It can be shown that there is a time that changes from the propeller movement conditions, which can be formulated as equation 3

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (3)$$

In this bandhul sada game, the d value is the length of the side of the rubber band. In terms of angular velocity (ω) and linear velocity (v), it requires a value of d (diameter). So that we get the equation (4)

$$v = \left(\frac{d}{2}\right) \omega \quad (4)$$

Angular velocity is influenced by the rope force. In "Bandhul Sada", magnitude of the force is translated as the size of the rope style when we rotate the rope on the bluluk. The greater the force we give, the greater the torque pressure which ultimately the greater the angular velocity that will be produced. Vice versa. The smaller the force we give when we rotate the bluluk rope, the smaller the speed of the angle produced. In addition to the force factor, the "Bandhul Sada" mass also affects the speed of the rotating angle. The greater the bluluk mass, the smaller the angular velocity.

Analysis of learning steps with a contextual approach

The contextual approach to learning facilitates teachers in integrating classroom material with situations from the real world. It helps students to connect their knowledge to its application in their lives as family members and members of society. Contextual learning has given students in groups or working together the most opportunities to explore and integrate a physics problem. Phases of application “Bandhul Sada” game in learning with contextual approach can be seen in Table 2.

Table 2

Learning activities in each step of contextual approach with traditional game

Phases	Learning Activities
Constructing knowledge possessed by students	Construct the knowledge students have with material to be studied, and related to the context of everyday life
Developing students' initial knowledge	Discuss with asking about concept that student have before
Using “Bandhul Sada” game in delivering material concepts	Students play the game “Bandhul Sada” together and make observations based on the variables guided by the teacher
Conducting inquiry processes through discussion activities	Discuss the concepts of rotational dynamics from observational data on the worksheet.
Reflection	Group discussion and do some examination

In order to perform their role as active learning subjects, students play traditional games that integrate physics learning. The teacher must develop an effective plan for teaching physics using traditional long-distance games. Planning an exhaustive instructional design is part of the strategy that teacher needs to get prepared to teach when using traditional distance game-based physics learning. Learning implementation is determined by instructional design (Khalil & Elkhider, 2016). The learning objectives will probably not be achieved to their maximum potential if the instructional design is not organized and comprehensive. Additionally, the abilities of students cannot also improve in accordance with defined learning objectives (Lee & Kim, 2017).

A teacher needs to guide students to find their own concepts through their own creativity. The goal is to construct knowledge into the mind by emphasizing process over outcome (Kivunja & Kuyini, 2017; Dagar & Yadav, 2016). So, in first phase, constructing knowledge, students are invited to construct knowledge with rotational dynamics material through examples in everyday life. The teacher provides examples such as pulleys in wells, ballet dancers and so on. In second phase, developing students' initial knowledge, the teacher guides the discussion with asking about concept that student have before. In the third phase, delivering material concepts, the students make observation based on the variables guided by teacher. From these quantities they discuss the relation of quantities. The purpose of this stage is for students to be able to identify scientific principles and their relationships, control variables (distinguishing independent variables, dependent variables, and control variables), until finally students design their own experiments (Bigozzi et al., 2018). In fourth phase, conducting inquiry processes, students give analysis with began mentioning physics quantities, like rope length, time, mass etc. They discuss the concepts of rotational dynamics form observational data on the worksheet. In the last phase, reflection, students make group discussion and do some examination. The examination is carried out in the form of performance, tests or quizzes, assignments, presentations, and results of students' traditional game-making projects are used to evaluate physics learning based on traditional games.

From all these learning phases, it appears that there is a relationship between teaching approaches and achievement of goals. Student knowledge can be increased by inducing mastery goals, not performance goals (Meece, 2023). For example, by creating a constructivist learning environment with the thought that all ideas are useful, rather than asking students about their ideas but just to make corrections.

CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES FOR A FURTHER RESEARCH

Learning by applying traditional game with contextual approach has given authentic experience for teacher. This finding is in line with the finding that the students' understanding and problem solving skills that will increase if they have the experience to perform or train these skills.

Based on the findings of various analyses and observations, it is concluded that the traditional game Bandhul Sada has the potential for the development of rotational dynamic notions such as angular velocity and linear velocity. In this study, we concluded that there was a need for physics teachers to innovate in order to help students understand the material more easily by connecting the physics material based on local wisdom or anything related to student life in terms of this in the traditional game from West Java. Based on the research findings, the researcher proposes that each physics teacher employ another traditional game since it provides students with valuable experience in constructing their own knowledge in a variety of methods.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was funded by the Institute of Research and Community Service of Universitas Muhammadiyah Purworejo. This research is also supported by team from Central Laboratory Department of Physics Education, Universitas Muhammadiyah Purworejo.

REFERENCES

- Baran, M., Maskan, A., & Yasar, S. (2018). Learning Physics through Project-Based Learning Game Techniques. *International Journal of Instruction*, 11(2), 221–234.
- Bigozzi, L., Tarchi, C., Fiorentini, C., Falsini, P., & Stefanelli, F. (2018). The influence of teaching approach on students' conceptual learning in physics. *Frontiers in Psychology*, 9(DEC), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02474>
- Dagar, V., & Yadav, A. (2016). Constructivism: A Paradigm for Teaching and Learning. *Arts and Social Sciences Journal*, 7(4), 66–70. <https://doi.org/10.4172/2151-6200.1000200>

4. Deta, U. A., Kurniawan, F. K., Lestari, N. A., Yantidewi, M., Jauharyyah, M. N. R., & Prahani, B. K. (2021). Literature review on the use of educational physics games in improving learning outcomes. *Journal of Physics: Conference Series*, 1805(1), 12038.
5. Fatmaryanti, S. D., Ashari, & Wahidah, V. S. (2020). Students' representation based on high order thinking skills for the concept of light. *Journal of Physics: Conference Series*, 1517(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1517/1/012056>
6. Fatmaryanti, S. D., Suparmi, Sarwanto, & Ashadi. (2017). Interactive Demonstration with Multiple Representation in Learning of Magnetic Field Concepts. *Scientific Journal Physical and Mathematical Education*, 4(4), 138–142.
7. Fatmaryanti, S. D., Suparmi, Sarwanto, Ashadi, & Kurniawan, H. (2018). Magnetic force learning with Guided Inquiry and Multiple Representations Model (GIMuR) to enhance students' mathematics modeling ability. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 19(1).
8. Hainey, T., Connolly, T. M., Boyle, E. A., Wilson, A., & Razak, A. (2016). A systematic literature review of games-based learning empirical evidence in primary education. *Computers & Education*, 102, 202–223.
9. Haji, A. G., Safriana, & Safitri, R. (2015). The use of problem based learning to increase students' learning independent and to investigate students' concept understanding on rotational dynamic at students of SMA Negeri 4 Banda Aceh. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 4(1), 67–72. <https://doi.org/10.15294/jpii.v4i1.3503>
10. Jannah, E. M., & Ermawati, F. U. (2020). Identify 11th grade of senior high school Jogoroto students' misconceptions on dynamic rotation and rigid body equilibrium concepts using four-tier diagnostic test. *Journal of Physics: Conference Series*, 1491(1), 12010.
11. Kancanadana, G., Saputri, O., & Tristiana, V. (2021). *The existence of traditional games as a learning media in Elementary School*.
12. Khalil, M. K., & Elkhider, I. A. (2016). Applying learning theories and instructional design models for effective instruction. *Advances in Physiology Education*, 40(2), 147–156. <https://doi.org/10.1152/advan.00138.2015>
13. Kivunja, C., & Kuyini, A. B. (2017). Understanding and Applying Research Paradigms in Educational Contexts. *International Journal of Higher Education*, 6(5), 26. <https://doi.org/10.5430/ijhe.v6n5p26>
14. Lee, C. J., & Kim, C. M. (2017). A technological pedagogical content knowledge based instructional design model: a third version implementation study in a technology integration course. *Educational Technology Research and Development*, 65(6), 1627–1654. <https://doi.org/10.1007/s11423-017-9544-z>
15. Meece, J. L. (2023). The role of motivation in self-regulated learning. In *Self-regulation of learning and performance* (pp. 25–44). Routledge.
16. Putranta, H., Kuswanto, H., Hajaroh, M., Dwiningrum, S. I. A., & Rukiyati. (2021). Strategies of physics learning based on traditional games in senior high schools during the Covid-19 pandemic. *Revista Mexicana de Fisica E*, 19(1), 1–15. <https://doi.org/10.31349/REVMEXFISE.19.010207>
17. Sholahuddin, M. I., & Admoko, S. (2021). Exploration of Physics Concepts Based on Local Wisdom Kolecer Traditional Games. *PENDIPA Journal of Science Education*, 5(1), 70–78. <https://doi.org/10.33369/pendipa.5.1.70-78>



Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
 Has been issued since 2013.

Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
 Виходить з 2013.



p-ISSN 2413-1571
 e-ISSN 2413-158X

DOI: 10.31110/2413-1571
<https://fmo-journal.org/>

DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-4-012

УДК 378.091.31:004.9

ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ХМАРО ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ ВІДКРИТОЇ НАУКИ У ПРОЦЕС НАВЧАННЯ ВЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

Марія ШИШКІНА ✉

Інститут цифровізації освіти НАПН України, Україна
 shyshkina@iitlt.gov.ua
<http://orcid.org/0000-0001-5569-2700>

PROSPECTIVE WAYS OF USING CLOUD-BASED SYSTEMS OF OPEN SCIENCE IN THE PROCESS OF TEACHERS OF NATURAL-MATHEMATICAL SUBJECTS TRAINING

Mariya SHYSHKINA ✉

Institute for Digitalisation of Education of NAES of Ukraine, Ukraine
 shyshkina@iitlt.gov.ua
<http://orcid.org/0000-0001-5569-2700>

АНОТАЦІЯ

У роботі охарактеризовано перспективні шляхи запровадження і використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у середовищі навчання і підвищення кваліфікації вчителів природничо-математичних предметів.

Формулювання проблеми. Науково-методичне опрацювання і розвиток методології використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів спрямоване на підвищення рівня їхньої ІКТ компетентності, поліпшення навичок опанування найбільш сучасними ІКТ.

Матеріали і методи. Для досягнення мети роботи були використані загальнонаукові методи: а) теоретичні – аналіз науково-методичної, психолого-педагогічної літератури з проблеми дослідження; узагальнення вітчизняного і зарубіжного досвіду; теоретичний аналіз, систематизація та узагальнення наукових фактів і закономірностей б) емпіричні – бесіди з учасниками освітньо-наукового середовища; педагогічні спостереження; анкетування; тестування.

Результати. У роботі обґрунтовано, що методично виважене та доцільне запровадження хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процес навчання і професійного розвитку вчителів сприятиме поліпшенню рівня організації освітнього процесу, підвищенню його якості завдяки використанню найсучасніших ІКТ, більш активному використанню інноваційних форм, засобів і технологій у процесі підвищення кваліфікації вчителів; підвищенню рівня їх ІКТ-компетентності.

Висновки. Запровадження хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процес підвищення кваліфікації вчителів – методично доцільний напрямок удосконалення наукової освіти вчителів, це сприятиме ширшому запровадженню актуального освітнього контенту і найсучасніших технологій у процес навчання. Перспективними шляхами їх запровадження є такі, як: підтримувannya групової роботи і проектно-орієнтованого навчання; зберігання, опрацювання, подання і візуалізації даних у процесі здійснення наукових і науково-навчальних досліджень; опрацювання великих даних; розв'язання різноманітних спеціальних задач дослідження, як в індивідуальному, так і колективному режимі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: хмарні сервіси; відкрита наука; професійний розвиток; вчителі.

ABSTRACT

The work describes promising ways of introducing cloud-oriented systems of open science in the process of training and professional development of teachers of natural and mathematical subjects.

Formulation of the problem. The scientific and methodological study and development of the methodology for using cloud-based open science systems in the process of training and professional development of teachers is aimed at increasing the level of their ICT competence, improving the skills of mastering the most modern ICT.

Materials and methods. To achieve the goal of the work, general scientific methods were used: a) theoretical - analysis of scientific and methodological, psychological and pedagogical literature on the problem of research; generalization of domestic and foreign experience; theoretical analysis, systematization and generalization of scientific facts and patterns b) empirical - conversations with participants in the educational and scientific environment; pedagogical observations; questioning; testing.

Findings. The paper substantiates that methodically balanced and expedient introduction of cloud-oriented systems of open science in the process of training and professional development of teachers will contribute to improving the level of organization of the educational process, improving its quality through the use of the most modern ICT, more active use of innovative forms, tools and technologies in the process of teacher training; improving their ICT competence.

Conclusions. The introduction of cloud-based open science systems in the process of teacher training is a methodically expedient direction for improving the scientific education of teachers, this will contribute to the wider introduction of relevant educational content and the most modern technologies in the learning process. Promising ways of their implementation are such as: supporting group work and project-oriented learning; storage, processing, presentation and visualization of data in the process of scientific and scientific-educational research; big data processing; solving various special research tasks, both in the individual and collective mode.

KEYWORDS: cloud services; open science; professional development; teachers.

ВСТУП

Постановка проблеми. У сучасному інформаційно освітньому просторі хмаро орієнтовані системи відкритої науки постають одним із провідних трендів. Ці ІКТ забезпечують підтримувannya таких інноваційних форм організації, як навчання та дослідження у співробітництві за рахунок спільного доступу до ІКТ-середовища і програмного забезпечення для вирішення завдань; адаптивні хмаро орієнтовані системи опрацювання даних, зокрема, великих даних; адаптивні хмаро орієнтовані платформи навчання і досліджень, розгорнуті на базі закладів освіти або їх окремих одиниць; науково-

Для цитування:

Шиськіна М. Перспективні шляхи запровадження хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процес навчання вчителів природничо-математичних предметів. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 4. С. 79-83. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-4-012

Шиськіна, М. (2023). Перспективні шляхи запровадження хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процес навчання вчителів природничо-математичних предметів. *Фізико-математична освіта*, 38(4), 79-83. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-012>

For citation:

Shyshkina, M. (2023). Prospective ways of using cloud-based systems of open science in the process of teachers of natural-mathematical subjects training. *Physical and Mathematical Education*, 38(4), 79-83. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-012>

Shyshkina, M. (2023). Perspektivni shliakhy zaprovadzhennia khmaro orientovanykh system vidkrytoї nauky u protses navchannia vchyteliv pryrodnycho-matematichnykh predmetiv [Prospective ways of using cloud-based systems of open science in the process of teachers of natural-mathematical subjects training]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(4), 79-83. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-4-012>

освітні інформаційні мережі, платформи та інфраструктури, зокрема Європейська хмара відкритої науки (EOSC); хмарні сервіси і електронні ресурси навчально-наукового призначення, що є доступними для використання. Найважливішим завданням є підготовка педагогічних кадрів, адже саме вони є рушійною силою цифровізації освіти. Активне впровадження хмаро орієнтованих наукових сервісів і систем відкритої науки, хмарних інструментів нового покоління є одним із перспективних напрямів підвищення ІКТ-компетентності вчителів та модернізації навчально-дослідницького середовища. Тому в освіті сучасного вчителя мають бути представлені не лише технології відкритого навчання, а й відкритої науки, які сьогодні є невід'ємною частиною адаптивного, персоналізованого середовища нового часу. Проблема підвищення ІКТ-компетентності педагогічних кадрів постає в контексті запровадження ІКТ відкритої науки. Ця багатообіцяюча тенденція стосується проектування та застосування відкритих наукових систем як нового етапу розвитку хмаро орієнтованих систем.

В інформаційно-освітньому середовищі існують нові моделі організації навчальної діяльності, які базуються на інноваційних технологічних рішеннях щодо проектування середовища, серед яких значну роль відіграють апаратно-програмні засоби адаптивних інформаційно-комунікаційних мереж, хмарні рішення.

Питання адаптації і налаштування засобів та сервісів інформаційно-технологічного освітнього середовища до потреб користувачів з метою максимальної реалізації педагогічного потенціалу використання найсучасніших ІКТ, зокрема, хмарних, поліпшення результатів навчання, а також удосконалення процесу науково-дослідної діяльності вчителів, розвитку навичок спільної роботи, потребує запровадження інноваційних підходів. Ці підходи мають забезпечити найбільш доцільні способи організації доступу до програмного забезпечення навчального призначення, зокрема, на базі хмаро орієнтованих підходів, що належать до провідних моделей організації інфраструктури освітнього середовища, а також постають каталізатором запровадження інноваційних методів і підходів в освітню практику.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності і результативності розвитку ІКТ компетентності вчителів за рахунок ширшого використання у процесі навчання засобів і технологій відкритої науки, зокрема із використанням хмаро орієнтованих рішень. Запровадження хмаро орієнтованих систем та сервісів відкритої науки є суттєвою передумовою підвищення кваліфікації, підготовки і перепідготовки вчителів для активної професійної діяльності і самореалізації у високотехнологічному суспільстві, використання інноваційних методик і засобів навчання.

Аналіз актуальних досліджень. Хмарні інструменти трансформували навчальне середовище, уможливили масову обробку даних, спільне використання результатів досліджень, більшу масштабованість обчислювальних потужностей і сервіс-орієнтовану архітектуру. Даний підхід забезпечує відкрите, спільне, проектно-орієнтоване навчання. В Інституті цифровізації освіти НАПН України були розроблені засадничі підходи, що визначають формування моделей відкритої освіти (Биков, 2008). Результати досліджень утворюють теоретико-методологічний фундамент для подальших робіт з розвитку систем відкритої науки поряд з широким впровадженням і використанням цих підходів у всіх ланках системи освіти.

Методологія, спрямована на реалізацію загальних принципів відкритої науки, таких як відкритий доступ, відкриті дані, відкриті методи дослідження, відкрита комунікація та відкрите оцінювання (Open Science, 2015), потребує подальшого впровадження у сфері освіти. Для реалізації цих принципів слід використовувати хмаро орієнтовані підходи, основними особливостями яких є гнучкість і масштабованість ІТ інфраструктури, що призводить до значно вищої ефективності їх реалізації (Bykov & Shyshkina, 2018).

Науково-методичне опрацювання проблем формування хмаро орієнтованого освітньо-наукового середовища потребує подальшого розвитку в контексті пріоритетів відкритої науки (Bykov & Shyshkina, 2018), (Marienko, 2021). Зокрема, в аспекті застосування потужних платформ для зберігання та опрацювання обсягів наукових даних, а також гнучкого вибору та масштабування комп'ютерних потужностей. Використання хмарних платформ у поєднанні з сервісами комунікації створює багато більше можливостей для функціонування віртуальних наукових колективів (Bykov et al., 2020). Ці тенденції були значно посилені впливом періоду пандемії, при цьому змішане та дистанційне навчання та дослідницькі процеси набирали масового прийняття та використання (Krylova-Grek & Shyshkina, 2021).

Узагальнюючи досвід використання хмаро орієнтованих інструментів відкритої науки для підтримання процесів комунікації, спільної роботи, адаптивного управління контентом, створення і використання електронних ресурсів і сервісів у ході освітньо-наукового співробітництва у віртуальних колективах, можна стверджувати, що цей досвід може бути корисним для подальшого запровадження у вітчизняному освітньо-науковому просторі, зокрема, в освіті вчителів.

В Україні вже почали робити перші кроки щодо впровадження підходів відкритої науки у підготовку науково-педагогічних і педагогічних кадрів (Marienko, 2021). Даний підхід до проектування освітніх систем навчання наразі стає все більш популярним, бо чудово себе показує у формуванні навичок дослідницької діяльності, у навчанні молодих науковців. Тому дослідження перспективних шляхів подальшого розвитку у цій сфері, визначення напрямів розроблення і запровадження методичних підходів до поглибленого опанування вчителями практик відкритої науки і відповідних їм сервісів є вельми актуальними.

Мета статті. Метою статті є обґрунтування перспективних шляхів запровадження хмаро орієнтованих систем відкритої науки у середовище навчання і підвищення кваліфікації вчителів природничо-математичних предметів.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення мети роботи були використані загальнонаукові методи: а) теоретичні – аналіз технічної літератури з проблеми дослідження; узагальнення вітчизняного і зарубіжного досвіду; теоретичний аналіз, систематизація та узагальнення наукових фактів і закономірностей б) емпіричні – бесіди з учасниками освітньо-наукового середовища; педагогічні спостереження; анкетування; тестування.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

За результатами аналізу вітчизняних і зарубіжних досліджень останніх років визначено хмаро орієнтовані інструменти відкритої науки, що потребують більш широкого впровадження у процес підвищення кваліфікації вчителів

(Marienko & Shyshkina, 2022). Серед них, зокрема, хмаро орієнтовані системи підтримання діяльності віртуальних навчальних/наукових колективів, групової роботи, що роблять доступними для спільного використання гнучко організований пул електронних ресурсів та інші. Причому в освітньо-науковому середовищі можуть бути використані сервіси як корпоративної, так і загальнодоступної хмари. Зокрема, завдяки залученню в освітній процес хмаро орієнтованих платформ, розгортання на них різних типів корпоративних хмарних сервісів вдається створювати спеціалізовані середовища, які найбільшою мірою орієнтовані на розв'язання певних типів задач. Для цього може не існувати готових загальнодоступних сервісів, тоді як корпоративне хмаро орієнтоване середовище можна адаптовувати, налаштовувати і орієнтувати на будь-які типи задач, які виникають у практиці досліджень. Це дає найбільш широкі можливості для створення унікальних авторських методик і методичних систем для розв'язання спеціальних задач. За допомогою запровадження хмаро орієнтованих систем, спрямованих на підтримання практик відкритої науки, можна досягти позитивних змін у здійсненні навчальної і наукової діяльності вчителів, поліпшити її якісні і кількісні показники, впроваджувати нові форми і моделі її організації. Для підтримання розгортання корпоративних хмаро орієнтованих систем у закладі освіти доцільно застосовувати такі платформи, як, наприклад, MS Azure, AWS або інші (Bykov et al., 2020). Досвід їх використання, зокрема, у проєкті «Освітній академічний портал інтеграції ІТ в освіту» EDUPORT, що виконується за участі Інституту цифровізації освіти НАПН України свідчить, що це позитивно впливає як на результати навчання, так і на розвиток наукових досліджень, поліпшення рівня їх організації, підвищення ефективності.

Європейська хмара відкритої науки (EOSC) потребує окремої уваги у плані удосконалення як змістового, так і технологічного компонентів методичного забезпечення процесу підвищення кваліфікації вчителів. Це пан-Європейська інфраструктура, що об'єднує електронні ресурси і сервіси, розроблені в межах Європейських дослідницьких проєктів і не лише їх, класифікованих відповідно до наукових галузей і видів діяльності. Інструментарій, розміщений на порталі EOSC, є досить різноманітним, перелік сервісів значний. На порталі надано чіткі інструкції щодо реєстрації, навігації, пошуку сервісів, налаштування, отримання доступу. Методики використання сервісів Європейської хмари відкритої науки, зокрема і розроблені у (Marienko, 2021) в освітньо-науковому процесі потребують подальшого розвитку і впровадження. Необхідно надавати підтримку вчителям щодо впровадження нових практик.

Хмара відкритої науки (EOSC) об'єднує Європейські дослідницькі інфраструктури (у тому числі електронні інфраструктури програм/проєктів ESFRI) у єдиний віртуальний освітньо-науковий простір, у якому кожному досліднику-користувачеві EOSC (як індивідуальному, так і колективному, окремій дослідницькій інфраструктурі, консорціуму тощо) надається доступ до:

- всіх наявних наукових даних, отриманих у проєктах Європейського Союзу, що здійснювались за державний кошт (каталог даних);
- до відомостей про доступні сервіси та потужності дослідницьких е-інфраструктур (каталог сервісів);
- до інформації про існуючі дослідницькі інфраструктури, про наявні програми і проєкти, про діючі консорціуми, що вже існують чи створюються (каталог дослідницьких інфраструктур).

Розглянемо приклади добору і використання сервісів EOSC на прикладі тих, що могли б бути корисними у навчанні вчителів предметів природничо-математичного циклу.

Портал EOSC (<https://eosc-portal.eu/>) – це Європейський хаб даних досліджень, з уніфікованим доступом до єдиної системи інструментів та сервісів для інновацій та освіти. Він містить такі рубрики, як Публікації; Дані; Програмне забезпечення; Сервіси; Джерела даних; Навчання; Рекомендації з сумісності; Пакети; Інше. Якщо обрати пункт меню «Сервіси», зліва виникає вкладка «Фільтри». Сервіси можна обирати за фільтрами в залежності від категорій. Наприклад, категорія «Етапи дослідження» містить такі мітки, як «Відшукати результати досліджень», «Обробка і аналіз», «Управління даними досліджень», «Доступ до обчислювальних ресурсів і простору для зберігання»; «Доступ до дослідницьких інфраструктур»; «Публікація результатів досліджень»; «Доступ до навчальних матеріалів»; «Знайти інструменти і обладнання». Наступна вкладка охоплює фільтри доступу до сервісів, можна обрати «Вільний доступ», тоді будуть обрані лише вільно поширювані сервіси, нарешті вкладка «Наукові галузі» встановлює фільтри по галузях, де можна обрати ті типи сервісів, що підходять для конкретних предметів. У цій категорії можна обрати «Природничі науки» (наразі у наявності 34 сервіси, доступних для використання); «Інженерія і технології» (12 сервісів) та інші. У переліку немає окремо галузі «Математика», тому, щоб підшукати необхідні ресурси, знову переходимо в основний каталог і набираємо «Математика» у стрічці пошуку. Висвітлюється 460 пунктів програмного забезпечення, наявні у вільному доступі (Рис.1).

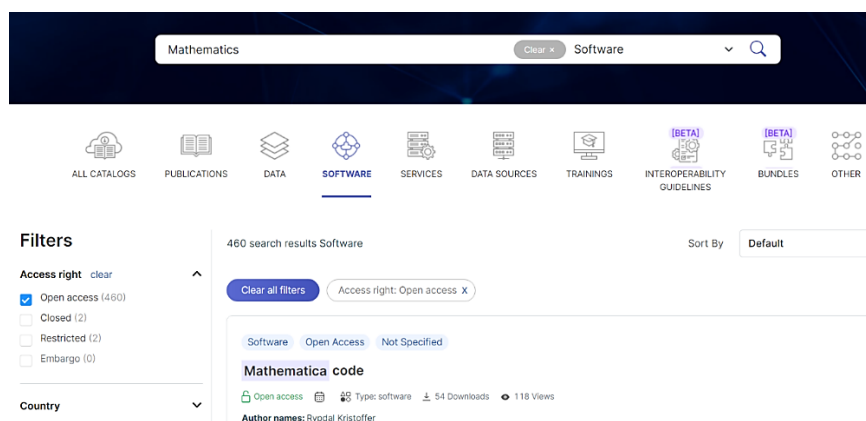


Рис. 1. Зразок запиту щодо добору сервісів за галуззю «Математика»

Зважаючи на існування різних моделей використання хмарних сервісів, варто звернути увагу на виважений вибір найбільш доцільного рішення, яке підходить для кожного випадку, для конкретної ситуації, як для колективного, так і індивідуального користувача. Вибір моделі SaaS (програмне забезпечення як сервіс) у цьому відношенні може бути обґрунтований тим, що ці сервіси є найбільш доступними, хоча і потребують ретельного аналізу ринку та педагогічно виваженого вибору програмного додатку, за допомогою якого можна було б досягти потрібних навчальних або наукових цілей. Ці засоби можуть бути задіяні як у діяльності окремого вчителя, так і в індивідуальній або колективній роботі проєктної команди. Зокрема, для підтримувannya роботи віртуального наукового/навчального колективу може бути використане програмне забезпечення пакету програм MS Office 365, що є безкоштовним для використання у закладах освіти. До складу цього пакету програм входить сервіс MS Teams, який дозволяє створювати в цьому середовищі проєктні або навчальні групи, додавати до нього необхідні сервіси, створювати і зберігати електронні ресурси.

У Європейській хмарі відкритої науки є у наявності програмне забезпечення навчального призначення різних типів, яке може бути використано, наприклад, у навчанні математики. Але можна добирати сервіси не лише в EOSC. Тим більше, якщо вони відповідають вимогам функціональності і вільнопоширюваності. Для вчителів предметів природничо-математичного циклу може бути корисним хмарний сервіс CoCalc. Це програмне забезпечення для здійснення числових обчислень та символічних перетворень, а також візуалізації математичних співвідношень і закономірностей у даних, що є доступним як хмарний сервіс (Popel, 2018).

Для роботи з CoCalc необхідно опанувати початкові навички, які набуваються на підготовчій стадії до використання цього сервісу, а саме – вміти зареєструватися і авторизуватися в системі; навчитися створювати освітні ресурси; працювати з листами *sagews* (включаючи найпоширеніші режими, на основі мов: LaTeX, Python, HTML); вбудувати відео, аудіо, анкети, графічні файли в ресурси *sagews*; спілкуватися в чатах навчальних ресурсів і в ресурсі *sage-chat*; працювати з навчальним ресурсом типу *tex*; завантажувати нові ресурси з електронних носіїв. На наступному етапі необхідно буде опанувати навички реалізації науково-дослідних проєктів та навчально-наукових проєктів з використанням CoCalc (Popel, 2018).

Окремим аспектом технологізації типів науково-педагогічної діяльності є відбір та систематизація засобів інформаційних технологій, що придатні для використання на кожному з етапів дослідження. Відбір та застосування кожного конкретного засобу потребує науково-методичного опрацювання. Практичне значення має у цьому аспекті виявлення, аналіз, опис та характеристика засобів, які існують на наш час для підтримувannya тих чи інших дій. Проте, практично неможливо охопити в одній роботі багатомірний спектр комп'ютерних технологій експерименту, що постійно розвиваються і вдосконалюються. Зокрема, у дослідженні (Marienko & Shyshkina, 2022) сервіси Європейської хмари відкритої науки було класифіковано і дібрано відповідно до основних етапів наукового дослідження, таких як пошук наукових джерел; подання, візуалізація і опрацювання даних; підтримувannya спільної роботи проєктної групи; використання сервісів великих даних; поширення і обговорення результатів.

Методи навчання, що доцільно застосовувати у хмаро орієнтованому середовищі у процесі підготовки педагогічних кадрів: пояснювально-ілюстративний; засвоєння практичних знань; частково-пошуковий; проблемний; дослідницький.

Форми навчання у хмаро орієнтованому освітньо-науковому середовищі: робота в групах; лекції; факультативи; тренінгові заняття; практичні і лабораторні роботи; самостійна робота; семінари, вебінари, web-конференції, пояснення і індивідуальні консультації; робота у навчальних і дослідницьких мережних проєктах.

Серед інноваційних форм навчання, що можуть бути реалізовані лише у хмаро орієнтованому середовищі, доцільно застосовувати комбінований тренінг, в якому поєднуються очна і дистанційна форми роботи.

Засоби формування хмаро орієнтованого освітньо-наукового середовища: хмаро орієнтовані платформи і сервіси (Google Apps for Education; Microsoft Office 365; спеціалізоване SaaS (CoCalc або ін.); сервіси загальнодоступної хмари на базі ІКТ-платформ (Amazon Web Services, Microsoft Azure або ін.), сервіси корпоративної хмари на базі ІКТ-платформ (Microsoft Azure, Xen, VMware або ін.), сервіси науково-освітніх мереж і інфраструктур, зокрема Європейської хмари відкритої науки (EOSC).

ОБГОВОРЕННЯ

Завдяки використанню хмарних технологій можна створити поліфункціональне навчальне середовище на єдиній основі, завдяки чому вдається досягти активізації освітнього процесу, формувати у вчителів правильне ставлення до роботи, орієнтування та обізнаність щодо роботи з навчальними проєктами, ефективно опрацьовувати значні обсяги даних і відомостей, раціонально організовувати час і наявні ресурси, розуміти відмінності різних моделей використання хмарних технологій та проєктування хмаро орієнтованих систем відкритої науки для вирішення навчальних чи дослідницьких задач. Всі ці навички є необхідними для повноцінного існування і самореалізації майбутнього фахівця в інформаційному суспільстві, що ставить перед його членами нові, сучасні вимоги та можливості для розвитку.

Загалом можна виокремити кілька напрямів чи груп типів діяльності, які відбуваються у хмаро орієнтованому середовищі відкритої науки і підтримуються або уможливорюються завдяки використанню відповідних ІКТ. Це такі як: групова робота і проєктно-орієнтоване навчання (Може підтримуватися як універсальними, так і спеціалізованими хмарними сервісами, наприклад, MS Office 365, MS Teams або ін.); Зберігання, опрацювання, подання і візуалізація даних (наприклад, MS OneDrive, MS Power BI або ін.); Опрацювання великих даних (наприклад, MS Power BI або ін.); використання хмарних сервісів відкритої науки для розв'язання різноманітних спеціалізованих задач дослідження, як в індивідуальному, так і колективному режимі (CoCalc або ін.); Розгортання і використання різноманітного спеціалізованого програмного забезпечення у корпоративній хмарі для командної роботи (віртуальні машини MS Azure, AWS або інші).

Дослідження здійснено у межах проєкту Національного фонду досліджень України 2020.02/0310 за темою «Хмаро орієнтовані системи відкритої науки у навчанні і професійному розвитку вчителів».

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Впровадження хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процес навчання і професійного розвитку вчителів створює умови для покращення результатів цього процесу. Перспективними шляхами їх запровадження є такі, як: підтримувannya групової роботи і проєктно-орієнтованого навчання; зберігання, опрацювання, подання і візуалізації даних у процесі здійснення наукових і науково-навчальних досліджень; опрацювання великих даних; розв'язання різноманітних спеціальних задач дослідження, як в індивідуальному, так і колективному режимі.

Перспективою подальших досліджень є теоретичне обґрунтування та більш широка апробація методик використання хмарних сервісів та технологій відкритої науки у науковій освіті вчителів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Биков, В. (2008). *Моделі організаційних систем відкритої освіти*. Київ, Атіка.
2. Bykov, V., Mikulowski, D., Moravcik, O., Svetsky, S., & Shyshkina, M. (2020). The use of the cloud-based open learning and research platform for collaboration in virtual teams. *Information Technologies and Learning Tools*, 76 (2), 304-320. <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/3706>.
3. Bykov, V., & Shyshkina, M. (2018). The Conceptual Basis of the University Cloud-based Learning and Research Environment Formation and Development in View of the Open Science Priorities. *Information Technologies and Learning Tools*, 68 (6), 1-19. <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/2609/1409>.
4. Glazunova, O. G., Kuzminska, O. G., Voloshyna, T. V., Sayapina, T. P., & Korolchuk, V. I. (2017). E-environment based on Microsoft Sharepoint for the organization of group project work of students at higher education institutions. *Information Technologies and Learning Tools*, 62(6), 98-113. <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1837>.
5. Krylova-Grek, Y., & Shyshkina, M. (2021) Online learning at higher education institutions in Ukraine: achievements, challenges, and horizons. *Information Technologies and Learning Tools. ICT and learning tools in the higher education establishments*, 85(5), 163-174.
6. Marienko, M. V. (2021). Tools and Services of the Cloud-Based Systems of Open Science Formation in the Process of Teachers' Training and Professional Development. *Lecture Notes in Business Information Processing book series (LNBIP)*, 429, 108-120
7. Marienko, M., & Shyshkina, M. (2022). The Design and Implementation of the Cloud-Based System of Open Science for Teachers' Training. *In International Conference on Interactive Collaborative Learning* (pp. 337-344). Cham: Springer International Publishing.
8. Open Science. Policy Brief, December 2015. ERA Portal, Austria (2015). https://era.gv.at/public/documents/2714/ERA_Open_Science_POLICY_BRIEF_December_2015.pdf3.
9. Popel, M. (2018). Using CoCalc as a training tool for mathematics teachers' pre-service training. *Information Technologies and Learning Tools*, 68(6). <https://lib.iitta.gov.ua/713274/1/2404-11537-1-PB.pdf>.

REFERENCES

1. Bykov, V. (2008). *Modeli orhanizatsiynykh system vidkrytoi osvity [Models of organizational systems of open education]*. Kyiv, Atika. (in Ukrainian).
2. Bykov, V., Mikulowski, D., Moravcik, O., Svetsky, S., & Shyshkina, M. (2020). The use of the cloud-based open learning and research platform for collaboration in virtual teams. *Information Technologies and Learning Tools*. 76 (2), 304-320. <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/3706>.
3. Bykov, V., & Shyshkina, M. (2018). The Conceptual Basis of the University Cloud-based Learning and Research Environment Formation and Development in View of the Open Science Priorities. *Information Technologies and Learning Tools*, 68 (6), 1-19. <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/2609/1409>.
4. Glazunova, O. G., Kuzminska, O. G., Voloshyna, T. V., Sayapina, T. P., & Korolchuk, V. I. (2017). E-environment based on Microsoft Sharepoint for the organization of group project work of students at higher education institutions. *Information Technologies and Learning Tools*, 62(6), 98-113. <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1837>.
5. Krylova-Grek, Y., & Shyshkina, M. (2021) Online learning at higher education institutions in Ukraine: achievements, challenges, and horizons. *Information Technologies and Learning Tools. ICT and learning tools in the higher education establishments*, 85(5), 163-174.
6. Marienko, M. V. (2021). Tools and Services of the Cloud-Based Systems of Open Science Formation in the Process of Teachers' Training and Professional Development. *Lecture Notes in Business Information Processing book series (LNBIP)*, 429, 108-120
7. Marienko, M., & Shyshkina, M. (2022). The Design and Implementation of the Cloud-Based System of Open Science for Teachers' Training. *In International Conference on Interactive Collaborative Learning* (pp. 337-344). Cham: Springer International Publishing.
8. Open Science. Policy Brief, December 2015. ERA Portal, Austria (2015). https://era.gv.at/public/documents/2714/ERA_Open_Science_POLICY_BRIEF_December_2015.pdf3.
9. Popel, M. (2018). Using CoCalc as a training tool for mathematics teachers' pre-service training. *Information Technologies and Learning Tools*, 68(6). <https://lib.iitta.gov.ua/713274/1/2404-11537-1-PB.pdf>.



АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

А	Мойсеєнко М.14
Абдієва Ш. 7	Н
Б	Носенко Ю.49
Бандура Х. 14	О
Бойчук В. 14	Опачко М.62
В	П
Воронкін О. 24	Прокопів Л.14
Г	Прус А.56
Гетманенко Л. 31	Р
Д	Різак В.62
Дешко Н. 62	Романець О.68
З	С
Здешиц А. 36	Савчук В.68
Здешиц В. 36	Стинська В.14
К	Т
Коцюбинський В. 14	Тургунбаєв Р.7
Крамаренко Т.42	Туровська Л.14
Кузишин М. 14	Ф
Л	Фатмар'янти С.Д.74
Лушин С. 24	Ш
М	Шишкіна М.79
Мазуренко Ю. 14	

Наукове видання

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА

Науковий журнал

Key title: Fiziko-matematična osvita

Abbreviated key title: Fiz.-mat. osv.

Том 38, № 4

2023

Друкується в авторській редакції
Матеріали подані мовою оригіналу

Відповідальний за випуск

О.В. Семеніхіна

Комп'ютерна верстка

О.М. Удовиченко

Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації
КВ № 22304 – 12204Р від 29.08.2016 р.

Фізико-математичний факультет
СумДПУ імені А.С. Макаренка
вул. Роменська, 87
м. Суми, 40002
тел. (0542) 68 59 10

<https://fmo-journal.org/>