

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, № 3

Суми – 2023

**Рекомендовано до видання вченою радою
Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка
(протокол № 12 від 26.06.2023 р.)**

Редакційна колегія

М.П. Вовк	доктор педагогічних наук, старший науковий співробітник (Україна)
М.Гр. Воскоглу	доктор філософії, почесний професор математичних наук (Греція)
Т.Г. Дерека	доктор педагогічних наук, професор (Словацька республіка)
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.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. Школьний	доктор педагогічних наук, професор (Україна)
Т.Д. Лукашова	доктор фізико-математичних наук, доцент (Україна)
О.О. Пипка	доктор фізико-математичних наук, доцент (Україна)
В.О. Швець	кандидат педагогічних наук, професор (Україна)
А.М. Добровольська	кандидат фізико-математичних наук, доцент (Україна)
В.Г. Шамо́ня	кандидат фізико-математичних наук, доцент (Україна)

Ф45 Фізико-математична освіта : науковий журнал. Том 38, № 3. 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. 83 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 3

Sumy – 2023

**Recommended for publication of the Academic Council
of Makarenko Sumy State Pedagogical University
(protocol No 12 from 26.06.2023)**

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)
T.H. Dereka	Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Slovak Republic)
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.Yu. Osyova	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)
T.D. Lukashova	Doctor of Physics and Mathematics 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)
A.M. Dobrovol'ska	PhD (Physics and Mathematics Sciences), Associate Professor (Ukraine)
V.G. Shamonia	PhD (Physics and Mathematics Sciences), Associate Professor (Ukraine)

F 45 Physical and Mathematical Education : Scientific Journal. Vol. 38, No 3. Makarenko Sumy State Pedagogical University, Physics and Mathematics Faculty ; O.V. Semenikhina (chief editor). Sumy : [Makarenko Sumy State Pedagogical University], 2023. 83 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

Івашина Ю., Єрмакова-Черченко Н.....	7
ПОХИБКА ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНУ КУЛОНА ДО ВЗАЄМОДІЇ ЗАРЯДЖЕНИХ СТРИЖНІВ	7
Коваленко В.	12
РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОФЕСІЙНОЇ САМООСВІТИ ВЧИТЕЛІВ НАУКОВИХ ЛІЦЕЇВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРО ОРІЄНТОВАНИХ СЕРВІСІВ ВІДКРИТОЇ НАУКИ	12
Краснобокий Ю., Ткаченко І., Ільніцька К.....	20
ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПОГОДИ ТА АНОМАЛЬНИХ ЯВИЩ У ПРИПОВЕРХНЕВІЙ АТМОСФЕРІ ЗЕМЛІ	20
Лукашова Т., Друшляк М., Хворостіна Ю.....	29
ФУНДУВАННЯ ЗНАНЬ У СИСТЕМІ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ ПРИ ВИВЧЕННІ МЕТОДУ МАТЕМАТИЧНОЇ ІНДУКЦІЇ	29
Лупаренко Л., Мар'єнко М., Шишкіна М.	36
МОДЕЛЬ ВИКОРИСТАННЯ ХМАРО ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ ВІДКРИТОЇ НАУКИ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ І ПРОФЕСІЙНОГО РОЗВИТКУ ВЧИТЕЛІВ (ДОСЛІДНИЦЬКИЙ АСПЕКТ)	36
Матяш О., Риндюк В.	43
НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ НАВЧАЛЬНИХ ПЛАТФОРМ: АНАЛІЗ ЗАКОРДОННОГО ДОСВІДУ	43
Подласов С., Свердліченко Д., Матвійчук О.	50
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЗАДАЧІ З ФІЗИКИ В ТЕХНІЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ.....	50
Руфаїда С., Сям Н., Самад С.	57
МОДЕЛІ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ НА ОСНОВІ СИНЕКТИКИ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ НАВИЧОК ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ: АНАЛІЗ ПОТРЕБ	57
Сороко Н., Ткаченко В.....	63
МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ УЧАСНИКІВ ОСВІТЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ДОПОВНЕНОЇ ТА ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТЕЙ У ЗАКЛАДІ ЗАГАЛЬНОЇ ОСВІТИ	63
Юркович Н., Мар'ян М., Опачко М., Шебень В.....	73
МЕТОДИ ФРАКТАЛЬНОГО ПІДХОДУ В ОСВІТІ: ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОНЦЕПЦІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	73
Деордіца Т., Толмачов В.	79
РЕЦЕНЗІЯ НА КНИГУ: «БЕЗМЕЖНА СИЛА МАТЕМАТИКИ. ЯК ЗАВДЯКИ МАТАНАЛІЗУ ВІНАЙШЛИ СМАРТФОНИ, ТЕЛЕБАЧЕННЯ І GPS».....	79

CONTENTS

Ivashina Yu., Yermakova-Cherchenko N.....	7
ERROR IN THE APPLICATION OF COULON'S LAW TO THE INTERACTION OF CHARGED RODS.....	7
Kovalenko V.	12
IMPLEMENTATION OF PROFESSIONAL SELF-EDUCATION OF TEACHERS OF SCIENTIFIC LYCEUMS USING CLOUD-ORIENTED SERVICES OF OPEN SCIENCE	12
Krasnoboky Yu., Tkachenko I., Ilnitska K.	20
PHYSICAL BASIS OF THE FORMATION OF WEATHER AND ANOMALOUS PHENOMENA IN THE NEAR-SURFACE ATMOSPHERE OF THE EARTH	20
Lukashova T., Drushlyak M., Khvorostina Yu.	29
KNOWLEDGE FOUNDATION IN THE SYSTEM OF PROFESSIONAL TRAINING OF PRE-SERVICE MATHEMATICS TEACHERS IN STUDYING THE MATHEMATICAL INDUCTION METHOD	29
Luparenko L., Marienko M., Shyshkina M.	36
A MODEL OF THE USE OF CLOUD-ORIENTED OPEN SCIENCE SYSTEMS IN THE PROCESS OF EDUCATION AND PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF TEACHERS (RESEARCH ASPECT)	36
Matiash O., Ryndiuk V.....	43
TEACHING MATHEMATICS WITH THE USE OF DIGITAL LEARNING PLATFORMS: ANALYSIS OF FOREIGN EXPERIENCE.....	43
Podlasov S., Sverdlichenro D., Matviichuk O.	50
THE EXPERIMENTAL PHYSICS PROBLEMS AT THE TECHNICAL UNIVERSITY	50
Rufaida S., Syam H., Samad S.	57
PHYSICS LEARNING MODELS BASED ON SYNECTIC TO IMPROVE PROBLEM-SOLVING SKILLS: A NEED ANALYSIS.....	57
Soroko N., Tkachenko V.	63
MODELS OF PARTICIPANTS INTERACTION OF THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT USING THE TOOLS OF AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY IN AN INSTITUTION OF GENERAL EDUCATION	63
Yurkovych N., Mar'yan M., Opachko M., Seben V.	73
METHODS OF THE FRACTAL APPROACH IN SCIENCE EDUCATION: INNOVATIVE TECHNOLOGY AND CONCEPTS OF COMPUTER MODELING.....	73
Dieorditsa T., Tolmachov V.....	79
BOOK REVIEW: «INFINITE POWERS HOW CALCULUS REVEALS THE SECRETS OF THE UNIVERSE»	79

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 10.31110/2413-1571-2023-038-3-001

УДК 537.217

ПОХИБКА ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНУ КУЛОНА ДО ВЗАЄМОДІЇ ЗАРЯДЖЕНИХ СТРИЖНІВ

Юрій ІВАШИНА

Херсонський державний університет, Україна
ivashinauriy@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9569-2393>

Наталія ЄРМАКОВА-ЧЕРЧЕНКО ✉

Херсонський державний університет, Україна
nermakova@ksu.ks.ua
<https://orcid.org/0000-0001-9438-4866>

ERROR IN THE APPLICATION OF COULON'S LAW TO THE INTERACTION OF CHARGED RODS

Yuriy IVASHINA

Kherson State University, Ukraine
ivashinauriy@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9569-2393>

Nataliia YERMAKOVA-CHERCHENKO ✉

Kherson State University, Ukraine
nermakova@ksu.ks.ua
<https://orcid.org/0000-0001-9438-4866>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. Визначення сили взаємодії заряджених тіл має важливе практичне та методичне значення. В його основі лежить закон Кулона, але він визначає взаємодію між точковими зарядами. Ідеалізована умова виконання закону (розміри тіл набагато менші відстані між ними) не дозволяє використовувати його для розв'язання практичних задач. У випадку незначної відстані між зарядженими тілами використовується модель неперервно розподіленого заряду і силу взаємодії розраховують шляхом інтегрування по об'єму тіл сил взаємодії елементів тіл, що затрудняє практичне використання цієї моделі.

Матеріали і методи. Порівнювалися результати розрахунку сили взаємодії двох однорідно заряджених стрижнів за різними моделями. Істинна сила визначалася в моделі неперервно розподіленого заряду, кулонівська – моделі точкового. Розраховувалася абсолютна і відносна похибка застосування закону Кулона в залежності від відносної відстані a/L , де a – відстань між центрами зарядів, L – довжина стрижнів.

Результати. Наукова новизна роботи полягає у визначенні похибки застосування закону Кулона до розрахунку сили взаємодії між зарядженими стрижнями в залежності від відносної відстані між ними. Вона зменшується із ростом відносної відстані і залежить від взаємної орієнтації стрижнів. Найбільше значення похибки має при розташуванні стрижнів на одній осі.

Висновки. Розрахунки показали, що закон Кулона можна застосовувати до визначення сили взаємодії заряджених тіл навіть при невеликих значеннях відносної відстані між ними. Для різної взаємної орієнтації стрижнів відносна відстань, при якій похибка застосування закону Кулона стає меншою 0,5%, повинна бути більшою від 5 до 8 одиниць. Так як стрижні є яскравим представником видовжених тіл, для яких умова застосування моделі точкового заряду є несприятливою, то отримані результати можна застосовувати при визначенні взаємодії тіл довільної форми.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: сила взаємодії; закон Кулона; похибка; відносна відстань.

ABSTRACT

Formulation of the problem. Determining the force of interaction of charged bodies is of significant practical and methodical importance. It is based on Coulomb's law, but it defines the interaction between point charges. The idealized condition for the implementation of the law (the sizes of the bodies are much smaller distances between them) does not allow using it to solve practical problems. In the case of a small distance between charged bodies, the model of a continuously distributed charge is used, and the interaction force is calculated by integrating the interaction forces of the elements of the bodies over the volume of the bodies, which complicates the practical use of this model.

Materials and methods. The results of calculating the force of interaction between two uniformly charged rods according to different models were compared. The true force was determined in the continuously distributed charge model, the Coulomb force in the point model. The absolute and relative errors of the application of Coulomb's law were calculated depending on the relative distance a/L , where a is the distance between the centers of charges, L is the length of the rods.

Results. The scientific novelty of the work consists in determining the error of applying Coulomb's law to the calculation of the force of interaction between charged rods depending on the relative distance between them. It decreases with increasing relative distance and depends on the mutual orientation of the rods. The error has the greatest value when the rods are located on one axis.

Conclusions. Calculations showed that Coulomb's law can be applied to determine the force of interaction between charged bodies even at small values of the relative distance between them. For different mutual orientation of the rods, the relative distance at which the error of applying Coulomb's law becomes less than 0.5% should be greater than 5 to 8 units. Since rods are a vivid representative of elongated bodies, for which the condition of applying the point charge model is unfavorable, the obtained results can be used in determining the interaction of bodies of arbitrary shape.

KEYWORDS: force of interaction; Coulomb's law; error; relative distance.

ВСТУП

Постановка проблеми. Визначення сили взаємодії між зарядженими тілами має важливе практичне та методичне значення. З практичної точки зору силу взаємодії потрібно визначати при проектуванні та аналізі роботи різних електротехнічних пристроїв. З методичної точки зору важливим є вибір моделі заряджених тіл – точкового чи неперервно розподіленого заряду. В основі визначення цієї сили лежить експериментальний закон Кулона, але він визначає взаємодію між точковими зарядами. Умовою застосування закону Кулона є те, що відстань між тілами повинна бути набагато більшою ніж їх розміри (Кучерук & Горбачук, 1990; Сивухін, 2004). Така ідеалізована умова не дає можливості використання закону Кулона при розв'язуванні практичних задач.

Для цитування:

Івашина Ю., Єрмакова-Черченко Н. Похибка застосування закону кулона до взаємодії заряджених стрижнів. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 3. С. 7-11. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-3-001

Івашина, Ю., & Єрмакова-Черченко, Н. (2023). Похибка застосування закону кулона до взаємодії заряджених стрижнів. *Фізико-математична освіта*, 38(3), 7-11. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-001>

For citation:

Ivashina, Yu., & Yermakova-Cherchenko, N. (2023). Error in the application of Coulon's law to the interaction of charged rods. *Physical and Mathematical Education*, 38(3), 7-11. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-001>

Ivashina, Yu., & Yermakova-Cherchenko, N. (2023). Pokhybka zastosuvannya zakonu kulona do vzaemodii zaryadzhenykh stryzhniv [Error in the application of Coulon's law to the interaction of charged rods]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(3), 7-11. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-001>

У випадку визначення сили взаємодії між зарядженими тілами їх розбивають на елементи, які розглядають як точкові заряди, і розглядають силу взаємодії між елементами тіл. Сумарну силу визначають шляхом інтегрування по об'ємах тіл, але інтегрування векторної функції має суттєві математичні складнощі.

Розв'язання цієї проблеми можна значно спростити, якщо є можливість застосування закону Кулона. Чим ближча форма зарядженого тіла до сфери, поле якої сферично симетричне як і поле точкового заряду (Фейман та ін., 2016), тим більш точно до тіла можна застосовувати модель точкового заряду. Найбільше від сферичної симетрії відрізняється поле видовжених тіл, ідеальною моделлю яких є стрижні.

Аналіз актуальних досліджень. Незважаючи на те, що практичне застосування закону Кулона пов'язане з визначенням похибки його використання, нам не відомі роботи, в яких би вони розраховувалися.

Мета статті. З огляду на це метою статті є визначення похибки застосування закону Кулона до розрахунку сили взаємодії між зарядженими стрижнями в залежності від відстані між ними.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Експериментальний закон Кулона визначає силу взаємодії між двома нерухомими точковими зарядами. Сила дії заряду q_1 на q_2 (Кучерук, Горбачук, 1990):

$$\vec{F}_{12} = \frac{kq_1q_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}, \quad (1)$$

де $\vec{r}_{12}$ – радіус-вектор, направлений від заряду q_1 до q_2 .

У випадку взаємодії заряджених тіл сила взаємодії між елементами dV_1 та dV_2 , які розглядаються як точкові заряди $dq = \rho dV$, рівна

$$d\vec{F}_{12} = \frac{k\rho_1 dV_1 \rho_2 dV_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}, \quad (2)$$

де ρ – об'ємна густина заряду. Сила взаємодії між тілами визначається інтегруванням (2) по об'ємах тіл V_1 та V_2 (Федорченко, 1992).

$$\vec{F}_{12} = k \int_{V_1} \int_{V_2} \frac{\rho_1 dV_1 \rho_2 dV_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}. \quad (3)$$

Вираз (3) визначає істинну силу взаємодії між тілами. Наближений розрахунок на основі моделі точкового заряду виконується згідно (1).

У випадку взаємодії лінійних тіл сила взаємодії визначається через лінійну густину заряду τ інтегруванням по довжині тіл L .

$$\vec{F}_{12} = k \int_{L_1} \int_{L_2} \frac{\tau_1 dl_1 \tau_2 dl_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}. \quad (4)$$

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Порівнювалися результати розрахунку сили взаємодії двох однорідно заряджених стрижнів, що мають однакову довжину $L_1 = L_2$ та заряди q_1 та q_2 .

Істинна сила взаємодії F_i визначалася в моделі неперервно розподіленого заряду згідно (4). Силу F_k розраховували на основі моделі точкового заряду за законом Кулона. Точковий заряд поміщали в центрі стрижня. Так як можливість застосування моделі точкового заряду залежить від відстані a від центра стрижня до точки спостереження і розмірів тіла L , розглядалася відносна відстань a/L . Розраховували абсолютну похибку застосування закону Кулона – $\Delta F = F_i - F_k$ і відносна похибка $\varepsilon = \frac{\Delta F}{F_i}$ в залежності від відносної відстані між стрижнями. Розглядалися випадки різного симетричного розташування стрижнів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

А) Стрижень L_2 , розташований на осі симетрії стрижня L_1 перпендикулярно до нього. Відстань від першого стрижня до центра другого C_2 – a (рис. 1).

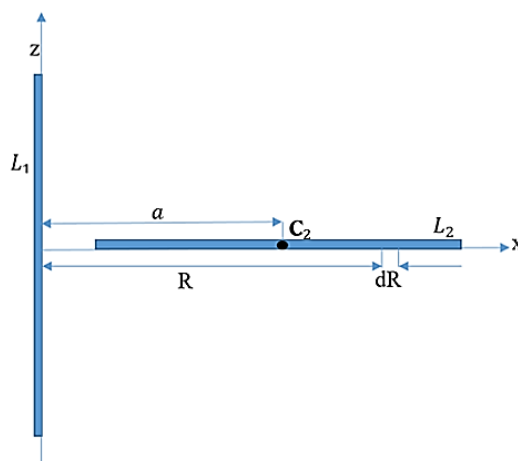


Рис. 1. Взаємно перпендикулярне розташування стрижнів

Другий стрижень знаходиться в полі першого. Напруженість поля стрижня L_1 в усіх точках осі R направлена вздовж цієї осі і рівна (Парсел, 1975)

$$E_{12} = \frac{kq_1}{R\sqrt{R^2 + \frac{L^2}{4}}} \quad (5)$$

Заряд елемента стрижня L_2

$$dq_2 = \frac{q_2}{L} dl_2 = \frac{q_2 dR}{L} \quad (6)$$

Сила, з якою поле стрижня 1 діє на елемент dl_2

$$dF_{12} = E_{12} dq_2 = \frac{kq_1 q_2 dR}{RL\sqrt{R^2 + \frac{L^2}{4}}} \quad (7)$$

Сили, що діють на всі елементи стрижня L_2 , направлені вздовж осі R, тому сумарна сила дії першого стрижня на другий також направлена по цій осі і рівна

$$F_{12} = F_R = \frac{kq_1 q_2}{L} \int_{a-\frac{L}{2}}^{a+\frac{L}{2}} \frac{dR}{R\sqrt{R^2 + \frac{L^2}{4}}} = \frac{2kq_1 q_2}{L^2} \ln \frac{\left(\frac{a+1}{2}\right)\left(\frac{1}{2} + \sqrt{\left(\frac{a-1}{2}\right)^2 + \frac{1}{4}}\right)}{\left(\frac{a-1}{2}\right)\left(\frac{1}{2} + \sqrt{\left(\frac{a+1}{2}\right)^2 + \frac{1}{4}}\right)} \quad (8)$$

У (8) перейшли до відносної відстані a/L . Цей вираз визначає істинну силу дії першого стрижня на другий F_i . При $\frac{a}{L} \rightarrow \infty$ сила взаємодії згідно (8) прямує до нуля, що підтверджує вірність розв'язку.

Сила взаємодії між стрижнями яка визначена на основі закону Кулона

$$F_k = \frac{kq_1 q_2}{a^2} = \frac{kq_1 q_2}{L^2 \left(\frac{a}{L}\right)^2} \quad (9)$$

Визначимо на основі (8) та (9) істинну та кулонівську силу взаємодії, абсолютну та відносну похибки застосування закону Кулона в залежності від відносної відстані між стрижнями a/L . Результати розрахунків наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Залежність істинної сили взаємодії між зарядженими F_i , кулонівської сили F_k , абсолютної та відносної похибок від відносної відстані a/L при перпендикулярному розташуванні стрижнів

$\frac{a}{L}$	2	3	4	5
$F_k, \frac{kq_1 q_2}{L^2}$	0,2500	0,1111	0,0625	0,0400
$F_i, \frac{kq_1 q_2}{L^2}$	0,2575	0,1126	0,0630	0,0402
$\Delta F, \frac{kq_1 q_2}{L^2}$	0,0075	0,0015	0,0005	0,0002
$\varepsilon, \%$	2,9	1,3	0,79	0,5

В) Стрижні розташовані по одній осі.

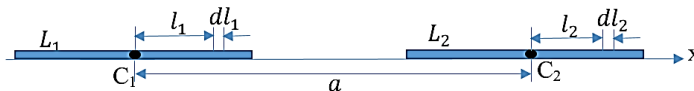


Рис. 2. Розташування стрижнів і їх елементів вздовж однієї осі

Напруженість поля, яке створюється стрижнем L_1 в точці, де знаходиться елемент dl_2

$$E_{12} = \frac{kq_1}{L} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{dl_1}{(a-l_1+l_2)^2} = \frac{kq_1}{L} \left(\frac{1}{(a-\frac{L}{2}+l_2)} - \frac{1}{(a+\frac{L}{2}+l_2)} \right) \quad (10)$$

Сила дії першого стрижня на елемент другого dl_2

$$dF_{12} = E_{12} \frac{q_2 dl_2}{L} \quad (11)$$

Всі елементарні сили dF_{12} направлені вздовж осі x. Сумарна сила

$$F_{12} = F_i = \frac{kq_1 q_2}{L^2} \left(\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{dl_2}{a-\frac{L}{2}+l_2} - \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{dl_2}{a+\frac{L}{2}+l_2} \right) = \frac{kq_1 q_2}{L^2} \ln \frac{1}{1-\left(\frac{L}{a}\right)^2} \quad (12)$$

при $a \rightarrow \infty$ $F_{12} \rightarrow 0$, що підтверджує вірність розв'язку.

Сила взаємодії, яка розрахована на основі закону Кулона, визначається виразом (9).

Таблиця 2

Залежність істинної сили F_i , сили, визначеної за законом Кулона F_k , абсолютної ΔF і відносної ε похибок від відносної відстані a/L при розташуванні стрижнів по одній осі

$\frac{a}{L}$	3	4	6	8	9
$F_k, \frac{kq_1 q_2}{L^2}$	0,1111	0,0625	0,0278	0,0156	0,01234
$F_i, \frac{kq_1 q_2}{L^2}$	0,1178	0,0645	0,0282	0,0157	0,01238
$\Delta F, \frac{kq_1 q_2}{L^2}$	0,0067	0,0020	0,0004	0,0001	0,00004
$\varepsilon, \%$	5,68	3,1	1,42	0,64	0,32

С) Стрижні розташовані паралельно.

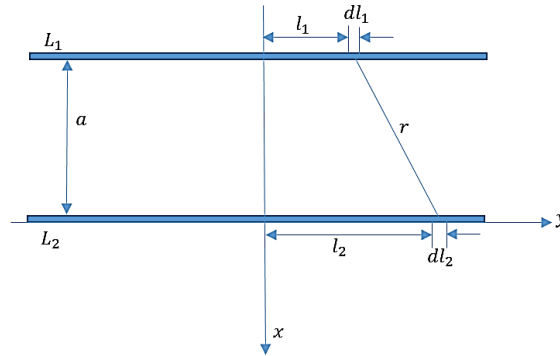


Рис. 3. Паралельне розташування стрижнів та їх елементів

В силу симетрії складові сил, з якими стрижень L_1 діє на елементи dl_2 , в напрямку осі y компенсуються, а в напрямку осі x додаються. Проекція сили dF_{12x} , що діє на елемент dl_2

$$dF_{12x} = \frac{kq_1 dl_2}{L} E_{12x}, \quad (13)$$

де E_{12x} – проекція на вісь x напруженості поля L_1 в точці, де знаходиться елемент dl_2

$$dF_{12x} = \frac{kq_1 q_2 a dl_2}{L^2} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{dl_1}{[a^2 + (l_2 - l_1)^2]^{\frac{3}{2}}} = \frac{kq_1 q_2 dl_2}{L^2 a} \left(\frac{l_2 + \frac{L}{2}}{\sqrt{a^2 + (l_2 + \frac{L}{2})^2}} - \frac{l_2 - \frac{L}{2}}{\sqrt{a^2 + (l_2 - \frac{L}{2})^2}} \right) \quad (14)$$

Істинну силу дії першого стрижня на другий знайдемо, проінтегрувавши (14) по стрижню L_2

$$F_{12x} = F_i = 2 \frac{kq_1 q_2}{L^2 a} \left(\sqrt{\left(\frac{a}{L}\right)^2 + 1} - \frac{a}{L} \right). \quad (15)$$

Результати розрахунку істинної сили F_i згідно (15), кулонівської сили згідно (9), абсолютної та відносної похибок приведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Залежність істинної сили F_i , сили, визначеної за законом Кулона F_k , абсолютної ΔF і відносної ε похибок від відносної відстані a/L при розташуванні стрижнів по одній осі

$\frac{a}{L}$	3	4	5	6	7
$F_k, \frac{kq_1 q_2}{L^2}$	0,1111	0,0625	0,0400	0,0276	0,0203
$F_i, \frac{kq_1 q_2}{L^2}$	0,1082	0,0616	0,0396	0,0278	0,0204
$\Delta F, \frac{kq_1 q_2}{L^2}$	0,0029	0,0009	0,0004	0,0002	0,0001
$\varepsilon, \%$	2,68	1,46	1,01	0,72	0,49

ОБГОВОРЕННЯ

Отримані результати розрахунку сили взаємодії між однорідно зарядженими стрижнями свідчать, що похибка застосування закону Кулона зменшується зі збільшенням відносної відстані між ними. Так як розглянуто розташування стрижнів в напрямках їх осей симетрії, то в інших напрямках похибка буде мати проміжні значення. Найбільша похибка виникає при розміщенні стрижнів по одній осі. Це обумовлено тим, що в цьому випадку відстані між елементами двох стрижнів найбільше відрізняються від відстані між центрами їх зарядів.

Застосування закону Кулона пов'язане із можливістю застосування до взаємодіючих тіл моделі точкового заряду, яка залежить від відстані між тілами та їх форми. Із збільшенням відмінності від сферичної форми збільшується похибка застосування моделі точкового заряду при фіксованій відстані між тілами. Яскравою моделлю видовженого тіла є заряджений стрижень, тому умови застосування закону Кулона до взаємодії стрижнів є найбільш жорсткими, порівняно з тілами іншої форми, і їх можна використати до визначення сили взаємодії між тілами довільної форми.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Розрахунок сили взаємодії між зарядженими тілами має важливе практичне та методичне значення. В його основі лежить закон Кулона, який визначає силу взаємодії між точковими зарядами. Умова використання цього закону (відстань між тілами значно перевищує їх розміри) не дозволяє застосовувати його при розв'язуванні практичних задач. Похибка застосування закону Кулона при визначенні взаємодії тіл на відстанях, співрозмірних з їх розмірами, і її залежність від відстані в науковій літературі не описана.

Розглянута взаємодія двох однорідно заряджених стрижнів при їх розміщенні в напрямках осей симетрії. Порівнювалася сила взаємодії, визначена за законом Кулона, та істинна сила, яка розрахована на основі моделі неперервно розподіленого заряду шляхом інтегрування по довжині стрижнів. Визначені абсолютна та відносна похибки застосування закону Кулона в залежності від відстані. Так як можливість застосування моделі точкового заряду залежить як від відстані між тілами a , так і від розмірів тіла L , розглядалася відносна відстань a/L .

Наукова новизна роботи полягає у визначенні похибки застосування закону Кулона до розрахунку сили взаємодії між зарядженими стрижнями в залежності від відносної відстані між ними.

Розрахунки взаємодії стрижнів показали, що похибка застосування закону Кулона зменшується при збільшенні відносної відстані між тілами і залежить від взаємної орієнтації стрижнів. Найменша відносна відстань $a/L \geq 5$, при якій похибка не перевищує 0,5%, спостерігається при перпендикулярному розташуванні стрижнів, при розташуванні стрижнів по одній осі ця умова виконується при $a/L \geq 8$.

Отримані результати свідчать, що закон Кулона можна застосовувати до визначення сили взаємодії заряджених тіл навіть при невеликих значеннях відносної відстані між ними, так як стрижні є яскравим представником видовжених тіл, до яких умови застосування моделі точкового заряду найбільш несприятливі.

В подальшому ми плануємо дослідити похибку використання закону Кулона до взаємодії симетричних плоских та об'ємних тіл.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кучерук, І.М., & Горбачук, І.Т. (1990). *Загальна фізика. Електрика і магнетизм*. Вища школа.
2. Парселл, Э. (1975). *Электричество и магнетизм*. Наука.
3. Фейнман, Р., Лейтон, Р., & Сэндс М. (2016). *Фейнмановские лекции по физике* (Том 5). Либроком, Едиториал УРСС.
4. Сивухин, Д.В. (2004) *Общий курс физики. Электричество* (Том III). ФИЗМАТЛИТ; МФТИ.
5. Федорченко, А.М. (1992). *Теоретична фізика. Класична механіка і електродинаміка* (Том 1). Вища школа.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Kucheruk, I.M., & Horbachuk, I.T. (1990). *General Physics. Electricity and magnetism*. High school (in Russian).
2. Parsell, E. (1975). *Electricity and magnetism*. Science (in Russian).
3. Richard Feynman, Robert Leighton, Matthew Sands (2016). *Feynman Lectures in Physics. Volume 5. Classical electrodynamics*. Librokom, Editorial URSS (in Russian).
4. Syvukhyn, D.V. (2004) *General course of physics. Electricity (Volume III)*. FIZMATLIT; MFTI (in Russian).
5. Fedorchenko, A.M. (1992). *Theoretical physics. Classical mechanics and electrodynamics (Volume 1)*. High school (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 10.31110/2413-1571-2023-038-3-002

УДК 378.046.4:004

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОФЕСІЙНОЇ САМООСВІТИ ВЧИТЕЛІВ НАУКОВИХ ЛІЦЕЇВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРО ОРІЄНТОВАНИХ СЕРВІСІВ ВІДКРИТОЇ НАУКИ

Валентина КОВАЛЕНКО ✉

Інститут цифровізації освіти НАПН України, Україна
 vako88@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-4681-5606>

IMPLEMENTATION OF PROFESSIONAL SELF-EDUCATION OF TEACHERS OF SCIENTIFIC LYCEUMS USING CLOUD-ORIENTED SERVICES OF OPEN SCIENCE

Valentyna KOVALENKO ✉

Institute of digitalization of education of NAES of Ukraine, Ukraine
 vako88@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-4681-5606>

АНОТАЦІЯ

У статті досліджено особливості реалізації професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв із використанням хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки. Проаналізовано наукові публікації з різними методиками застосування хмарних сервісів у підготовці та підвищенні кваліфікації фахівців, зокрема вчителів. Визначено ключові етапи реалізації професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв. Описано шляхи використання хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки для самоосвіти вчителів, а саме: зберігання та обмін матеріалами; персоналізація навчання; онлайн курси та навчальні платформи; співпраця та обмін досвідом; веб-інструменти для створення навчальних ресурсів; оцінювання та зворотний зв'язок.

Формулювання проблеми. Для даного дослідження важливим є аналіз особливостей реалізації професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв із використанням хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки.

Матеріали і методи. Використано комплекс методів, а саме: аналіз, систематизація, узагальнення наукових джерел, аналіз наукових публікацій вітчизняних і закордонних вчених, метод сходження від абстрактного до конкретного, бесіди з вчителями наукових ліцеїв, узагальнення власного досвіду та ін.

Результати. У дослідженні проаналізовано особливості реалізації професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв із використанням хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки. Визначено ключові етапи реалізації професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв. Описані шляхи використання хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки для самоосвіти вчителів, а саме: зберігання та обмін матеріалами; персоналізація навчання; онлайн курси та навчальні платформи; співпраця та обмін досвідом; веб-інструменти для створення навчальних ресурсів; оцінювання та зворотний зв'язок. Сформовано рекомендації для вчителів наукових ліцеїв щодо шляхів використання хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки.

Висновки. Використання хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки для самоосвіти вчителів дозволяє покращити процес навчання зробити його більш ефективним, цікавим та доступним. Водночас таке професійне зростання вчителя безпосередньо впливає на підвищення якості навчання його учнів. Основними перевагами використання хмаро орієнтованих сервісів в професійній самоосвіті вчителів є: 1) великий вибір ресурсів; 2) гнучкість та доступність; 3) постійне оновлення інформації/даних; 4) взаємодія та співпраця.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: професійний розвиток; самоосвіта; професійна самоосвіта; відкрита наука; хмаро орієнтовані сервіси; вчителі наукових ліцеїв.

ABSTRACT

The article examines the peculiarities of the implementation of professional self-education of teachers of scientific lyceums using cloud-oriented services of open science. Scientific publications with various methods of using cloud services in training and improving the qualifications of specialists, particularly teachers, were analyzed. The key stages of the implementation of professional self-education of teachers of scientific lyceums have been determined. The ways of using cloud-oriented services of open science for self-education of teachers are described, namely: storage and exchange of materials; personalization of training; online courses and educational platforms; cooperation and exchange of experience; web tools for creating educational resources; evaluation and feedback.

Formulation of the problem. For this study, it is important to analyze the features of the implementation of professional self-education of teachers of scientific lyceums using cloud-oriented services of open science.

Materials and methods. A complex of methods was used, namely: analysis, systematization, generalization of scientific sources, analysis of scientific publications of domestic and foreign scientists, the method of going from the abstract to the concrete, conversations with teachers of scientific lyceums, generalization of own experience, etc.

The results. The study analyzed the peculiarities of the implementation of professional self-education of teachers of scientific lyceums using cloud-oriented services of open science. The key stages of the implementation of professional self-education of teachers of scientific lyceums have been determined. The ways of using cloud-oriented services of open science for self-education of teachers are described, namely: storage and exchange of materials; personalization of training; online courses and educational platforms; cooperation and exchange of experience; web tools for creating educational resources; evaluation and feedback. Recommendations for teachers of scientific lyceums on ways to use cloud-oriented services of open science have been formed.

Conclusions. The use of cloud-oriented services of open science for self-education of teachers allows to improve the learning process and make it more effective, interesting and accessible. At the same time, such a teacher's professional growth directly affects the quality of his students' education. The main advantages of using cloud-based services in the professional self-education of teachers are: 1) a large selection of resources; 2) flexibility and availability; 3) constant updating of information/data; 4) interaction and cooperation.

KEYWORDS: professional development; self-education; professional self-education; open science; cloud-oriented services; teachers of scientific lyceums.

Для цитування:

Коваленко В. Реалізація професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв із використанням хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 3. С. 12-19. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-3-002

Коваленко, В. (2023). Реалізація професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв із використанням хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки. *Фізико-математична освіта*, 38(3), 12-19. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-002>

For citation:

Kovalenko, V. (2023). Implementation of professional self-education of teachers of scientific lyceums using cloud-oriented services of open science. *Physical and Mathematical Education*, 38(3), 12-19. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-002>

Kovalenko, V. (2023). Realizatsiia profesiinoi samoosvity vchyteliv naukovykh litseiv iz vykorystanniam khmaro oriientovanykh servisiv vidkrytoï nauky [Implementation of professional self-education of teachers of scientific lyceums using cloud-oriented services of open science]. *Fiziko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(3), 12-19. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-002>

✉ Corresponding author

© V. Kovalenko, 2023

ВСТУП

Постановка проблеми. В ситуації, в якій опинилася наша країна з початку 2022 року, підкреслилися значимість найбільшої цінності – нашого населення, а саме людського капіталу, як основного ресурсу країни. У (Важливість розвитку людського капіталу у сучасному світі, 2021) визначено, що людський капітал держави – це сукупність знань та досвіду людей, їх економічна цінність. Ефективний розвиток людського капіталу – це своєрідна гра на випередження, за якої людина набуває знання і навички, які не просто відповідають сучасним потребам суспільства та економіки, але й випереджають їх. За окреслених умов можливий як інтелектуальний чи технічний прогрес у суспільстві, так і збереження конкурентоздатності країни у світі (Важливість розвитку людського капіталу у сучасному світі, 2021).

Людський капітал формується головним чином у результаті певних інвестицій у людину (в людей) і крім інвестиційних витрат потребує доброї волі та чималих зусиль самого «об'єкта інвестування». Серед видів інвестицій можна виділити навчання, підвищення кваліфікації, зміцнення здоров'я та медичне обслуговування, міграцію та пошуки інформації тощо. Людський капітал у вигляді знань, навичок та здібностей, як і фізичний, є певним запасом, тобто може накопичуватися (Васильченко та ін., 2005).

За складних умов, які стали реальністю для України з початку 2022 року, країна зазнала серйозних втрат у сфері людського капіталу внаслідок військової агресії росії. Фізичні, демографічні та міграційні втрати стали невід'ємною частиною цього процесу, і продовжується відтік людей з України, зокрема жінок та дітей. Умови війни і інфляції викликали масову міграцію вчителів за кордон або у різні регіони країни, що ускладнило проведення онлайн навчання, а подекуди і привело до їх звільнення. Це ще більше загострило проблему з залученням нових вчителів до освітнього процесу та із великою навантаженістю деяких вчителів.

Світова глобалізація, прискореної цифрової трансформації багатьох сфер діяльності людини спричинила потребу у створенні конкурентоспроможної освітньої сфери України, формування сучасних компетентностей і кваліфікацій людини, підвищення рівня доступності та якості освіти. Ключовим чинником підготовки осіб, які здатні адаптуватися до динамічних суспільно-економічних змін, критично мислити, ефективно вирішувати фахові задачі із залученням сучасних технологічних цифрових рішень, займатися саморозвитком, бути успішними в обраній професії тощо є кооперація зусиль вмотивованого, кваліфікованого викладацького складу – педагогічних, науково-педагогічних, наукових (Мар'єнко & Шишкіна, 2021).

У публікації (Шишкіна & Носенко, 2022), мова йде про те, що інтелектуальний потенціал особистості, громадянина є ключовою умовою досягнення суспільством високого рівня розвитку в соціально-економічному та технологічному сенсі. Відповідно формування інтелекту нації відбувається у закладах освіти, університетському та дослідницькому сектору. Широке використання цифрових технологій сприяло цифровій трансформації освіти та науки, що пришвидшило розбудову суспільства 4.0.

Вчені в галузі освіти проводять ряд різних наукових досліджень та педагогічних експериментів з метою застосування цифрових технологій та засобів для організації і цифрового супроводу освітнього процесу. Так, у роботі (Шишкіна&Носенко, 2022) вказано, що цифрова трансформації освіти та науки спрямована на створення єдиної освітньо-наукової екосистеми, спрямованої на неперервний розвиток освітніх кадрів та тих, хто навчається, опанування та постійне вдосконалення цифрових компетентностей, забезпечення доступності якісного цифрового контенту. Ключовою умовою для підвищення якості підготовки і підвищення кваліфікації вчителів наукових ліцеїв щодо використання інноваційних технологій, збільшення частки науково-дослідницького підходу у навчанні, є обов'язкове наскрізне навчання використання цифрових технологій в освіті, зокрема: хмарних технологій, технологій відкритої науки, засобів віртуальної і доповненої реальності тощо.

Також, важливість даного дослідження підсилюється прийнятим восени 2022 р. Національним планом щодо відкритої науки (Розпорядження КМУ від 08.10.2022 р. № 892-р) у завданні №6, якого зазначено «Підвищення рівня поінформованості та формування компетентності з питань відкритої науки (розроблення програми підвищення кваліфікації та запровадження тренінгів з метою підвищення рівня компетенції щодо принципів відкритої науки, проведення експертизи дистанційних курсів з підвищення кваліфікації).

Аналіз актуальних досліджень. Наукові розвідки щодо освіти дорослих та підвищення кваліфікації фахівців були предметом досліджень таких вчених (Бикова В.Ю., Олійника В.В., Лещенко М.П. та ін.); застосування цифрових технологій в освіті розглянуто у публікаціях (Глазунової О.Г., Морзе Н.В., Овчарук О.В., Семерікова С.О., Семеніхіної О., Спіріна О.М., Яцишин А.В. та ін.); впровадження хмарних технологій в організацію освітніх і наукових систем (Биков В.Ю., Вакалюк Т.А., Литвинова С.Г., Мар'єнко М.В., Шишкіна М.П. та ін.); особливості впровадження принципів відкритої науки розглянуто у публікаціях (Вакалюк Т.А., Литвинова С.Г., Носенко Ю.Г., Мар'єнко М.В., Сухих А.С., Шишкіної М.П. та ін.).

Проаналізуємо детальніше наукові публікації, щодо різних аспектів підвищення кваліфікації вчителів, самоосвіти вчителів наукових ліцеїв, зокрема із застосуванням хмарних технологій і сервісів.

Толочко С.В. (2019) наголошує на багатоаспектності проблем, що виникають на межі різних галузей знань у період реформування та цифровізації вітчизняної освіти. «Наразі педагогічним і науково-педагогічним працівникам доводиться вчитися долати попереднє вузькоспеціальне спрямування власного професійного знання та переходити на рівень інтегративності (здатності сприймати, організовувати, узгоджувати й з'єднувати окремі фрагменти реальності) і трансдисциплінарності (принцип організації наукового знання, яке відкриває всебічні можливості взаємодії декількох дисциплін під час вирішення комплексу проблем суспільства)» (Толочко, 2019).

Кашина Г.С. (2020) зазначає, що цифрова трансформація освітньої галузі в цілому та системи післядипломної педагогічної освіти зокрема, опираючись на передовий досвід усіх, хто задіяний в освітньому процесі – керівників закладів освіти, адміністраторів, педагогічних та науково-педагогічних кадрів, орієнтована на забезпечення ефективності управління змінами гнучкого задоволення потреб якості освітнього процесу. Авторкою окреслено поняття «особистісно-професійний розвиток педагогів природничо-гуманітарних дисциплін у післядипломній освіті», яке визначається «як процес неперервного свідомого особистісно-професійного розвитку педагогів природничо-гуманітарних дисциплін у

післядипломній освіті, який відбувається у визначених організаційно-педагогічних умовах для вдосконалення професійних знань, умінь, навичок і особистісних якостей до високого рівня професійної компетентності, здійснення науково-дослідної діяльності, продукування наукового знання та подальшої професійної самореалізації» (Кашина, 2020).

Наразі багато країн перебувають на етапі запровадження принципів відкритої науки. Це ґрунтовний, глибокий процес, що торкається багатьох сфер життєдіяльності суспільства (політичних інститутів, університетського сектору, видавничих центрів, науково-дослідних інституцій та ін.) та потребує значних часових, інтелектуальних, організаційних інвестицій. На шляху до запровадження відкритої науки існує низка перешкод. Визначення цих перешкод має важливе значення для розроблення відповідної політики, рекомендацій, спрямованих на їхнє усунення та на посилення рушійних чинників (Шишкіна та ін., 2022).

У дослідженні (Мар'єнко, 2021) йдеться про важливість вивчення існуючих «методик використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки, оскільки методики навчання та методики використання мають суттєві відмінності. За своєю структурою методика використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів буде мати схожу, класичну структуру, подібну до наявних методик використання того чи іншого сервісу чи програмного продукту. Хмаро орієнтовані системи відкритої науки майже не використовуються в закладах вищої освіти та на курсах підвищення кваліфікації вчителів. Методика застосування хмаро орієнтованих систем відкритої науки у підвищенні кваліфікації вчителів має включати такі засоби навчання, щоб охопити різні потреби вчителів залежно від форми та предметів викладання» (Мар'єнко, 2021).

Литвинова С.Г. (2016) розробила методичну систему проектування хмаро орієнтованого навчального середовища закладу загальної середньої освіти, описала методики проектування хмаро орієнтованого навчального середовища закладу загальної середньої освіти. При цьому розглянула проектування на рівні керівника, проектування на рівні адміністратора навчального середовища, проектування на рівні вчителя-предметника, проектування на рівні учня (Литвинова, 2016).

Волошина Т.В. розробила методику використання гібридного хмаро орієнтованого навчального середовища для формування самоосвітньої компетентності майбутніх фахівців з інформаційних технологій (Волошина, 2018).

У колективному дослідженні (Шишкіна та ін., 2022) наголошено, що «... навчання саме по собі не може гарантувати формування компетентностей відкритої науки. Набуття навичок та навчання, навіть якщо вони стандартизовані та акредитовані, будуть менш ефективними, якщо вони не лежать в основі та не є частиною узгодженої та скоординованої програми курсів підвищення кваліфікації вчителів, що підтримуються керівництвом та ресурсами» (Шишкіна та ін., 2022).

У публікації (Коваленко, 2021) розглянуто особливості застосування хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки для професійного розвитку вчителів. Розроблено рекомендації щодо напрямів застосування хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки вчителями.

У дослідженні (Шишкіна та ін., 2022) наголошено, що для сучасного працівника галузі освіти набуття та розвиток компетентностей з відкритої науки є важливим, адже дозволить вчителям та їх учням, викладачам та студентам (чи слухачам) уникнути плагіату, маніпулювання даними та фальсифікації даних. Компетентності відкритої науки мають стати частиною освіти в наукових ліцях з самого раннього етапу; ці навички потрібно формувати ще в учнів, оскільки науковці формуються з талановитих учнів.

Закордонні (Open Science, 2015) та вітчизняні вчені (Шишкіна та ін., 2022; Носенко & Шишкіна, 2021) описуючи «відкриту науку» зазначають, що це підхід до організації досліджень, які є спільними, прозорими та доступними. Відкрита наука охоплює широкий спектр діяльності, включаючи публікацію у відкритому доступі, відкриті дані досліджень, відкриті препринти, відкриті експертну оцінку результатів та відкрити освіту. Також дотичним в даному контексті є таке поняття як наука для громадян, де кожен громадянин держави має безпосереднє відношення до участі у дослідженнях. Рушійною силою відкритої науки є підвищення прозорості процесу досліджень та обґрунтованості результатів, а також суспільне право власності на наукові розробки, особливо на ті, що фінансуються державою. Основними складовими відкритої науки є: відкриті дослідницькі дані, відкритий доступ до наукових публікацій та відкрита співпраця. Це надає можливості отримувати надсучасні знання за будь-якою тематикою (Шишкіна та ін., 2022).

Впровадження Концепції відкритої науки зумовлює кардинальні зміни в підходах наукової комунікації, спрямована на забезпечення вільного доступу до результатів наукових досліджень та освітніх ресурсів для всіх членів суспільства, а її розвиток вплинув на цілий ряд цифрових проєктів (відкриті архіви, репозиторії та бібліотеки, спеціалізовані, бази даних і наукометричні сервіси тощо) (Носенко&Шишкіна, 2021).

Обґрунтування сутності відкритої науки є складним завданням, проте одним з ключових аспектів є соціологічний. Соціологічна перспектива підкреслює, що наукове знання є результатом соціальної співпраці, а право на нього належить громаді. З економічної точки зору, наукові результати, які отримані завдяки державним дослідженням, є суспільним благом, доступ до якого має бути безкоштовним для кожного. Отже, відкритий доступ до публікацій, даних досліджень, програмного забезпечення з відкритим кодом, відкритої співпраці, відкритої експертної оцінки, відкритих електронних освітніх ресурсів, відкритих монографій та інших аспектів відкритої науки відображає її основні принципи та цінності (Мар'єнко та ін., 2020).

Підтримуємо думку висловлену у публікації (Мар'єнко, 2021), про те, що завдяки використанню інструментів хмаро орієнтованих систем відкритої науки значно покращується процес дистанційного навчання (учнів, студентів). Незважаючи на широке використання освітянами хмаро-орієнтованих систем, існують певні проблеми, пов'язані з організацією навчання та професійного розвитку вчителів. Одним з основних викликів є відсутність методик ефективного використання безкоштовних хмарних сервісів в науковій та навчальній діяльності (хмарні сервіси та хмаро-орієнтовані системи відкритої науки), які не є прив'язаними до певної локалізації. Існує припущення, що використання хмаро-орієнтованих систем відкритої науки сприятиме підвищенню науковості навчального процесу, а також вирішенню окремих проблем, пов'язаних з академічною доброчесністю серед вчителів та учнів (Мар'єнко, 2021).

У контексті цифрової трансформації, розвиток освітньо-наукової системи України спрямований на узгодження з європейськими та світовими науковими ініціативами. У державному документі (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 січня 2018 р. № 67-р., 2018) визначено основні напрями цифровізації, які включають: 1) створення освітніх ресурсів та цифрових платформ з інтерактивним та мультимедійним змістом для широкого доступу навчальних закладів та учнів/студентів. Особлива увага приділяється автоматизації ключових процесів в роботі освітніх закладів; 2) розроблення та впровадження інноваційних комп'ютерних, мультимедійних та комп'ютерно-орієнтованих засобів навчання та обладнання для створення цифрового навчального середовища. Це включає мультимедійні класи, науково-дослідні STEM-центри, лабораторії та класи змішаного навчання; 3) забезпечення широкосмугового доступу до Інтернету для учнів/студентів у навчальних класах та аудиторіях на всіх рівнях освіти; 4) розвиток дистанційної форми навчання, використовуючи когнітивні та мультимедійні технології. Всі описані напрями спрямовані на покращення якості освіти, розширення доступу до знань та створення сприятливих умов для інноваційного навчання.

Шишкіна М.П. (2021), наголошує, що «хмарні сервіси, хмарні платформи постають провідними інструментами підтримання процесів відкритих наукових досліджень, навчання та комунікації з урахуванням пріоритетів відкритої науки». Хмарні платформи найбільш підходять для інтеграції та агрегації різноманітних сервісів у відкритій науці. Якщо необхідно поєднати значну кількість сервісів, хмарні платформи є найбільш ефективним рішенням. У сфері освіти та науки існує потреба у інтеграції різноманітних цифрових інструментів і сервісів, таких як наукові та освітні мережі, інформаційні інфраструктури, корпоративні мережеві інструменти, сервіси опрацювання даних, засоби наукового співробітництва, комунікації, мовні технології, інтелектуальні освітні агенти, бази даних та знань і таке інше. І хмарні платформи надають зручну та ефективну інфраструктуру для їх інтеграції у освітньо-науковому середовищі.

У попередній публікації, авторки даної статті (Коваленко, 2021) вже було описано кілька рекомендацій щодо використання хмаро-орієнтованих сервісів відкритої науки вчителям. Основні напрями використання таких сервісів включає:

- самоосвіта та саморозвиток вчителів;
- розробка нових навчальних матеріалів та дослідницьких завдань для учнів;
- підтримка обдарованих дітей шляхом підготовки додаткових навчальних та дослідницьких завдань;
- перевірка на плагіат учнівських дослідницьких проєктів;
- використання сервісів для демонстрації та візуалізації різних природних та експериментальних процесів під час навчального процесу.

Впровадження хмарних платформ і сервісів в освітній процес призводить до появи і розвитку нових форм організації навчання та наукових досліджень, спрямованих на колективну навчальну діяльність. Це відкриває більше можливостей для здійснення навчальних та наукових проєктів. Методи та підходи відкритої науки мають значний вплив на освітній процес, зокрема, на підвищення кваліфікації та самоосвіту вчителів (Мар'єнко&Шишкіна, 2021).

Погоджуємося з думкою висловленою у публікації (Шишкіна, 2021), про те, що впровадження інноваційних форм і методів відкритої науки у підвищення кваліфікації та навчання майбутніх вчителів сприятиме розвитку їх цифрової компетентності, зокрема, навичок здійснення наукових досліджень у співробітництві, застосуванню хмаро орієнтованих засобів і сервісів подання і опрацювання даних, розширенню частки дослідницького підходу у навчанні, поширенню кращих практик відкритої науки у вітчизняному освітньо-науковому просторі.

Водночас цифрові технології постійно змінюються і удосконалюються, з'являються нові цифрові сервіси, тому дослідження щодо використання хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки для реалізації професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв є актуальним і своєчасним.

Мета дослідження: описати особливості реалізації професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв та надати рекомендації щодо шляхів використання хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У статті наведені результати дослідження, одержані в ході виконання проєкту «Хмаро орієнтовані системи відкритої науки у навчанні і професійному розвитку вчителів» (реєстраційний номер 2020.02/0310) переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених», що реалізується за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України. Також, для досягнення мети дослідження було використано комплекс методів, а саме: аналіз, систематизація, узагальнення наукових джерел, аналіз наукових публікацій вітчизняних і закордонних вчених, метод сходження від абстрактного до конкретного, бесіди з вчителів наукових ліцеїв, узагальнення власного досвіду та ін.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В результаті аналізу наукової літератури було визначено ключові етапи реалізації професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв, що подані на рис. 1 та описані нижче.

1-й етап. «Аналіз потреб». Даний етап є початковим етапом щодо проведення аналізу потреб вчителів наукових ліцеїв щодо певних аспектів професійного розвитку. Може бути реалізованим шляхом опитування, співбесіди або фокус-груп, щоб з'ясувати, які навички або знання є найбільш важливими для педагогічного персоналу наукового ліцею.

2-й етап. «Планування програми». Полягає в тому, що на основі попереднього аналізу потреб можна розробити план програми професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв. Цей план повинен визначати цілі, зміст і методи навчання, а також орієнтуватися на реальні потреби вчителів та специфіку освітнього процесу в наукових ліцеях.



Рис. 1. Етапи реалізації професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв

3-й етап. «Розробка ресурсів». Після складання плану програми потрібно розробити/підібрати необхідні ресурси для навчання. Це можуть бути підручники, онлайн-курси, навчальні матеріали, вебінари або інші навчальні засоби, які вчителі можуть використовувати для самоосвіти.

4-й етап. «Проведення навчання». На цьому етапі вчителі залучаються до освітнього процесу. Це може включати самостійне вивчення матеріалів, участь у вебінарах, онлайн-курсах або інших формах навчання. Вчителі можуть також брати участь у роботі в групах, де вони можуть обмінюватися досвідом та взаємодіяти з колегами.

5-й етап. «Оцінка та зворотній зв'язок». На цьому етапі, після завершення навчання вчителі повинні мати можливість оцінити свої досягнення і отримати зворотній зв'язок. Це може включати оцінку від учасників навчальної програми, анкетування, рефлексію або портфоліо вчителя. Зворотній зв'язок допоможе визначити ефективність програми та виявити можливість подальшого удосконалення.

6-й етап. «Практична реалізація». Вчителі повинні мати можливість застосувати отримані знання та навички на практиці. Це може включати впровадження нових методик навчання, використання інноваційних технологій, участь у професійних спілках та об'єднаннях, а також співпрацю з колегами для обміну досвідом.

7-й етап. «Супровід і підтримка». Важливим аспектом реалізації професійної самоосвіти є надання супроводу та підтримки вчителям. Це може включати проведення менторингу, коучингу, організацію семінарів або консультацій з досвідченими фахівцями.

8-й етап. «Оцінка результатів». Останнім етапом є оцінка результатів професійної самоосвіти. Це може включати аналіз досягнень вчителів, зміни в їхній практиці, підвищення якості навчання та загальний вплив програми на освітній процес у наукових ліцеях.

Варто зазначити, що реалізація професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв може бути індивідуальною або колективною, залежно від потреб та умов, в яких працюють вчителі. Послідовність етапів може варіюватись залежно від конкретної програми та її наповнення.

На підставі проведеного дослідження та ґрунтуючись на наукових публікаціях (Мар'єнко&Шишкіна, 2021; Коваленко, 2021) також було підготовлено рекомендації для вчителів наукових ліцеїв щодо шляхів використання хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки.

По-перше. Застосування хмаро орієнтованих сервісів в самоосвіті вчителів наукових ліцеїв є важливим для покращення якості освіти і розвитку професійних компетентностей вчителів.

По-друге. До основних особливостей використання хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки для самоосвіти вчителів належать (рис.2):



Рис. 2. Шляхи використання хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки для самоосвіти вчителів

– *зберігання та обмін матеріалами* (ці сервіси надають можливість вчителям зберігати свої матеріали, презентації, завдання та інші ресурси у хмарі, що сприяє зручній організації власних матеріалів, можливо легко знаходити їх та ділитися ними з колегами і учнями);

– *персоналізація навчання* (завдяки хмарним сервісам, вчителі можуть створювати індивідуальні навчальні програми та ресурси для кожного учня, враховуючи особливості та індивідуальні потреби учнів);

– *онлайн курси та навчальні платформи* (хмарні сервіси надають доступ до широкого спектру онлайн курсів та навчальних платформ. Вчителі можуть скористатися цими ресурсами для самоосвіти, вивчення нових методик,

підвищення своїх цифрових компетентностей. Також, доступ до різних вебінарів, тренінгів, майстер-класів сприятиме отриманню нових навичок і опануванню нових знань);

– *співпраця та обмін досвідом* (хмарні сервіси створюють сприятливе середовище для співпраці та обміну досвідом між вчителями. Розширюються можливості створення спільних ресурсів, колективного редагування матеріалів, обговорення методик навчання та ін. Окреслене відіграє важливу роль у професійному зростанні, розширенні кругозору та впровадженні нових ідей в освітню практику);

– *веб-інструменти для створення навчальних ресурсів* (хмарні сервіси надають доступ до різноманітних веб-інструментів, що допомагають вчителям створювати інтерактивні навчальні матеріали/ресурси (цифрові презентації, інтерактивні вправи, відеоуроки, онлайн тести). Це сприяє зацікавленню та залученню учнів до активної участі та покращенню засвоєння навчального матеріалу);

– *оцінювання та зворотний зв'язок* (хмарні сервіси дозволяють вчителям виконувати оцінювання та надавати зворотний зв'язок учням в електронному форматі).

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати проведеного дослідження сприяли окресленню певних висновків, а саме:

1. Використання хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки для самоосвіти вчителів дозволяє покращити процес навчання зробити його більш ефективним, цікавим та доступним. Водночас таке професійне зростання вчителя безпосередньо впливає на підвищення якості навчання їх учнів.

2. Визначено ключові етапи реалізації професійної самоосвіти вчителів наукових ліцеїв: 1) аналіз потреб; 2) планування програми; 3) розробка ресурсів; 4) проведення навчання; 5) оцінка та зворотний зв'язок; 6) практична реалізація; 7) супровід і підтримка; 8) оцінка результатів.

3. Сформовано рекомендації для вчителів наукових ліцеїв щодо шляхів використання хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки.

4. Основними перевагами використання хмаро орієнтованих сервісів в професійній самоосвіті вчителів є:

- великий вибір ресурсів. Хмарні сервіси надають широкий вибір навчальних ресурсів, включаючи електронні підручники, журнали, наукові статті, відеолекції. Вчителі можуть застосовувати ці ресурси для поглиблення своїх знань у конкретних галузях, ознайомлення з останніми тенденціями та методиками в освіті;
- гнучкість та доступність. Хмарні сервіси доступні з будь-якого місця та пристрою, що дозволяє вчителям вчитися та працювати в зручний час;
- постійне оновлення інформації/даних. Хмарні сервіси надають доступ до актуальних наукових досліджень, новин та інформації. Це дозволяє вчителям бути в курсі останніх трендів, інновацій та передових практик у певній сфері діяльності;
- взаємодія та співпраця. Хмарні сервіси сприяють обміну досвідом, співпраці та взаємної підтримки учасників педагогічної спільноти.

Подальші дослідження варто спрямувати на детальний розгляд різних хмарних сервісів і застосування їх для викладання різних навчальних предметів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Open Science. Policy Brief. ERA Portal, Austria. (2015). https://era.gv.at/public/documents/2714/-ERA_Open_Science_POLICY_BRIEF_December_2015.pdf.
2. UNESCO Recommendation on Open Science (2021). <http://surl.li/byvld>.
3. Биков В.Ю. & Лещенко М.П. (2016). Цифрова гуманістична педагогіка відкритої освіти. *Теорія і практика управління соціальними системами*. № 4. С. 115–130.
4. Важливість розвитку людського капіталу у сучасному світі. Якою має бути стратегія України. Український Інститут Майбутнього (2021). <https://uifuture.org/publications/vazhlyvist-rozvytku-lyudskogo-kapitalu-u-suchasnomu-sviti-yakoyu-maye-buty-strategiya-ukrayiny/>.
5. Вакалюк Т.А. & Мар'єнко М.В. (2021). Досвід використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки в процесі навчання і професійного розвитку вчителів природничо-математичних предметів. *Інформаційні технології і засоби навчання*. №81(1). С. 340-355. <https://doi.org/10.33407/itlt.v81i1.4225>.
6. Васильченко В.С., Гриненко А.М., Грішнова О.А. & Керб Л.П. (2005). Управління трудовим потенціалом. Навч. посіб. КНЕУ, Київ. 403 с.
7. Волошина Т.В. (2018). *Використання гібридного хмаро орієнтованого навчального середовища для формування самоосвітньої компетентності майбутніх фахівців з інформаційних технологій* [Дис. канд. пед. наук, Інститут інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України]. <http://surl.li/hkmnb>
8. Кашина Г.С. (2019). Інформаційно-технологічне забезпечення неперервної освіти та професійної діяльності педагогів. Управління системами післядипломної освіти для сталого розвитку : колективна монографія / за заг. редакцією Н. Рідей. Видавництво НПУ імені М.П. Драгоманова. Київ. С. 528-544.
9. Кашина Г.С. (2020). *Теоретико-методичні засади інформаційно-технологічного забезпечення природничо-гуманітарної підготовки педагогів у системі післядипломної освіти*. [Автореф. дис. д-ра пед. наук, Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова]. <http://surl.li/hkmng>
10. Коваленко В.В. (2021). Застосування хмаро орієнтованих сервісів відкритої науки для професійного розвитку вчителів. *Фізико-математична освіта*. Випуск 5(31). С. 45-53. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-031-5-007>.
11. Коваленко В.В., Литвинова С.Г., Мар'єнко М.В. & Шишкіна М.П. (2020). Хмаро орієнтовані системи відкритої науки у навчанні і професійному розвитку вчителів: зміст основних понять дослідження. *Фізико-математична освіта*. Випуск 3(25), 67-74. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2020-025-3-028>.
12. Коваленко В.В., Мар'єнко М.В. & Сухіх А.С. (2021). Самоосвіта та саморозвиток педагогічних працівників із застосуванням інструментів відкритої науки. *Освітній дискурс: збірник наукових праць*. №37(10), С. 28-38. [https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.37\(10\)-3](https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.37(10)-3).

13. Литвинова С.Г. (2016). *Теоретико-методичні основи проектування хмаро орієнтованого навчального середовища загальноосвітнього навчального закладу* [Дис. д-ра. пед. наук, Інститут інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України. Київ. 602 с.
14. Мар'єнко М.В. (2021). Методика використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів. *Фізико-математична освіта*. Випуск 3(29). С. 99-104. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-029-3-015>.
15. Мар'єнко М.В., Носенко Ю.Г. & Сухих А.С. (2020). Розроблення проблеми використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у вітчизняному освітньому просторі. *Освітній дискурс: збірник наукових праць*. 10(27). [https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.27\(10\)-5](https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.27(10)-5).
16. Мар'єнко М.В. & Шишкіна М.П. (2021). Використання хмаро орієнтованих методичних систем у процесі підготовки вчителів природничо-математичних предметів до роботи в науковому ліцеї. *Фізико-математична освіта*. Випуск 3(29). С. 99-104. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-029-3-015>.
17. Носенко Ю.Г., Попель М.В. & Шишкіна М.П. (2016). Хмарні сервіси і технології у науковій і педагогічній діяльності: Методичні рекомендації. Київ. 79 с. <http://lib.iitta.gov.ua/706199/>
18. Носенко Ю.Г. & Шишкіна М.П. (2021). Розвиток хмаро орієнтованих сервісів і систем відкритої науки. *Освітній дискурс: збірник наукових праць*. Том 38 № 11-12: Випуск 38(11-12). С. 46-56. [https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.38\(11-12\)-3](https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.38(11-12)-3).
19. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 січня 2018 р. № 67-р. «Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації» (2018). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-%D1%80#Text>.
20. Розпорядження Кабінету міністрів України від 08.10.2022 р. № 892-р «Про затвердження національного плану щодо відкритої науки» (2022). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/892-2022-%D1%80#Text>.
21. Толочко С.В. (2019). Вимоги цифрового суспільства до компетентності викладачів у системі післядипломної педагогічної освіти. *Інноваційна педагогіка*. Випуск 12. Т. 2. С.178-181. DOI 10.32843/2663-6085.2019.12-2.40.
22. Шишкіна М.П. (2021). Еволюція засобів і технологій проектування хмаро орієнтованих систем відкритої науки. *Фізико-математична освіта*. Випуск 1(27). С. 100-106. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-027-1-016>.
23. Шишкіна М.П. & Носенко Ю.Г. (2022). Хмарні технології відкритої науки у процесі наскрізного навчання ІКТ в освіті. *Фізико-математична освіта*. Том 37. № 5. С. 69-74. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-037-5-010>.
24. Шишкіна М.П., Носенко Ю.Г. & Мар'єнко М.В. (2022). Стан цифровізації освіти в контексті відкритої науки. *Фізико-математична освіта*. Том 37. № 5. С. 64-68. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-037-5-009>.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Open Science. Policy Brief. ERA Portal, Austria. (2015). https://era.gv.at/public/documents/2714/-ERA_Open_Science_POLICY_BRIEF_December_2015.pdf (in English).
2. UNESCO Recommendation on Open Science (2021). <http://surl.li/byvld> (in English).
3. Bykov, V.Iu., & Leshchenko, M.P. (2016). Tsyfrova humanistychna pedahohika vidkrytoi osvity. Teoriia i praktyka upravlinnia sotsialnyimi systemamy [Digital humanistic pedagogy of open education. Theory and practice of social systems management], 4, 115–130 (in Ukrainian).
4. Vazhlyvist rozvytku liudskoho kapitalu u suchasnomu sviti. Yakoiu maie buty stratehiia Ukrainy. Ukrainnyi Instytut Maibutnoho (2021) [The importance of human capital development in the modern world. What should be Ukraine's strategy. Ukrainian Institute of the Future]. <https://uifuture.org/publications/vazhlyvist-rozvytku-lyudskogo-kapitalu-u-suchasnomu-sviti-yakoyu-maye-but-y-strategiya-ukrainy/> (in Ukrainian).
5. Vakaliuk, T.A., & Marienko, M.V. (2021). Dosvid vykorystannia khmaro oriientovanykh system vidkrytoi nauky v protsesi navchannia i profesiinoho rozvytku vchyteliv pryrodnycho-matematychnykh predmetiv [The experience of using cloud-oriented systems of open science in the process of training and professional development of teachers of natural and mathematical subjects]. *Informatsiini tekhnologii i zasoby navchannia*, 81(1), 340-355. <https://doi.org/10.33407/itlt.v81i1.4225> (in Ukrainian).
6. Vasylychenko, V.S., Hrynenko, A.M., Hrishnova, O.A. & Kerb, L.P. (2005). Upravlinnia trudovym potentsialom. [Labor potential management] Navch. posib. KNEU, Kyiv. 403 s. (in Ukrainian).
7. Voloshyna, T.V. (2018). *Vykorystannia hibrydnogo khmaro oriientovanoho navchalnoho seredovyscha dlia formuvannia samoosvitnoi kompetentnosti maibutnikh fakhivtsiv z informatsiinykh tekhnologii* [The use of a hybrid cloud-oriented learning environment for the formation of self-educational competence of future information technology specialists]. [Dys. kand. ped. nauk, Instytut informatsiinykh tekhnologii i zasobiv navchannia NAPN Ukrainy]. <http://surl.li/hkmbn> (in Ukrainian).
8. Kashyna, H.S. (2019). Informatsiino-tekhnologichne zabezpechennia neperervnoi osvity ta profesiinoy diialnosti pedahohiv. Upravlinnia systemamy pisladyplomnoi osvity dlia staloho rozvytku : kolektyvna monohrafiia / za zah. redaktsiiei N. Ridei. [Information technology support of continuous education and professional activities of teachers. Management of postgraduate education systems for sustainable development]. Vydavnytstvo NPU imeni M.P. Drahomanova. Kyiv, 528-544 (in Ukrainian).
9. Kashyna, H.S. (2020). *Teoretyko-metodychni zasady informatsiino-tekhnologichnoho zabezpechennia pryrodnycho-humanitarnoi pidhotovky pedahohiv u systemi pisladyplomnoi osvity* [Theoretical and methodological principles of information and technological support of natural humanitarian training of teachers in the postgraduate education system]. [Avtoref. dys. d-ra ped. nauk, Natsionalnyi pedahohichnyi universytet imeni M. P. Drahomanova]. <http://surl.li/hkmng> (in Ukrainian).
10. Kovalenko, V.V. (2021). Zastosuvannia khmaro oriientovanykh servisiv vidkrytoi nauky dlia profesiinoho rozvytku vchyteliv. [Application of cloud-oriented services of open science for professional development of teachers]. *Fizyko-matematychna osvita*, 5(31), 45-53. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-031-5-007>. (in Ukrainian).
11. Kovalenko, V.V., Lytvynova, S.H., Marienko, M.V. & Shyshkina, M.P. (2020). Khmaro oriientovani systemy vidkrytoi nauky u navchanni i profesiinomu rozvytku vchyteliv: zmist osnovnykh poniat doslidzhennia [Cloud-oriented systems of open science in training and professional development of teachers: the content of the main concepts of the study]. *Fizyko-matematychna osvita*, 3(25), 67-74. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2020-025-3-028>. (in Ukrainian).
12. Kovalenko, V.V., Marienko, M.V. & Sukhikh, A.S. (2021). Samoosvita ta samorozvytok pedahohichnykh pratsivnykiv iz zastosuvanniam instrumentiv vidkrytoi nauky [Self-education and self-development of pedagogical workers with application tools of open science]. *Osvitnii dyskurs: zbirnyk naukovykh prats*, 37(10), 28-38. [https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.37\(10\)-3](https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.37(10)-3). (in Ukrainian).
13. Lytvynova, S.H. (2016). *Teoretyko-metodychni osnovy proektuvannia khmaro oriientovanoho navchalnoho seredovyscha zahalnoosvitnoho navchalnoho zakladu* [Theoretical and methodological foundations of designing a cloud-oriented educational environment general educational institution] [Dys. d-ra. ped. nauk, Instytut informatsiinykh tekhnologii i zasobiv navchannia NAPN Ukrainy. Kyiv. (in Ukrainian).
14. Marienko, M.V. (2021). *Metodyka vykorystannia khmaro oriientovanykh system vidkrytoi nauky u protsesi navchannia i profesiinoho rozvytku vchyteliv* [The method of using cloud-oriented systems of open science in the learning process and professional development of teachers]. *Fizyko-matematychna osvita*, 3(29), 99-104. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-029-3-015>. (in Ukrainian).

15. Marienko, M.V., Nosenko, Yu.H., & Sukhikh, A.S. (2020). Rozroblennia problemy vykorystannia khmaro oriientovanykh system vidkrytoi nauky u vitchyznianomu osvithnomu prostori [Development of the problem of using cloud-oriented systems open science in the domestic educational space]. *Osvitnii dyskurs: zbirnyk naukovykh prats*, 10 (27). [https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.27\(10\)-5](https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.27(10)-5). (in Ukrainian).
16. Marienko, M.V., & Shyshkina, M.P. (2021). Vykorystannia khmaro oriientovanykh metodychnykh system u protsesi pidhotovky vchyteliv pryrodnycho-matematychnykh predmetiv do roboty v naukovomu litsei [Use of cloud-oriented methodical systems in the preparation process teachers of natural and mathematical subjects to work in a scientific lyceum]. *Fizyko-matematychna osvita*, 3(29), 99-104. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-029-3-015>. (in Ukrainian).
17. Nosenko, Yu.H., Popel, M.V., & Shyshkina, M.P. (2016). Khmarni servisy i tekhnolohii u naukovi i pedahohichnii diialnosti: Metodychni rekomendatsii [Cloud services and technologies in scientific and pedagogical activities: Guidelines]. Kyiv. <http://lib.iitta.gov.ua/706199/> (in Ukrainian).
18. Nosenko, Yu.H., & Shyshkina, M.P. (2021). Rozvytok khmaro oriientovanykh servisiv i system vidkrytoi nauky [Development of cloud-oriented services and systems of open science]. *Osvitnii dyskurs: zbirnyk naukovykh prats*, 38(11-12), 46-56. [https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.38\(11-12\)-3](https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.38(11-12)-3). (in Ukrainian).
19. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 17 sichnia 2018 r. № 67-r. «Pro skhvalennia Kontseptsii rozvytku tsyfrovoi ekonomiky ta suspilstva Ukrainy na 2018-2020 roky ta zatverdzhennia planu zakhodiv shchodo yii realizatsii» [Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 17, 2018 No. 67 "On the approval of the Concept of digital development economy and society of Ukraine for 2018-2020 and approval of the plan of measures for its implementation"] (2018). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-%D1%80#Text> (in Ukrainian).
20. Rozporiadzhennia Kabinetu ministriv Ukrainy vid 08.10.2022 r. № 892-r «Pro zatverdzhennia natsionalnoho planu shchodo vidkrytoi nauky» [Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 8, 2022 No. 892-r "On approval of the national plan for of open science"] (2022). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/892-2022-%D1%80#Text> (in Ukrainian).
21. Tolochko, S.V. (2019). Vymohy tsyfrovoho suspilstva do kompetentnosti vykladachiv u systemi pisliadyplomnoi pedahohichnoi osvity [The requirements of the digital society for the competence of teachers in the postgraduate pedagogical system Education]. *Innovatsiina pedahohika*, 12(2), 178-181. <https://doi.org/10.32843/2663-6085.2019.12-2.40>. (in Ukrainian).
22. Shyshkina, M.P. (2021). Evoliutsiia zasobiv i tekhnolohii proiektuvannia khmaro oriientovanykh system vidkrytoi nauky [Evolution of tools and technologies for designing cloud-oriented systems of open science]. *Fizyko-matematychna osvita*, 1(27), 100-106. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-027-1-016>. (in Ukrainian).
23. Shyshkina, M.P., & Nosenko, Yu.H. (2022). Khmarni tekhnolohii vidkrytoi nauky u protsesi naskriznoho navchannia IKT v osviti. [Cloud technologies of open science in the process of end-to-end ICT training in education] *Fizyko-matematychna osvita*, 37(5), 69-74. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-037-5-010>. (in Ukrainian).
24. Shyshkina, M.P., Nosenko, Yu.H., & Marienko, M.V. (2022). Stan tsyfrovizatsii osvity v konteksti vidkrytoi nauky [The state of digitization of education in the context of open science]. *Fizyko-matematychna osvita*, 37(5), 64-68. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-037-5-009>. (in Ukrainian).



This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

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 10.31110/2413-1571-2023-038-3-003

УДК 551.510.4: 583.16: 588.74

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПОГОДИ ТА АНОМАЛЬНИХ ЯВИЩ У ПРИПОВЕРХНЕВІЙ АТМОСФЕРІ ЗЕМЛІ

Юрій КРАСНОБОКИЙ

Уманський державний педагогічний університет
 імені Павла Тичини, Україна
 ymk201113@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2103-9978>

Ігор ТКАЧЕНКО ✉

Уманський державний педагогічний університет
 імені Павла Тичини, Україна
 tkachenko.igor1071@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1775-1110>

Катерина ІЛЬНИЦЬКА

Уманський державний педагогічний університет
 імені Павла Тичини, Україна
 e-ilnitskaja@udpu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-6179-5543>

PHYSICAL BASIS OF THE FORMATION OF WEATHER AND ANOMALOUS PHENOMENA IN THE NEAR-SURFACE ATMOSPHERE OF THE EARTH

Yuriy KRASNOBOKY

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Ukraine
 ymk201113@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2103-9978>

Igor TKACHENKO ✉

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Ukraine
 tkachenko.igor1071@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1775-1110>

Kateryna ILNITSKA

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Ukraine
 e-ilnitskaja@udpu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-6179-5543>

АНОТАЦІЯ

У статті на основі аналізу сучасних теорій і моделей розглядаються термодинамічні процеси, які лежать в основі формування погоди та різних аномальних природних явищ у приповерхневій атмосфері Землі.

Формулювання проблеми. Застосувати можливості аналітико-синтетичного підходу щодо пояснення факторів, які впливають на формування погоди і деяких аномальних атмосферних явищ, та з'ясувати функціональні залежності між основними фізичними параметрами, що їх описують.

Матеріали і методи. У якості методів дослідження використувалися: аналіз архівних метеорологічних матеріалів; узагальнення даних щорічних публікацій комісії ООН з проблем клімату.

Результати. У результаті проведеного дослідження встановлено, що процеси формування погоди та аномальних явищ у приповерхневій атмосфері Землі знаходять своє пояснення з точки зору фізичних законів, які достатньо описують стан та можливі наслідки змін, що виникають у таких відкритих термодинамічних системах як океани, суходіл та атмосфера. Варіюючи реальні напрями і швидкості вертикальних і горизонтальних переміщень мас сухого і вологого повітря за різних значень градієнтів тиску, температури і густини, з'ясовано умови виникнення різних видів опадів (дощу, граду, снігу) та аномальних атмосферних явищ: грози, шквали, штормів, ураганів, циклонів, торнадо тощо. Обґрунтовано роль топографії рельєфу суходолу на формування погоди. Зокрема, по обидва боки від гірських хребтів погода суттєво відрізняється: піднімаючись вгору до вершин гір, повітря охолоджується, насичується і тут формується дощова погода; переходячи через гірський хребет, збіднене на вологу повітря стає теплим, що формує «суху» погоду.

Висновки. Спираючись на отримані дані про процеси формування погоди та аномальних явищ у приповерхневій атмосфері Землі, можна скласти орієнтовний алгоритм її передбачення. Так, якщо відома швидкість руху центра низького тиску в циклоні, то вдається достатньо точно передбачити час, коли він досягне певної точки, розташованої на відстані 500 км на схід від його реального

ABSTRACT

The article, based on the analysis of modern theories and models, considers the thermodynamic processes that underlie the formation of weather and various anomalous natural phenomena in the Earth's near-surface atmosphere.

Formulation of the problem. Apply the possibilities of the analytical-synthetic approach to explaining the factors that influence the formation of weather and some anomalous atmospheric phenomena, and find out the functional dependencies between the main physical parameters that describe them.

Materials and methods. The following research methods were used: analysis of archival meteorological materials; summarizing the data of the annual publications of the UN commissions on climate problems.

Results. As a result of the conducted research, it was established that the processes of weather formation and anomalous phenomena in the Earth's near-surface atmosphere are explained in terms of physical laws that sufficiently describe the state and possible consequences of changes occurring in such open thermodynamic systems as the oceans, land and atmosphere. By varying the real directions and speeds of vertical and horizontal movements of dry and moist air masses under different values of pressure, temperature and density gradients, the conditions for the occurrence of various types of precipitation (rain, hail, snow) and anomalous atmospheric phenomena: thunderstorms, squalls, storms, hurricanes, cyclones, tornadoes, etc. The role of the topography of the relief of the land on the formation of the weather is substantiated. In particular, on both sides of the mountain ridges, the weather is significantly different: going up to the tops of the mountains, the air cools, becomes saturated, and rainy weather forms here; passing over a mountain range, the moisture-depleted air becomes warm, which forms "dry" weather.

Conclusions. Based on the received data on the processes of weather formation and anomalous phenomena in the Earth's near-surface atmosphere, it is possible to draw up an approximate algorithm for its prediction. Thus, if the speed of movement of the center of low pressure in the cyclone is known, it is possible to predict with sufficient accuracy the time when it will reach a certain point located at a distance of 500 km to the east of its real location, as well as the type of weather that will prevail during the approach of this center. In the same way, if the direction of

Для цитування: Краснобокий Ю., Ткаченко І., Ільницька К. Фізичні основи формування погоди та аномальних явищ у приповерхневій атмосфері Землі. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 3. С. 20-28. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-3-003

For citation: Krasnoboky, Yu., Tkachenko, I., & Ilnitska, K. (2023). Physical basis of the formation of weather and anomalous phenomena in the near-surface atmosphere of the Earth. *Physical and Mathematical Education*, 38(3), 20-28. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-003>

For citation: Krasnoboky, Yu., Tkachenko, I., & Ilnitska, K. (2023). Fizychni osnovy formuvannya pohody ta anomalnykh yavyschch u prypoverkhnevii atmosferi Zemli [Physical basis of the formation of weather and anomalous phenomena in the near-surface atmosphere of the Earth]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(3), 20-28. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-003>

місцезнаходження, а також тип погоди, який буде переважати за наближення цього центру. Таким же чином, якщо відомий напрям руху холодного або теплого фронтів повітряних мас, то виникає можливість передбачити заздалегідь тип погоди, який буде переважати у даній місцевості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: термодинамічні процеси; фізичні параметри; погода; аномальні атмосферні явища; приповерхнева атмосфера Землі.

movement of cold or warm fronts of air masses is known, it is possible to predict in advance the type of weather that will prevail in a given area.

KEYWORDS: thermodynamic processes; physical parameters; weather; abnormal atmospheric phenomena; Earth's near-surface atmosphere.

ВСТУП

В умовах стрімкого розвитку цивілізації на перший план виступають проблеми, пов'язані з дослідженнями видозмін клімату, погоди та аномальних природних явищ. І хоча у XXI ст. є можливість долати наслідки деяких аномалій і катаклізмів планетарного масштабу, проте залежність людства від них не слабшає. Та й людська діяльність почала суттєво впливати на природний ландшафт (Кульбіда та ін., 2009). Протягом людського життя (в середньому 75 років) клімат майже не змінюється, тому й погода розглядається як щось таке, що коливається біля постійної «синусоїди» пір року, і помітити мінливість клімату вдалося лише науці. Кліматична система включає компоненти, які знаходяться між собою у сильній взаємній залежності: океани, атмосферу, поверхню суходолу, біосферу. Тому для опису погоди і клімату на Землі потрібно враховувати сукупність статистичних характеристик всіх компонентів системи.

Постановка проблеми. Свідченням все зростаючої уваги і стурбованості світової спільноти до проблем кліматичної ситуації стало практикою проведення щорічних самітів ООН з питань зміни клімату COP (Conference of the Parties). На цих самітах розглядаються проблеми втілення положень Рамкової конвенції ООН з питань формування клімату, ухвалення рішень з подальшої розробки правил конвенції і переговорів щодо нових зобов'язань держав.

У єгипетському курорті Шарм-ель-Шейх з 7 листопада 2022 року упродовж двох тижнів тривала робота уже 27-го такого саміту – COP27. У 2021 році на саміті COP26 у Глазго було узгоджено низку зобов'язань держав:

- поступово скорочувати використання вугілля – одного з найбільш забруднювальних видів викопного палива;
- зупинити вирубку лісів до 2030 року;
- скоротити викиди метану на 30% до 2030 року;
- подати нові кліматичні плани дій до ООН.

Саміт COP27 став безпрецедентним, він зібрав світових лідерів 120 країн і близько 30 тисяч учасників, ставив своєю метою виконання зобов'язань COP26 і планував стати «переломним моментом у боротьбі зі зміною клімату у світі».

Нагальність питання запобігання змінам клімату ще більш загострилося останнім часом, коли відбулися руйнівні повені в Пакистані та Нігерії, а також екстремальна спека в Індії та Єгипті.

Що ж до України, то останні 20 років середня температура повітря в Україні б'є рекорди, вона постійно зростає. З 80-х років середня температура січня та лютого місяців в Україні зросла на 2 – 2,5 градуси (Барабаш & Ткач, 2005). Тож дослідження в цій царині, на нашу думку, постійно будуть **актуальними**.

Аналіз актуальних досліджень. Детальному дослідженню можливостей безпосередньо *аналітично-синергетичного* підходу до пояснення умов формування погоди та аномальних явищ у приповерхневій атмосфері Землі присвячено порівняно небагато робіт. Цю проблему можна аналізувати з точки зору термодинаміки відкритих нерівноважних систем (дослідженням яких з точки зору фізики займався Больцман (Boltzmann, 1878)) – *водного покриву* (поверхні океанів), *суходолу*, *атмосфери* і *біоти* (за наявністю), – які в процесі взаємного впливу, взаємодії, і, як наслідок, самоупорядкування (самоорганізації) й визначають погоду й клімат на нашій планеті. Процеси самоорганізації в подібних (відкритих, динамічних) системах детально досліджені і опубліковані в працях дослідників (Brockner et al., 1985; Klein, 1969). Значний за обсягом матеріалу аналіз впливу різних факторів на клімат, погоду, різні природні цикли і ритми, які мають те, чи те відношення до формування аномальних явищ у приповерхневій атмосфері Землі, присвячені роботи авторів (Cess et al., 1989; Druffel & Suess, 1983). Дотичне відношення до проблеми клімату мають й авторські роботи (Краснобокий та ін., 2020; Краснобокий та ін., 2023).

Мета статті. Проаналізувати можливості аналітико-синтетичного підходу щодо пояснення факторів та з'ясування функціональних залежностей між основними фізичними параметрами, які суттєво впливають на формування погоди і визначають особливості перебігу деяких аномальних атмосферних явищ.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У якості методів дослідження було обрано комплексний аналіз наукових джерел, в яких репрезентується синергетичний підхід до потрактувань еволюційних процесів, що відбуваються в атмосферних зонах біля поверхні Землі, а також аналіз архівних метеорологічних матеріалів та узагальнення даних щорічних публікацій комісій ООН з проблем вивчення погоди й клімату.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянемо термодинаміку процесів, які формують погоду в приповерхневій атмосфері Землі. За спостереженнями та їх якісного аналізу можна зробити висновок, що таким процесом переважно є «конвективний» рух певних мас води і газів.

Оскільки об'єктами вивчення фізики переважно є не реальні тіла в усій їх багатогранності, а ідеалізовані об'єкти (моделі), що дає можливість зосередити дослідження на з'ясуванні функціональних залежностей між основними параметрами, які відображають характерні властивості тіл або перебіг тих чи тих процесів і явищ, опускаючи другорядні деталі, а також дає можливість використовувати відповідний математичний апарат.

Тож змодельуємо поведінку рідини (вологи), газу (водяної пари) і сухого повітря в полі тяжіння Землі, які й визначають стан погоди й аномальних атмосферних явищ (Краснобокий та ін., 2020).

Спочатку наведемо відомі фізичні поняття, на які будемо посилалися в контексті подальшого викладу розглядуваного матеріалу.

Атмосферна вологість. Вміст водяної пари в атмосфері є одним з найважливіших факторів, які визначають погоду. Навіть над пустелею повітря ніколи не буває абсолютно сухим. Випаровування з океанів, морів, озер і річок, а також з поверхні суходолу і рослинності визначає вміст вологи у повітрі близько 4%. Фактична кількість водяної пари, що міститься в 1 м^3 (або в 1 см^3) повітря називається *абсолютною вологістю*. Вона вимірюється в грамах на кубічний метр (сантиметр).

Максимально можлива кількість водяної пари в повітрі відповідає стану її насичення. Температура, за якої водяна пара, що знаходиться за певних умов, стає насиченою, називається *точкою роси*. Переважно у звичайному стані атмосферне повітря ненасичене. Так, наприклад, за 20°C повітря може містити (або мати абсолютну вологість) лише $8,7 \text{ г/м}^3$, між тим як за стану насичення воно повинно було б утримувати $17,3 \text{ г/м}^3$. Іншими словами, воно містить лише $\sim 50\%$ своєї можливої «вологості».

Відношення кількості водяної пари, що фактично міститься у повітрі (абсолютна вологість), до тієї кількості, яка необхідна для її насичення за тієї ж температури, називається *відносною вологістю* повітря. При постійній абсолютній вологості нагрівання повітря знижує його відносну вологість і навпаки, охолодження повітря підвищує його відносну вологість (Дущенко & Кучерук, 1987).

Якщо рідина (або газ), яка знаходиться в полі тяжіння, нагріта нерівномірно, то не за будь-якого розподілу температур вона може перебувати в механічній рівновазі. Взагалі кажучи, у такій рідині відбуватиметься перемішування (конвекція) нерівномірно нагрітих її частин. Для спрощення припустимо, що температура рідини змінюється лише з висотою. Поле тяжіння будемо вважати однорідним. За цього з'ясуємо, за яких умов конвекція не виникатиме і знехтуємо іншим явищем перенесення – «теплопровідністю» в рідині. Тоді будь-яке переміщення елемента рідини з одного положення в інше може розглядатися як адіабатичний процес, в якому ентропія не змінюється (Краснобокий та ін., 2023).

В стані механічної рівноваги температура T , питомий об'єм v і тиск P рідини є функціями лише висоти z над поверхнею Землі. Дійсно, прискорення вільного падіння g спрямоване вниз, тобто у від'ємний напрям осі Z , і залежить лише від z . Воно не має складових уздовж координатних осей X і Y . Тому, за стану механічної рівноваги $\partial P / \partial x = \partial P / \partial y = 0$, тобто P залежить теж лише від z . Далі, $\partial P / \partial z = -\rho g(z)$, звідки видно, що густина $\rho \equiv 1/v$ є функцією однієї лише координати z . Те ж саме відноситься й до температури T , як це випливає з рівняння стану $T = T(P, \rho)$.

Нехай dv , dT , dP означають нескінченно малі прирости v , T , P у спокійному стані рідини за зміни висоти на dz . На підставі рівняння стану ці величини пов'язані співвідношенням:

$$dv = \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P dT + \left(\frac{\partial v}{\partial P} \right)_T dP. \quad (1)$$

Припустимо тепер, що під дією якогось нескінченно малого збурення елемент рідини перемістився уверх на dz . Оскільки це переміщення відбувається адіабатично, то для зміни питомого об'єму рідини за такого переміщення можна записати:

$$dv_{ad} = \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P dT_{ad} + \left(\frac{\partial v}{\partial P} \right)_T dP. \quad (2)$$

У цьому виразі dT_{ad} і dP означають прирости температури і тиску всередині розглядуваного елемента рідини за адіабатичного підняття його на висоту dz . (Індекс «ad» біля dP опущено, оскільки приріст тиску в елементі рідини такий же, як і приріст тиску в оточуючій рідині). Якщо $dz > 0$, тобто елемент рідини переміститься дійсно уверх, і $dv_{ad} > dv$, то переміщений елемент виявиться відносно більш легким, ніж оточуюча рідина. Він буде підніматися ще вище, і рівновага рідини виявиться нестійкою. У протилежному випадку, коли $dv_{ad} < dv$, тиск оточуючої рідини поверне елемент у попереднє положення, тобто рівновага буде стійкою. Скориставшись виразами (1) і (2) і поділивши нерівність на додатну величину dz , умову стійкої рівноваги можна записати у вигляді:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P \left(\frac{dT}{dz} \right)_{ad} < \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P \left(\frac{dT}{dz} \right). \quad (3)$$

Вимогу $dz > 0$, яка використана за цього доведення, тепер можна відхилити, оскільки в нерівність (3) входять лише похідні $(dT/dz)_{ad}$ і (dT/dz) , значення яких від знаку dz не залежать. Відомо, що для більшості тіл температурний коефіцієнт об'ємного розширення додатний, тому замість умови (3) можна записати більш просту умову:

$$\left(\frac{dT}{dz} \right) > \left(\frac{dT}{dz} \right)_{ad}. \quad (3a)$$

Для тіл з від'ємним температурним коефіцієнтом об'ємного розширення знак нерівності (3a) необхідно замінити на протилежний. Ми ж у подальшому вважатимемо, що має місце перший випадок.

Таким чином, чим більший температурний градієнт (dT/dz) , тим повільніше відбувається конвекція, тим стійкіша механічна рівновага рідини. Нижньою межею (dT/dz) , за якої конвекція ще може бути відсутньою, є «адіабатичний температурний градієнт» $(dT/dz)_{ad}$. Для його обчислення зауважуємо, що за адіабатичного процесу питома ентропія s не змінюється. Розглядаючи її як функцію T і P , можна записати (Дущенко & Кучерук, 1987)

$$\left(\frac{ds}{dz}\right)_{ad} = \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_P \left(\frac{dT}{dz}\right)_{ad} + \left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T \left(\frac{dP}{dz}\right)_{ad} = 0.$$

У нашому випадку питома ентропія s розглядається як функція температури і тиску однієї фази – рідини. Тож для цього випадку справедливі такі термодинамічні співвідношення:

$$\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_P = \frac{c_P}{T}; \quad \left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P.$$

Скориставшись ними і рівнянням гідростатики $dP/dz = -\rho g = -g/v$, отримаємо:

$$\left(\frac{dT}{dz}\right)_{ad} = \frac{gT}{vc_P} \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P. \quad (4)$$

Для повітря, в наближенні його властивостей до ідеального газу, питомий об'єм v пропорціональний температурі T (при $P = \text{const}$), а тому $(\partial v / \partial T)_P = v/T$. З врахуванням цього (4) набуває вигляду

$$\left(\frac{dT}{dz}\right)_{ad} = -\frac{g}{c_P}. \quad (5)$$

Вважаючи повітря двоатомним газом, згідно з класичною теорією теплоємностей маємо: $c_P = 7R/2\mu$, де $\mu \approx 28,8 \text{ г/моль}$ – середня молярна маса повітря. Підстановка числових значень дає:

$$\left(\frac{dT}{dz}\right)_{ad} = -\frac{2\mu g}{7R} = -9,7 \cdot 10^{-5} \text{ К/см} \approx -10^{-2} \text{ К/м}. \quad (5^*)$$

Якщо температура повітря підвищується з висотою, то атмосфера в механічному відношенні буде стійкою. Але її стійка рівновага можлива й тоді, коли з висотою температура повітря знижується. Проте це зниження не може перевищувати приблизно одного градуса на кожні сто метрів висоти (5*).

Весь попередній виклад стосувався випадку, коли не враховувався вплив водяної пари, яка завжди присутня в атмосфері. За цього особливу увагу привертає випадок, коли температура повітря значно нижча від температури кипіння води. За таких умов кількість водяної пари відносно мала. Вплив її на величину адіабатичного температурного градієнта був би нехтовно малий, якби за адіабатичних процесів не відбувалося конденсації водяної пари. У дійсності за адіабатичного підняття повітря охолоджується, стає насиченим, а потім й перенасиченим. В результаті, досявши точки роси, водяна пара конденсується на йонах, пилинках й інших центрах конденсації. Ця конденсована волога називається *росою*. Якщо точка роси лежить нижче нуля (0°C), то конденсована волога набуває вигляду *інею*.

Точка роси має важливе значення для визначення відносної вологості. Якщо точка роси відома, то можна визначити абсолютну вологість за спеціально складеними таблицями. Знаючи ж абсолютну вологість і температуру повітря, можна вирахувати відносну вологість.

За процесу конденсації виділяється теплота пароутворення, що суттєво впливає на механізм досліджуваних процесів.

Розглянемо певну порцію повітря, насиченого водяною парою. Масу повітря в ній позначимо m_1 , масу водяної пари m_2 , масу рідкої води m_3 . За адіабатичного процесу підняття уверх ентропія розглядуваної системи змінюватися не буде, тому:

$$m_1 s_1 + m_2 s_2 + m_3 s_3 = \text{const}, \quad (6)$$

де s_1, s_2, s_3 – питомі ентропії повітря, водяної пари і рідкої води відповідно. За цього, повна кількість вологи (води і пари) залишається сталою $m_2 + m_3 = \text{const}$; таким чином $dm_3 = -dm_2$. Якщо ж вся волога існує лише у вигляді насиченої водяної пари, то масу рідкої води необхідно прирівняти до нуля ($m_3 = 0$). Але, звичайно, величина dm_3 повинна вважатися відмінною від нуля, оскільки за підняття уверх водяна пара конденсується у рідкі краплі. Взявши це до уваги, з умови (6) отримуємо:

$$m_1 ds_1 + m_2 ds_2 + (s_2 - s_3) dm_2 = 0.$$

Різницю питомих ентропій виразимо через питому теплоту випаровування $q = T(s_2 - s_3)$.

Маса пари m_2 у розглядуваній системі залежить лише від температури T , так що $dm_2 = (dm_2/dT)dT$. Для диференціалу питомої ентропії повітря ds_1 з врахуванням, що повітря може вважатися ідеальним газом, отримаємо такий же вираз як і у випадку сухого повітря:

$$ds_1 = \frac{c_{P1}}{T} dT - \frac{v_1}{T} dP_1.$$

Те ж саме можна написати й для водяної пари. Проте необхідно врахувати, що тиск насиченої пари залежить лише від температури, а тому

$$ds_2 = \left[\frac{c_{P2}}{T} dT - \frac{v_2}{T} \frac{dP_2}{dT} \right] dT.$$

Нарешті, застосуємо до повітря рівняння гідростатики:

$$dP_1 = -\rho_1 g dz = -\frac{g}{v_1} dz.$$

Об'єднавши останні рівності, отримаємо:

$$\left[c_{P_1} + \frac{m_2}{m_1} \left(c_{P_2} - v_2 \frac{dP_2}{dT} + \frac{q}{m_2} \frac{dm_2}{dT} \right) \right] \frac{dT}{dz} = -g.$$

У цьому співвідношенні m_1 і m_2 , очевидно, можна замінити на щільності (густини) повітря і водяної пари ρ_1 і ρ_2 . З рівняння Клапейрона-Менделєєва $\rho = \mu P / RT$, а тому

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{\mu_2 P_2}{\mu_1 P_1}; \quad \frac{1}{m_2} \frac{dm_2}{dT} = \frac{1}{\rho_2} \frac{d\rho_2}{dT} = \frac{T}{P_2} \frac{d}{dT} \left(\frac{P_2}{T} \right) = \frac{1}{P_2} \frac{dP_2}{dT} - \frac{1}{T}.$$

Виконавши відповідну підстановку, попередня рівність набуває виду:

$$\left[c_{P_1} + \frac{\mu_2 P_2}{\mu_1 P_1} \left(c_{P_2} - v_2 \frac{dP_2}{dT} - \frac{q}{T} + \frac{q}{P_2} \frac{dP_2}{dT} \right) \right] \frac{dT}{dz} = -g.$$

Нарешті, скориставшись рівнянням Клапейрона-Менделєєва у спрощеному вигляді $dP_2/dT = q/Tv_2$, отримаємо:

$$\left(\frac{dT}{dz} \right)_{ad} = -\frac{q}{c_{P_1}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\mu_2 P_2}{\mu_1 P_1 c_{P_1}} \left[c_{P_2} - \frac{2q}{T} + \frac{\mu_2}{R} \left(\frac{q}{T} \right)^2 \right]}. \quad (7)$$

У формулі (7) температурному градієнту ми повернули індекс «ад», яким нехтували за проміжних розрахунків. Питомі теплоємності повітря c_{P_1} і водяної пари c_{P_2} обрахуємо за класичною теорією теплоємностей, вважаючи повітря дво-, а водяну пару трьохатомним газами. Тоді

$$c_{P_1} = \frac{7R}{2\mu_1}; \quad c_{P_2} = \frac{4R}{\mu_2}.$$

Далі врахуємо, що у (7) множник $(-g/c_{P_1})$ виражає адіабатичний градієнт температури для сухого повітря, який позначимо як $(dT/dz)_{ad, \text{сух.}}$. Тоді формула (7) набуде вигляду:

$$\left(\frac{dT}{dz} \right)_{ad} = C \left(\frac{dT}{dz} \right)_{ad, \text{сух.}}, \quad (8)$$

де коефіцієнт C відображається виразом:

$$\frac{1}{C} = 1 + \frac{8}{7} \frac{P_2}{P_1} \left[1 - \frac{q\mu_2}{2RT} + \left(\frac{q\mu_2}{2RT} \right)^2 \right]. \quad (9)$$

Наведеними формулами можна користуватися і в тому випадку, коли за охолодження водяна пара не конденсується, а перетворюється в лід. Лише в цих випадках під q слід розуміти теплоту сублимації, яка рівна сумі теплот пароутворення і плавлення льоду.

Таблиця 1

$P_1 + P_2 = 760$ мм рт. ст.		$P_1 + P_2 = 760$ мм рт. ст.		$P_1 + P_2 = 380$ мм рт. ст.	
Температура, °C	коефіцієнт C	Температура, °C	коефіцієнт C	Температура, °C	коефіцієнт C
-30	0,94	10	0,47	-30	0,88
-25	0,91	15	0,40	-25	0,83
-20	0,86	20	0,33	-20	0,76
-15	0,81	25	0,28	-15	0,68
-10	0,74	30	0,23	-10	0,57
-5	0,65	40	0,16	-5	0,47
0	0,62	50	0,10	0	0,44
5	0,54				

У таблиці 1 наводяться обчислені значення коефіцієнта C за різних температур для двох значень повного тиску: $P_1 + P_2 = 760$ мм рт. ст. і $P_1 + P_2 = 380$ мм рт. ст. (на висоті над рівнем моря біля 5,5 км, якщо атмосферу Землі вважати ізотермічною за температури $t = 0^\circ\text{C}$). З таблиці видно, наскільки суттєвим є вплив вологості, якщо адіабатичні процеси в атмосфері супроводжуються конденсацією або замерзанням водяної пари.

Крім того, з наведених у таблиці даних випливає, що у випадку «вологої» адіабати адіабатичне охолодження повітря з висотою відбувається у 2 – 3 рази повільніше, ніж у випадку «сухої» адіабати. З цим явищем пов'язане виникнення сухого і теплого вітру, який дме з гір і носить назву «фен». Такі вітри, зокрема, поширені на Кавказі і в Середній Азії. Припустимо, що насичена водяною парою маса повітря перевалює через гірський хребет. За підняття вверх повітря охолоджується по «вологій» адіабаті, тобто порівняно повільно, оскільки з підняттям конденсація пари постійно збільшується, а приховане тепло конденсації, яке за цього виділяється, уповільнює охолодження. Окремі краплини води настільки збільшуються, що починають падати на поверхню Землі у вигляді дощу. В результаті маса повітря, яка перевалила через хребет, виявляється збідненою на вологу. За опускання ж у долину вона адіабатично нагрівається, за цього це нагрівання йде знову по «вологій» адіабаті, тобто повільно, оскільки значна частина тепла витрачається на

випаровування ще частково наявних хмар. Але як тільки хмари випаруються, подальше нагрівання повітря почне відбуватися по «сухій» адиабаті, тобто швидко. Збіднене вологою повітря опускається в долину значно нагрітим.

Таким чином, великі гірські хребти можуть ставати неначе «розділювачами» погоди. Області висхідних вологих потоків повітря є дощовими. Місця ж позаду гірських хребтів, куди повітря надходить значно збідненим вологою і нагрітим завдяки адиабатичному стисненню, є сухими і «бідними» на дощі. Прикладом може слугувати західний берег Південної Америки, де переважають здебільшого західні вітри, які збагачені вологою, оскільки вони дмуть з Тихого океану. Вузька смуга, яка лежить на захід від Кордільєр, виключно багата на дощі, у той час як місцевість по інший бік цього гірського хребта нагадує пустелю.

Передбачення погоди є важливим народно-господарським завданням. Воно необхідне працівникам сільського господарства, авіаторам, мореплавцям та зрештою всім людям у процесі вирішення побутових ситуацій (Польовий та ін., 2017).

Погоду переважно визначають як атмосферні умови, що складаються у певному місці у певний час. Клімат включає всі види погоди, які спостерігалися у даному пункті за великий проміжок часу. Клімат певного регіону залишається достатньо постійним з року в рік, але погода може різко змінюватися протягом дня і навіть кількох годин. Що ж викликає ці зміни? Які ті фактори, що визначають погоду і клімат? Іншими словами, у формі яких явищ (особливо аномальних) проявляє себе погода?

Серед тих, хто переймається проблемами погоди і клімату, є розуміння того, що погода є найвеличнішим *явищем* на Землі, в якому беруть участь переважно три фактори: сонячна радіація, волога і повітря (атмосфера). Сонце (сонячна радіація) визначає місце решти двох, оскільки нерівномірне нагрівання земної поверхні створює перепади в атмосферному тиску, внаслідок чого виникають *вітри*, які переносять на суходіл водяну пару, що утворюється за випаровування з поверхні океанів та поверхні інших водойм. Як це відбувається?

Якби Земля не оберталася, то циркуляція приземної атмосфери (вітри) відбувалася б наступним чином. Оскільки повітря найбільше нагрівається поблизу екватора, то воно почало б тут розширюватися, ставало б менш щільним і витіснялося б догори більш холодним повітрям із полярних областей, яке спрямовується сюди для вирівнювання тиску. Повітря ж, яке піднімається угору, почало б рухатися від екватора в напрямку полюсів, створюючи постійну область низького тиску біля екватора. Біля полюсів повітря було б холодним і щільнішим, так що тут був би і високий атмосферний тиск.

Проте, по мірі того як рухоме повітря у верхніх шарах «розтікається» і віддаляється від екватора до полюсів, воно, внаслідок обертання Землі навколо своєї осі із заходу на схід, поступово відхиляється на схід, і, коли це повітря досягає приблизно 30-ї паралелі, воно рухається майже точно на схід. Таким чином, на цих широтах відбувається накопичення повітря, внаслідок чого тут утворюються зони високого тиску, які оточують Землю до півдня і півночі від екватора.

Від кожної зони високого тиску частина повітря в нижніх шарах атмосфери спрямовується до полюсу, породжуючи вітри, які у метеорологічних зведеннях відомі під назвою «*переважаючих західних вітрів*». Друга частина повітря спрямовується до екватора, утворюючи північно-східні і південно-східні *пасати*. Ці пасати зіштовхуються біля екватора, в значній мірі взаємно «знищуються» і утворюють так звану *екваторіальну штильову зону*.

Частина повітря верхніх шарів атмосфери на широті 30° витісняється до полюсів, але не опускається до земної поверхні. В результаті, коли це повітря досягає полярних областей, воно виявляється дуже холодним і «важким» (щільним). Тут воно опускається (осідає), утворюючи великі маси повітря високого тиску. По мірі накопичення цього холодного повітря в нижніх шарах атмосфери, воно спрямовується в напрямку екватора. На широті приблизно 60° фронт цієї маси полярного повітря, так званий «*полярний фронт*», зустрічаючись зі значно більш теплим і менш щільним повітрям західних вітрів, опускається під нього і змушує його підніматися. Це відносно тепле і легке повітря, яке піднімається, утворює зони низького тиску по обидва боки від екватора на широтах близько 60°.

Проте, час від часу, велика маса полярного повітря високого тиску «проривається» до екватора. Передня межа цієї маси, яка повернута до екватора, називається «*холодним фронтом*». Ці центри високого тиску і холодні фронти відіграють величезну роль у формуванні погоди і клімату (Dickinson & Cicerone, 1986).

Біля екватора повітря нижніх шарів атмосфери нагрівається внаслідок того, що воно дотикається до теплої ґрунту або води, контактуючи переважно з теплою водою, завдяки чому стає дуже вологим. Після того як це надзвичайно вологе повітря витісняється більш холодним повітрям уверх до півночі і півдня, воно розширюється. Але за розширення і подолання тиску, хоч би яким малим він не був, виконується за цього певна робота. Оскільки робота виконується за рахунок теплової енергії повітря, яке розширюється, то повітря охолоджується. За цього, якщо повітря, яке піднімається, охолоджується до точки роси, то утворюються *хмари* і можуть випасти *опад*и у вигляді дощу.

Якщо ж висхідне повітря не насичене (тобто воно не досягло своєї точки роси), то воно буде охолоджуватися приблизно на 1° на кожні 100 м підйому. Зміну температури повітря за його підняття називають «*вертикальним градієнтом температури*» висхідного потоку. Як тільки висхідне повітря досягає своєї точки роси, вертикальний градієнт температури зменшується до ~ 0,6° на 100 м. За конденсації водяної пари виділяється теплота, що і є причиною зменшення вертикального градієнта температури.

Варто мати на увазі, що вказані вертикальні градієнти температури відносяться лише до таких потоків повітря, що піднімаються і опускаються, які за цього не отримують і не віддають тепло оточуючому повітрю.

У «спокійній» масі повітря (тобто яке і не піднімається, і не опускається) зазвичай температура також знижується з висотою. Проте вертикальний градієнт у спокійному повітрі рідко співпадає з вертикальним градієнтом висхідного або низхідного повітряного потоку.

Інший суттєвий момент полягає в тому, що, оскільки висхідне повітря розширюється, то його абсолютна вологість (в г/м³) зменшується. З цієї причини точка роси висхідного ненасиченого повітря знижується приблизно на 0,2°С на кожні 100 м. Інакше кажучи, температура висхідного ненасиченого повітря знижується на кожні 100 м підйому не на 1°С, а на 0,8°С. Температура ж висхідного насиченого повітря зменшується на 0,4°С на кожні 100 м.

Мова вже йшла про те, що хмари утворюються в нестійкому стані повітря, коли досягається точка роси. Але це лише частина тих явищ, які відбуваються за утворення хмар. Для того, щоб водяна пара перейшла в стан конденсації, необхідна наявність центрів (ядер) конденсації у вигляді пилинок або інших частинок. У якості таких центрів-ядер можуть слугувати також спори рослин, бактерії і кристали різних солей.

Явища обледеніння і утворення снігу. За деяких умов хмари можуть складатися з переохолоджених краплин води (тобто вони продовжують існувати в рідкій формі нижче точки замерзання). Проте, як тільки такі хмари контактують з деякою поверхнею, наприклад, з поверхнею пролітаючого літака, водяні краплини миттєво перетворюються на лід і можуть швидко покрити літак шаром льоду, викликавши його значне перевантаження. Таке явище називають «обледенінням».

Зазвичай, переохолоджені водяні краплини в хмарі перетворюються в маленькі гексагональні кристали льоду за температури приблизно -30°C . На великих висотах утворюються *нижні* нитковидні хмари, так звані «перисті». Ці хмари складаються з кристалів льоду, які за певних умов стають зародками снігових «пластівців» («лапатового» снігу). Ці кристали падають вниз крізь переохолоджені водяні краплини, і, оскільки тиск пари над водою більший, ніж над льодом, волога випаровується з крапель і конденсується на льодові. Таким чином кристали ростуть і перетворюються в гексагональні *сніжинки*. І хоча всі сніжинки гексагональної форми, не можна виявити серед них навіть двох абсолютно подібних, не дивлячись на те, що тисячі сніжинок піддавалися дослідженню і фотографуванню.

Коли дощ у вигляді *мряки (мжички)* проходить через приземний шар повітря, який знаходиться за температури нижчої від точки замерзання, краплини, переохолоджуючись за проходження через цей шар, замерзають при контакті з холодними поверхнями рослин, ґрунту, будівель, проводів, покриваючи всіх їх льодом. Таке явище може спричинити значних збитків.

Місцеві грози. Одним з найбільш звичних видів *штормів* у густонаселених районах світу є місцеві грози. На відміну від більшості штормів, вони трапляються лише у деякій ізольованій масі повітря. Крім того, вони звично мають місце в теплі, паркі, вологі літні дні, коли ґрунт і повітря над ним дуже сильно нагріті сонцем і в той же час повітря у верхніх шарах атмосфери нестійке. Нагрівання вологого приземного повітря викликає вертикальні потоки повітря, на вершинах яких утворюються «кучкуваті» (грибоподібні, хвилюподібні) хмари. Такі хмари перетворюються у грозові.

Тепло конденсації, яке вивільняється за цього, зменшує степінь охолодження висхідного повітря і сприяє підвищенню й інтенсифікації висхідних конвекційних потоків до досягнення ними стійкого стану. Таким чином вершини хмар витісняються ще вище в зону утворення кристалів льоду холодним повітрям, яке притікає зі всіх боків. Кристали льоду стають зародками *снігопаду* у верхній частині хмари, і снігопад дійсно розпочинається.

У центральній частині потоку повітря, який рухається догори, виникає спрямований вниз протипотік, такої ж сили, як і потік спрямований вгору. Цей спрямований вниз потік захоплює з собою сніжинки, які тануть і перетворюються в дощ. Спрямовані вгору потоки можуть утримати дощ протягом деякого часу, але потім дощ проривається суцільною зливою. Інколи краплини дощу можуть повторно підніматися вгору, в область температур нижче нуля, і там замерзати, перетворюючись у «град».

Біля земної поверхні холодне повітря, що опускається, розтікається горизонтально під теплим повітрям, яке витісняється і піднімається вгору. Повітря ж, що розтікається, викликає явище, яке називається «холодним шквалом». Цей шквал може знижувати температуру приземного шару повітря на 10 градусів упродовж кількох хвилин.

Умови, які необхідні для виникнення місцевих гроз, зустрічаються в зоні стабільності протягом всього року, а в середніх широтах ($30^{\circ} - 60^{\circ}$) протягом літа. Взимку ґрунт рідко достатньо прогрівається, щоб викликати місцеві грози. Грози мають різну тривалість – від 5-ти хвилин приблизно й до години, в залежності від місцевості та їх розмірів.

Орографічні опади. Більшість штормів, за яких відбуваються опади, характеризуються однією загальною особливістю – приземне повітря зазвичай витісняється уверх до тих пір, поки не досягається точка роси. Одним з простих прикладів цього є горизонтально спрямований потік повітря, який виштовхується через вершину гори. Підвищення земної поверхні спонукає повітря підніматися. Тому, якщо повітря достатньо вологе, а гора відносно висока, досягається точка роси повітря, утворюються хмари і випадають опади. Такі опади, які викликані вимушеним підйомом повітря на гори або переходом через інші топографічні бар'єри, називаються «орографічними опадами».

Процес формування «шквалів, пов'язаних з холодним фронтом». Як уже зазначалося, над полюсами збираються великі маси повітря – сухі, холодні, щільні, високого тиску. Відомо також, що час від часу велика маса полярного повітря за високого тиску проривається з полярної області в зону переважаючих західних вітрів. Межа цієї маси повітря з боку екватора утворює холодний фронт. Найвищий атмосферний тиск спостерігається в центрі. Таким чином, вітри дмуть від центра до периферії. А внаслідок обертання Землі у північній півкулі напрям вітрів змінюється за годинникову стрілкою навколо центра підвищеного тиску. У південній півкулі вітри спрямовані проти годинникової стрілки.

І якщо тепле повітря вологе і витісняється вгору достатньо високо, так що воно досягає точки роси, то випадають опади. У випадку коли фронт рухається пересічною місцевістю, то нижній шар повітря може уповільнюватися внаслідок тертя, і завдяки цьому шари, які розташовані вище, можуть прорватися вперед і виявитися вище теплого повітря. Таким чином, конвекційні потоки теплого повітря змушені прориватися вгору крізь розташований вище них шар холодного повітря, викликаючи вздовж холодного фронту швидку конденсацію і дощ, який часто супроводжується грозами навіть взимку. Холодний фронт протягом кількох годин просувається далі, і холодна повітряна маса тоді змінюється спокійним повітрям і ясною погодою. Влітку така погода сприймається комфортно, але взимку температура може суттєво знижуватися.

Торнадо. Якщо маса полярного повітря, яка утворює холодний фронт, не надто холодна, то верхній шар холодного повітря може вирватися вперед над нижче розташованим теплим шаром на відстань 80 – 150 км. Внаслідок цього, коли нижній шар повітря проривається через розташований вище шар важкого холодного повітря, швидкість вертикального підйому повітря може стати колосальною, і повітря почне обертатися. Утворюється хмара у вигляді лійки; такий шквал називається «торнадо».

Внаслідок великої швидкості обертання повітря тиск у центрі торнадо різко знижується. В результаті цього, якщо центр торнадо рухається над будинком із закритими вікнами і дверима, то такий будинок може в буквальному розумінні цього слова «вибухнути», так що буде повністю зруйнований. Але хоча торнадо дуже руйнівний, тривалість його порівняно коротка, а охоплювана ним площа відносно мала.

Урагани. Із всіх видів штормів найбільш широко відомий і привертає найбільше уваги «*ураган*». Однією з причин цього є те, що ураган є призвідником штормів.

Урагани виникають над поверхнею океану в зоні затишку, де сонячна радіація інтенсивна, вологість висока і випаровування води з поверхні океану величезне. У районах Тихого океану урагани звичайно називаються «*тайфунами*».

Очевидно, деяка частина великої маси тропічного повітря нагрівається сильніше від оточуючого повітря і починає рухатися уверх природним потоком; з підйомом вона охолоджується і волога, яка в ній знаходиться, конденсується у вигляді дощу. Утворюються тисячі тонн води і вивільняється величезна кількість теплоти конденсації, що підсилює рух уверх. Це тепло конденсації є одним з основних джерел енергії урагану.

По мірі того як повітря, завихрюючись, рухається уверх, тиск біля поверхні океану під ним знижується, і сюди спрямовується ще більша кількість оточуючого теплого вологого повітря, яке продовжує рухатися догори. Ці притікаючі потоки повітря обертаються проти годинникової стрілки до півночі від екватора і за годинниковою стрілкою до півдня від екватора. Вихровий рух швидко посилюється, створюючи значну різницю тисків між периферією і центром урагану; в центрі наявна область затишку, ширина якої приблизно від 5 до 75 кілометрів. Вітри, які пов'язані з ураганом, можуть охоплювати ділянку шириною від 50 до 150 кілометрів і навіть більше. Ураган рухається вперед в середньому зі швидкістю біля 15 кілометрів за годину.

Про наближення урагану можна зрозуміти заздалегідь згідно з певною формою послідовності формування хмар або за його впливом на морські хвилі, які рухаються на відстані 700 – 1500 кілометрів попереду урагану.

Циклони. У зонах переважаючих західних вітрів більша частина опадів викликається циклонами. Проте циклони – це не торнадо, як дехто вважає.

Циклон утворюється тоді, коли маса полярного повітря рухається в область західних вітрів, зустрічає масу теплого вологого повітря і тепле повітря вклинюється в холодну масу, утворюючи «язик» у холодному фронті. Це й слугує початком циклону.

Там, де фронти зіштовхуються вперше, холодні вітри можуть дуги з північного сходу, а теплі вітри – з південного заходу. Проте, вторгнення теплого повітря в масу холодного повертає рухомі на захід вітри на північний схід.

Але по мірі того, як «язик» у масі холодного повітря заглиблюється в горизонтальному напрямі і тепле повітря, яке проникає все далі на північ, виявляється все більше і більше оточене холодним повітрям, це майже оточене тепле повітря витісняється вверху. Це створює область пониженого тиску, яку називають «*областю депресії*», куди й спрямовується оточуюче повітря, яке загалом має напрям обертання проти годинникової стрілки. У південній півкулі циркуляція має напрям за годинниковою стрілкою.

По мірі того як тепле повітря в центрі піднімається, воно може досягти точки роси, і в результаті можуть утворитися хмари і випасти опади. Таким чином, в області низького тиску циклону можна очікувати дощу або снігу.

Як правило, центр циклону рухається на схід. Західний край «язика» також рухається на схід і на південь. Просуваючись вперед, холодне повітря спрямовується під тепле повітря «язика» і утворює холодний фронт, про який вже йшла мова вище.

Передній край «язика» також рухається на схід, проте тут більш легке тепле повітря «язика» спрямовується вверху над холодним, більш щільним повітрям, дещо східніше від нього. Так утворюється *теплий фронт*.

Якщо тепле повітря вологе, то, в той час як воно піднімається над холодним повітрям, воно досягає точки роси, і можуть утворюватися хмари і опади. Оскільки підйом відбувається поступово і відносно повільно, то падаючий дощ або сніг зазвичай не рясний, а мілкий, мрячний і стійкий за характером. За цього опади можуть поширюватися на 300 – 500 кілометрів вперед від теплого фронту.

На відстані кількох сотень кілометрів попереду фронту біля земної поверхні висхідне повітря досягає висоти 10 тисяч метрів і більше, на якій виникає волога, утворюючи кристали льоду, і тоді утворюються ряди білих перистих хмар, що часто називають «барашками».

Отже, цілком сформований циклон складається з «язика» – маси теплого повітря в масі холодного, внаслідок чого утворюються: центр низького тиску, теплий фронт, холодний фронт. Тепле повітря знаходиться між холодним фронтом і теплим фронтом. У північній півкулі приземні вітри рухаються в напрямку центра низького тиску і тому обертаються проти годинникової стрілки.

Як правило, за циклоном полярного фронту утворюється область високого тиску, яку називають «*антициклоном*». Циркуляція повітря тут типова для всіх центрів високого тиску. Антициклони є результатом явища, яке відбувається час від часу у формі проникнення мас полярного повітря в зону переважаючих західних вітрів, через яку періодично проходять циклони і антициклони, що рухаються у східному напрямку.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Прогнозування погоди. Спираючись на вище викладені дані про погоду, можна скласти приблизний алгоритм її передбачення. Так, наприклад, якщо відома швидкість руху центра низького тиску в циклоні, то можна достатньо точно передбачити час, коли він досягне певної точки, розташованої на відстані 500 км на схід від його дійсного місцезнаходження, а також тип погоди, який буде переважати за наближення цього центру.

Таким же чином, якщо відомий напрям руху холодного або теплого фронтів, то можливо передбачити тип погоди, який буде переважати у деякій точці, розташованій на їх шляху, за кілька годин до того, як фронт підійде. Можна також передбачити, якою буде погода в цьому місці, коли його «накриє» фронт, а також тип погоди, який варто очікувати після проходження певного фронту (Польовий та ін., 2017).

Мапи погоди. Щоденно на різних каналах телебачення в прогнозах погоди можна бачити зображення різних регіонів земної поверхні з нанесеними на них позначками, що відповідають різним температурам та мереживом різних ліній. Як вони отримуються і що відображають?

Через рівні проміжки часу, наприклад, чотири рази на добу, відповідні служби (спостерігачі) на різних континентах, на суходолі, у відкритому морі на кораблях, з метеосупутників тощо, надають відомості про місцеву температуру, атмосферний тиск, відносну вологість, напрямок і швидкість вітру, характер опадів, хмарність та про інші фактори. На основі цих даних і складаються мапи погоди.

На цих мапах точки однакових температур з'єднують лініями, які називають «ізотермами»; точки, що відповідають рівним атмосферним тискам, з'єднують лініями, які називають «ізобарами». Як правило, ізотерми витягуються в західно-східному напрямку, а ізобари відображаються як більш-менш замкнуті лінії, які включають області високого або низького тиску.

Коли ці дані зареєстровані і нанесені на мапу, то спеціалісти-метеорологи можуть досить швидко скласти прогноз погоди і повідомити про нього у ЗМІ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барабаш, М. Б., & Ткач, Л. О. (2005). Сценарії режиму температури повітря в перші три десятиріччя XXI ст. за фізико-географічними зонами України. *Водне господарство України*, (3), 47–54.
2. Дущенко, В. П., & Кучерук, І. М. (1987). *Загальна фізика. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка*. Вища школа.
3. Кульбіда, М. І., Барабаш, М. Б., Елістратова, Л. О., Адаменко, Т. І., Гребенюк, Н. П., Татарчук, О. Г., & Корж Т. В. (2009). *Клімат України: у минулому ... і майбутньому? : монографія* (М. І. Кульбіда & М. Б. Барабаш, Ред.). Сталь.
4. Краснобокий, Ю. М., Ткаченко, І. А., & Гребеніченко, Д. І. (2020). Моделювання майбутнього Землі як планети за можливих змін її астрофізичних параметрів. В М. Л. Комарьтський (Ред.), *Eurasian scientific congress* (с. 227–234). Barca Academy Publishing.
5. Краснобокий, Ю. М., Ткаченко, І. А., & Ільницька, К. С. (2023). Самоорганізація у формуванні клімату на планетах Сонячної системи. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*, (208), 161–166.
6. Польовий, А. М., Божко, Л. Ю., & Адаменко Т. І. (2017). *Агрометеорологічні прогнози : Підручник*. ТЕС.
7. Boltzmann, L. (1878). Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, respective den Sätzen über das Wärmegleichgewicht. *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, LXXVI(III), 373–435.
8. Klein, M. J. (1969). Gibbs on Clausius. *Historical Studies in the Physical Sciences*, (1), 127–149.
9. Cess, R. D., Potter, G. L., Blanchet, J. P. et al. (1989). Interpretation of cloud-climate feedback as produced by 14atmospheric general circulation model. *Science*, (245), 513–515.
10. Brocker, W. S., Peteet, D. M., & Ring, D. (1985). Does the ocean-atmosphere system have more than one stable mode of operation? *Nature*, 315(6014), 21–26.
11. Dickinson, R. E., & Cicerone, R. J. (1986). Future global warming from atmospheric trace gases. *Nature*, 319, 109–115.
12. Druffel, E. R. M., & Suess, H. E. (1983). On the radiocarbon record in banded corals: Exchange parameters and net transport of $^{14}\text{CO}_2$ between atmosphere and surface ocean. *Geophys. Res.*, 88(C2), 1271–1280.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Barabash, M. B., & Tkach, L. O. (2005). Stsenarii rezhymu temperatury povitria v pershi try desiatyrichchia XXI st. za fizyko-heohrafichnymy zonamy Ukrainy [Air temperature regime scenarios in the first three decades of the 21st century. by physical and geographical zones of Ukraine]. *Vodne hospodarstvo Ukrainy*, (3), 47–54. (in Ukrainian).
2. Dushchenko, V. P., & Kucheruk, I. M. (1987). *Zahalna fizyka. Fizychni osnovy mekhaniky. Molekuliarna fizyka i termodynamika [General Physics. Physical foundations of mechanics. Molecular physics and thermodynamics]*. Vyscha shkola. (in Ukrainian).
3. Kulbida, M. I., Barabash, M. B., Yelistratova, L. O., Adamenko, T. I., Hrebeniuk, N. P., Tatarchuk, O. H., & Korzh T. V. (2009). *Klimat Ukrainy: u mynulomu ... i maibutnomu? : monohrafiia [Climate of Ukraine: in the past ... and in the future? : monograph]* (M. I. Kulbida & M. B. Barabash, Red.). Stal. (in Ukrainian).
4. Krasnobokiy, Yu. M., Tkachenko, I. A., & Hrebenichenko, D. I. (2020). Modeliuvannya maibutnoho Zemli yak planety za mozhlyvykh zmin yii astrofizychnykh parametriv [Modeling the future of the Earth as a planet under possible changes in its astrophysical parameters]. V M. L. Komarytskyi (Red.), *Eurasian scientific congress* (s. 227–234). Barca Academy Publishing. (in Ukrainian).
5. Krasnobokiy, Yu. M., Tkachenko, I. A., & Ilnitska, K. S. (2023). Samoorhanizatsiia u formuvanni klimatu na planetakh Soniachnoi systemy [Self-organization in climate formation on the planets of the Solar System]. *Naukovi zapysky. Seriya: Pedagogichni nauky – Academic Notes. Series: Pedagogical Sciences*, (208), 161–166. (in Ukrainian).
6. Poloviy, A. M., Bozhko, L. Yu., & Adamenko T. I. (2017). *Ahrometeorologichni prohozy : Pidruchnyk [Agrometeorological forecasts: Textbook]*. TES. (in Ukrainian).
7. Boltzmann, L. (1878). Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, respective den Sätzen über das Wärmegleichgewicht. *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, LXXVI(III), 373–435.
8. Klein, M. J. (1969). Gibbs on Clausius. *Historical Studies in the Physical Sciences*, (1), 127–149.
9. Cess, R. D., Potter, G. L., Blanchet, J. P. et al. (1989). Interpretation of cloud-climate feedback as produced by 14atmospheric general circulation model. *Science*, (245), 513–515.
10. Brocker, W. S., Peteet, D. M., & Ring, D. (1985). Does the ocean-atmosphere system have more than one stable mode of operation? *Nature*, 315(6014), 21–26.
11. Dickinson, R. E., & Cicerone, R. J. (1986). Future global warming from atmospheric trace gases. *Nature*, 319, 109–115.
12. Druffel, E. R. M., & Suess, H. E. (1983). On the radiocarbon record in banded corals: Exchange parameters and net transport of $^{14}\text{CO}_2$ between atmosphere and surface ocean. *Geophys. Res.*, 88(C2), 1271–1280.



This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

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 10.31110/2413-1571-2023-038-3-004

УДК 378.147

ФУНДУВАННЯ ЗНАНЬ У СИСТЕМІ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ ПРИ ВИВЧЕННІ МЕТОДУ МАТЕМАТИЧНОЇ ІНДУКЦІЇ

Тетяна ЛУКАШОВА

Сумський державний педагогічний університет
імені А.С. Макаренка, Україна
tanya.lukashova2015@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1465-9530>

Марина ДРУШЛЯК ✉

Сумський державний педагогічний університет
імені А.С. Макаренка, Україна
marydru@fizmatsspu.sumy.ua
<https://orcid.org/0000-0002-9648-2248>

Юрій ХВОРОСТИНА

Сумський державний педагогічний університет
імені А.С. Макаренка, Україна
khvorostina13@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8354-944X>

KNOWLEDGE FOUNDATION IN THE SYSTEM OF PROFESSIONAL TRAINING OF PRE-SERVICE MATHEMATICS TEACHERS IN STUDYING THE MATHEMATICAL INDUCTION METHOD

Tetiana LUKASHOVA

Sumy State Pedagogical University
named after A. S. Makarenko, Ukraine
tanya.lukashova2015@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1465-9530>

Marina DRUSHLYAK ✉

Sumy State Pedagogical University
named after A. S. Makarenko, Ukraine
marydru@fizmatsspu.sumy.ua
<https://orcid.org/0000-0002-9648-2248>

Yurii KHVOROSTINA

Sumy State Pedagogical University
named after A. S. Makarenko, Ukraine
khvorostina13@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8354-944X>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. Одним з основоположних дидактичних принципів в системі професійної підготовки майбутніх учителів математики є принцип фундаментування, який передбачає нелінійний характер накопичення математичних знань та створення умов для поетапного поглиблення та розширення шкільних знань у напрямі професіоналізації та формування цілісної системи наукових та методичних знань. Вивчення основних змістових ліній різних математичних курсів у підготовці вчителів математики має спіралеподібний характер та ґрунтується на відповідних базових поняттях та методах, які вивчаються у шкільному курсі математики.

Матеріали і методи. Для досягнення мети були використані методи теоретичного рівня наукового пізнання: аналіз наукової літератури, синтез, формалізація наукових джерел, опис, зіставлення, узагальнення власного досвіду. Для розгортання спіралі фундаментування знань використано освітні програми «Середня освіта (Математика. Інформатика)» першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка.

Результати. Описано рівні фундаментування знань. На першому рівні фундаментування студенти розглядають класичну схему методу математичної індукції та знайомляться зі схемами методів узагальненої та узагальнено-поширеної індукції. На другому рівні фундаментування відбувається теоретичне узагальнення знань, отриманих на попередньому етапі, студенти активно використовують різні схеми методу математичної індукції як при доведенні математичних тверджень (теорем, властивостей), так і при розв'язуванні задач. На третьому рівні фундаментування метод індукції вивчається в контексті методичного обґрунтування та застосувань у шкільному курсі математики. Четвертий (прикладний) рівень фундаментування передбачає аналіз розвитку методу математичної індукції, його схем та модифікацій в історичному контексті, а також застосування методу математичної індукції та його модифікацій до розв'язування прикладних задач.

ABSTRACT

Formulation of the problem. One of the fundamental didactic principles in the system of professional training of pre-service mathematics teachers is the foundation principle, which provides for the non-linear nature of the accumulation of mathematical knowledge and the creation of conditions for the gradual deepening and expansion of school knowledge in the direction of professionalization and the formation of a complete system of scientific and methodical knowledge. The study of the main content lines of various mathematics courses in pedagogical institutions of higher education has a spiral character and is based on the relevant basic concepts and methods studied in the school mathematics course.

Materials and methods. To achieve the goal, methods of the theoretical level of scientific knowledge were used: analysis of scientific literature, synthesis, formalization of scientific sources, description, comparison, generalization of own experience.

Results. The unfolding of the spiral of knowledge foundation of students of mathematical specialties of pedagogical institutions of higher education is illustrated by the example of studying the mathematical induction method, based on the educational programs "Secondary education (Mathematics. Informatics)" of the first (bachelor's) and second (master's) levels of higher education of Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko. At the first foundation level, students consider the classical scheme of the mathematical induction method and get acquainted with the schemes of the methods of generalized and generalized-enhanced induction. At the second level of foundation, there is a theoretical generalization of the knowledge obtained at the previous stage, students actively use various schemes of the method of mathematical induction both when proving mathematical statements (theorems, properties) and when solving problems. At the third foundation level, the induction method is studied in the context of methodological reasoning and applications in the school mathematics course. The fourth (applied) level of foundation involves the analysis of the development of the method of mathematical induction, its schemes, and modifications in the historical context, as well as the application of the method of mathematical induction and its modifications to solving applied problems.

Для цитування:

Лукашова Т., Друшляк М., Хворостіна Ю. Фундування знань у системі професійної підготовки майбутніх учителів математики при вивченні методу математичної індукції. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 3. С. 29-35. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-3-004

Лукашова, Т., Друшляк, М., & Хворостіна, Ю. (2023). Фундування знань у системі професійної підготовки майбутніх учителів математики при вивченні методу математичної індукції. *Фізико-математична освіта*, 38(3), 29-35. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-004>

For citation:

Lukashova, T., Drushlyak, M., & Khvorostina, Yu. (2023). Knowledge foundation in the system of professional training of pre-service mathematics teachers in studying the mathematical induction method. *Physical and Mathematical Education*, 38(3), 29-35. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-004>

Lukashova, T., Drushlyak, M., & Khvorostina, Yu. (2023). Funduvannia znan u systemi profesiinoy pidgotovky maibutnih uchyteliv matematyky pry vyvchenni metody matematychnoy induktsii [Knowledge foundation in the system of professional training of pre-service mathematics teachers in studying the mathematical induction method]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(3), 29-35. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-004>

Висновки. Приклад впровадження принципу фундування при вивченні методу математичної індукції підтверджує важливість усвідомлення майбутніми вчителями математики важливості формування, накопичення та поглиблення знань не лише у контексті вивчення фундаментальних понять, а й математичних методів для професійної діяльності та розуміння міжпредметних зв'язків. Проектування навчальних дисциплін з урахуванням принципу фундування основних математичних понять та методів дає можливість студенту вибрати траєкторію своєї майбутньої діяльності – це не тільки робота за фахом, а й виконання фундаментальних та прикладних досліджень, експериментальних розробок під час навчання в аспірантурі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: фундування знань; спіраль фундування; майбутні вчителі математики; професійна підготовка майбутніх учителів математики; метод математичної індукції.

Conclusions. The example of the implementation of the principle of foundation when studying the method of mathematical induction confirms the importance of awareness by future teachers of mathematics of the importance of forming, accumulating, and deepening knowledge not only in the context of studying fundamental concepts but also mathematical methods for professional activity and understanding interdisciplinary connections. The design of educational disciplines taking into account the principle of the foundation of basic mathematical concepts and methods gives the student the opportunity to choose the trajectory of his future activity - this is not only working by profession but also the performance of fundamental and applied research, experimental development during graduate studies.

KEYWORDS: knowledge foundation; pre-service mathematics teachers; professional training of pre-service mathematics teachers; mathematical induction method.

ВСТУП

Постановка проблеми. Ефективна організація професійної підготовки майбутніх учителів математики вимагає реалізації низки важливих для математичної діяльності дидактичних принципів. Основоположну роль при цьому відіграють принципи цілісності, систематичності, наступності, активності та свідомості. Останнім часом, коли мова йде про фахову підготовку майбутніх вчителів математики, ці принципи доповнюють принципом фундування, який передбачає нелінійний характер накопичення математичних знань та створення умов для поетапного поглиблення та розширення шкільних знань у напрямі професіоналізації та формування цілісної системи наукових та методичних знань.

Вивчення основних змістових ліній різних математичних курсів в педагогічних закладах вищої освіти має спіралеподібний характер та ґрунтується на відповідних базових поняттях та методах, які вивчаються у шкільному курсі математики. При цьому відбувається повернення до вже вивчених об'єктів та методів, але на більш високому рівні узагальнення та абстракції, внаслідок чого елементи нового знання, базуючись на попередніх, утворюють новий виток у інтелектуальному розвитку й фаховій підготовці студента-математика. Найпростішим прикладом фундування є розвиток поняття вектора: спочатку в шкільному курсі математики поняття «вектор» має такий зміст – «напрявлений відрізок на площині або у просторі»; далі в курсах лінійної алгебри та аналітичної геометрії формується уявлення про вектор як впорядкований набір n чисел, згодом – як елемент лінійного простору (при цьому властивості векторів описуються вже аксіоматично – через систему аксіом лінійного простору), і, нарешті, – як окремий випадок більш загального поняття – тензора.

Незважаючи на активізацію наукових досліджень у цьому напрямку в останні роки, проблема фундування основних математичних понять і, особливо, методів у фаховій підготовці майбутніх вчителів математики вивчена недостатньо і потребує подальшої розробки.

Аналіз актуальних досліджень. Уперше ідея фундування знань була окреслена у роботах В. Д. Шадрікова та Є. І. Смірнова (2002). Зокрема, Є. І. Смірнов (2013) розглядає фундування знань як процес створення умов для поетапного поглиблення та розширення шкільних знань у напрямку професіоналізації та формування цілісної системи наукових та методичних знань, професійно-педагогічної діяльності. Принциповою відмінністю принципу фундування є визначення основи для спіралевидної схеми моделювання базових знань, умінь, навичок математичної підготовки учнів, їх системний та узагальнений характер.

М. М. Ковтонюк (2012) робить акцент на тому, що розвиток основних змістових ліній математичних дисциплін у педагогічних закладах вищої освіти спирається на вивчення основних понять шкільного курсу математики та логічно їх продовжує з наступним теоретичним узагальненням структурних одиниць, які розкривають цілісність, сутність, трансдисциплінарні зв'язки та спрямовані на інтелектуальний розвиток майбутніх вчителів математики.

О. А. Жерновнікова (2014) відзначає, що принцип фундування відіграє одну з провідних ролей у побудові цілісної дидактичної системи математичної освіти майбутнього вчителя математики. Зокрема, проектування прикладного модуля такої системи «визначається наступними завданнями: забезпечення мотивацією спіралей фундування блоку прикладних задач; конкретизація теоретичних знань, як практичного розуміння; обґрунтування практичного вміння по спіралі: вміння – навички; науковий ретроспективний погляд на шкільну математику; розв'язування прикладних задач природничих і суміжних наук; конкретизація як наочно-модельна ілюстрація теоретичних знань; конкретизація як методична функція теоретичного знання; конкретизація як дослідницька функція нового теоретичного знання; конкретизація теоретичних знань (понять, теорем, алгоритмів тощо), як чинник засвоєння».

Зауважимо, що автори вже зверталися до проблеми впровадження принципу фундування знань у систему професійної підготовки майбутніх учителів математики, зокрема, при вивченні функціональної змістової лінії (Лукашова & Друшляк, 2022) та узагальненні поняття похідної (Шищенко та ін., 2022).

Мета статті. Обґрунтувати необхідність впровадження (можливість реалізації) принципу фундування знань майбутніх учителів математики в систему їх професійної підготовки на прикладі побудови спіралі фундування при вивченні методу математичної індукції.

Мета статті: деталізувати особливості фундування знань майбутніх учителів математики при вивченні методу математичної індукції.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення мети були використані методи теоретичного рівня наукового пізнання: аналіз наукової літератури, синтез, формалізація наукових джерел, опис, зіставлення, узагальнення власного досвіду.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Згідно (Жерновникова, 2014; Ковтонюк, 2012) принцип фундування шкільних математичних елементів (математичних понять та методів) в процесі математичної підготовки студентів передбачає розгортання наступних компонентів:

- визначення змісту рівнів базового шкільного навчального елементу (знання, вміння, навички, математичні методи);
- визначення змісту рівнів та етапів (професійного, фундаментального і спеціального) розгортання базового університетського навчального елементу;
- визначення технології фундування (діагностується цілепокладання, наочне моделювання рівнів глобальної структури, локальної модельності, управління пізнавальною і творчою діяльністю студентів, блоки мотивації базових навчальних елементів);
- визначення методичної адекватності базових шкільних та університетських навчальних елементів на основі сучасних методологічних концепцій.

У Державних Стандартах шкільної математичної освіти визначено вісім змістових ліній шкільного курсу математики, на основі яких виділяються вихідні об'єкти фундування для подальшого їх вивчення, узагальнення і реалізації міждисциплінарних зв'язків у педагогічних ЗВО. При цьому кожна змістова лінія визначає базові поняття і методи, розподілені за оптимальним набором навчальних дисциплін, що включені до підготовки майбутніх учителів математики. Важливим є те, що всі базові шкільні знання включаються у перелік навчальних елементів підготовки студентів-математиків і переведення їх із бази даних (тобто, формального оперування у шкільному курсі математики) у базу предметних і професійних компетентностей майбутнього вчителя математики.

Для ілюстрації впровадження принципу фундування знань студентів математичних спеціальностей педагогічних ЗВО будемо використовувати загальну модель, запропоновану М. М. Ковтонюк (2012), на базі освітніх програм «Середня освіта (Математика. Інформатика)» першого (бакалаврського) (<https://cutt.ly/i71GBvtf>) та другого (магістерського) (<https://cutt.ly/U71G9jC>) рівнів вищої освіти Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка.

Віднесемо на перший – базовий рівень фундування навчальні дисципліни «Елементарна математика» (ОК_Б 20), «Аналітична геометрія» (ОК_Б 17), «Лінійна алгебра» (ОК_Б 11), «Математичний аналіз» (ОК_Б 13), які вивчаються переважно на першому та на другому курсах бакалаврату.

До другого рівня фундування, який визначає рівень теоретичного узагальнення (це, зазвичай, 3–7 семестри освітнього рівня «бакалавр»), віднесемо навчальні дисципліни – «Алгебра і теорія чисел» (ОК_Б 10), «Комплексний аналіз» (ОК_Б 15), «Дискретна математика» (вибіркова дисципліна – ВД), «Проективна геометрія та методи зображень» (ОК_Б 18), «Математична логіка і теорія алгоритмів» (ОК_Б 19), «Теорія ймовірностей і математична статистика» (ОК_Б 16), «Диференціальні рівняння» (ОК_Б 14), «Диференціальна геометрія і топологія» (ВД), «Функціональний аналіз» (ВД), «Основи геометрії» (ВД), «Числові системи» (ОК_Б 12).

Третій рівень – рівень методичного обґрунтування та спеціалізації (це, в основному, 7-8 семестри освітнього рівня «бакалавр» та 1-3 семестри освітнього рівня «магістр»). Він включає різні практикуми розв'язування задач шкільного курсу математики, курси «Методика навчання математики» (ОК_Б 21, ОК_М 6), «Олімпіадна математика» (ОК_М 5), «Навчання математики з комп'ютерною підтримкою» (ВД), «Наукові основи шкільного курсу математики» (ВД), різноманітні вибіркові дисципліни з розв'язування задач підвищеної складності, педагогічні практики.

На четвертому, прикладному, рівні (це 7-8 семестри освітнього рівня «бакалавр» та 1-2 семестри освітнього рівня «магістр») вивчається моделювання реальних процесів, в тому числі, освітніх, математичними методами. До цього рівня відносяться курси «Історія математики» (ВД), «Теорія ігор» (ВД), різні вибіркові курси прикладного характеру, комп'ютерне моделювання в математиці тощо.

Проілюструємо розгортання спіралі фундування на прикладі вивчення методу математичної індукції.

Як відомо, загальні висновки, отримані на підставі вивчення окремих випадків, називають індуктивними, а сам метод таких міркувань – індуктивним методом або індукцією. Індуктивні міркування досить поширені як у математиці, так і в інших науках. При цьому виділяють кілька методів, що ґрунтуються на індукції. Метод міркувань, при якому загальний висновок робиться на основі дослідження усіх можливих випадків, називається повною індукцією. Цей метод використовується, якщо число випадків скінченне і порівняно невелике (його ще називають методом повного перебору).

При доведенні математичних тверджень часто виникає ситуація, коли кількість випадків нескінченна, а само твердження залежить від натурального числа n . У цьому разі застосовується один із спеціальних методів доведення математичних тверджень – *метод математичної індукції*, який ґрунтується на *принципі математичної індукції*: якщо твердження $T(n)$, що залежить від натурального числа n , істинне для $n = 1$ (або для $n = n_0$, де $n_0 \in \mathbb{N}$), та з припущення про те, що воно істинне при $n = k$ випливає його істинність для натурального числа $n = k + 1$, то це твердження істинне при всіх натуральних значеннях n (при всіх натуральних $n \geq n_0$).

Принцип математичної індукції спирається так звану на аксіому індукції – одну з аксіом арифметики натуральних чисел (аксіом Пеано), яка є ключовою при доведенні асоціативності та комутативності додавання і множення, розподільного закону множення відносно додавання натуральних чисел та впорядкованості множини натуральних чисел.

Практичне використання принципу математичної індукції здійснюється за наступною схемою:

- 1) перевіряють істинність твердження $T(n)$ при $n = 1$ (відповідно, при $n = n_0 \geq 1$);
- 2) припускають, що воно істинне для всіх натуральних $n = k \geq 1$ ($n = k \geq n_0$) і на основі цього доводять, що твердження є істинним для $n = k + 1$;

- 3) роблять висновок, що твердження $T(n)$ є істинним для всіх натуральних n (відповідно, для всіх $n \geq n_0$).

Іноді цей метод називають *методом повної математичної індукції* (Нікулін&Кукуш, 1999). Метод математичної індукції є строгим дедуктивним методом доведення (тобто, спирається на аксіомати і раніше встановлені твердження) і лише на першому кроці, що називається базою індукції, включає в себе елемент індукції – перевірку істинності твердження для найменшого допустимого значення n_0 .

Окрім наведеної вище схеми методу математичної індукції використовуються й інші, еквівалентні їй форми. Одна з них полягає у виконанні наступних кроків:

1) перевіряють істинність твердження $T(n)$ при $n = 1$ (відповідно, при $n = n_0 \geq 1$);

2) припускають, що воно істинне для всіх натуральних $k < n$ (відповідно, $n_0 \leq k < n$) і на основі цього доводять, що твердження є істинним для $n = k$;

3) роблять висновок про істинність твердження $T(n)$ для всіх натуральних n (відповідно, для всіх $n \geq n_0$).

Останню схему іноді називають методом посиленої (відповідно, посилено-узагальненої) математичної індукції.

Зазначимо, що раніше метод математичної індукції вивчався в закладах загальної середньої освіти у курсі «Алгебра і початки аналізу» (Колмогоров та ін., 1979), проте згодом був вилучений із шкільної програми з математики і зараз розглядається лише у класах з поглибленим вивченням математики (Мерзляк, Полонський&Якір, 2021).

Виділимо основні дисципліни, а також відповідні компоненти (компетенції, уміння, знання), які формуються у студентів в ході вивчення методу математичної індукції на кожному з вказаних вище рівнях ґрунтування знань.

На **першому рівні** студенти розглядають класичну схему методу математичної індукції та знайомляться зі схемами методів узагальненої та узагальнено-посиленої індукції. Наприклад, в курсі «Елементарна математика» розглядаються основні типи задач на використання методу математичної індукції – це задачі на доведення подільності, тотожностей та нерівностей, в яких умова задачі залежить від натурального параметра n . У курсі «Математичний аналіз» методом математичної індукції доводяться деякі тотожності, наприклад, формула бінома, розв'язуються деякі приклади з теорії границь та теорії рядів. У курсі «Лінійна алгебра» математична індукція використовується як метод доведення цілої низки теорем та задач у теорії матриць та визначників, теорії n -вимірних лінійних просторів.

На **другому рівні** ґрунтування відбувається теоретичне узагальнення знань, отриманих на попередньому етапі. Студенти активно використовують різні схеми методу математичної індукції як при доведенні математичних тверджень (теорем, властивостей), так і при розв'язуванні задач. Наприклад, цей метод широко застосовується в курсі «Алгебра та теорія чисел» при доведенні низки теорем теорії чисел (наприклад, теорема про зображення натурального числа у різних системах числення, теорема про ділення з остачею) та теорії многочленів (теорема про ділення з остачею – індукція виконується по степеню многочлена) і є обов'язковим для доведення подільності, в якій фігурує натуральний параметр n . Різні схеми математичної індукції можна застосовувати для аналізу тверджень, які залежать від кількох натуральних параметрів. Тоді їх застосовують спочатку по одній змінній, а потім по другій (вважаючи при цьому іншу змінну фіксованою).

Метод математичної індукції є гарним інструментом обґрунтування тверджень, які вивчаються в курсі «Дискретна математика». Цей метод активно використовується при доведенні низки тверджень теорії множин; при вивченні комбінаторних сполук, послідовностей, заданих рекурентно (з метою виключення рекурсії) та рекурентних співвідношень, біноміальної та поліноміальної теорем, вивченні властивостей чисел Фібоначчі, в теорії графів, в яких умова включає натуральний параметр n . Слід зазначити, що в теорії графів індуктивні міркування є природними і проводяться або за числом вершин, або числом ребер графа (зокрема, це теорема про кількість ребер дерева, найменше число ребер зв'язного n -вершинного графа тощо).

При вивченні рекурентних співвідношень і встановленні властивостей членів послідовностей, заданих рекурентно, використовується ще одна модифікація методу математичної індукції, в якій база індукції складається з перевірки k тверджень, а висновок про істинність $(n + k)$ -го твердження $T(n + k)$ робиться на основі істинності k попередніх тверджень $T(n), T(n + 1), \dots, T(n + k - 1)$.

Ще одне важливе узагальнення методу математичної індукції, яке розглядається в курсах «Дискретної математики» та «Функціонального аналізу» при вивченні потужності множин – це *трансфінітна індукція*, яка працює за тією ж схемою, що й метод математичної індукції, але для кардинальних чисел.

На другому рівні ґрунтування в рамках курсу «Числові системи» студенти розглядають аксіоматичну теорію натуральних чисел (на базі системи аксіом Пеано). Одна з аксіом Пеано – аксіома індукції – еквівалентна принципу математичної індукції, який закладено в основу методу математичної індукції. Саме при вивченні курсу «Числові системи» студенти усвідомлюють ту роль, яку відіграє аксіома індукції у побудові системи натуральних чисел.

На цьому етапі викладачі фундаментальних математичних курсів мають чітко розуміти і доводити до студентів те, «як пов'язуються питання навчальної дисципліни з курсом математики середньої школи, розкривати, навіщо вивчається те чи інше питання, як воно пов'язане з майбутньою діяльністю вчителя математики, ... співставляти ... шкільний і вузівський варіанти викладу того чи іншого розділу, введення того чи іншого поняття. Це дозволить студенту подивитися іншими очима на навчальну дисципліну, оскільки кожний математичний курс буде здійснювати свій внесок у справу оволодіння майбутнім учителем своєю професією якщо не на рівних з методикою навчання математики, то принаймні у співрозмірних частинах» (Ковтонюк, 2012).

На **третьому рівні** ґрунтування метод математичної індукції вивчається в контексті методичного обґрунтування та застосувань у шкільному курсі математики. Із загально-методичних позицій він розглядається в курсі «Методика навчання математики», «Олімпіадна математика», різних вибіркових дисциплін з розв'язування задач шкільного курсу математики та задач підвищеної складності. При цьому акцент робиться на методичний аналіз використання даного методу, можливі помилки учнів при його застосуванні, розв'язуванні завдань із використанням методу математичної індукції в шкільному курсі математики.

Досить широкий спектр можливостей вивчення методу математичної індукції та його модифікацій дають спецкурси, пов'язані з розв'язуванням олімпіадних задач. Окрім наведених вище схем методу математичної індукції, в рамках таких спецкурсів корисно розглянути так звану зворотну індукцію, або «індукцію вниз». У такому випадку індуктивний крок полягає у доведенні істинності твердження $T(n - 1)$ за припущення, що істинним є твердження $T(n)$. Процедура такого доведення аналогічна застосування індуктивного переходу від $T(n)$ до $T(n + 1)$, а сам метод застосовується до доведення того, що твердження не має місця при жодному натуральному n . Справді, якщо припустити, що твердження $T(n)$ істинне при деякому $n_0 \geq 2$, послідовно одержуємо, що воно правильне й для усіх $n \leq n_0$. Якщо при

цьому виявиться, що твердження $T(1)$ хибне, приходимо до протиріччя. Отже, твердження $T(n)$ хибне для всіх натуральних n .

На спецкурсах по розв'язуванню задач підвищеної складності та олімпіадних задач корисно розглянути ще одну модифікацію методу математичної індукції, відому як *метод Малікова* (Кукуш, 2008). Цей метод дозволяє спростити міркування на етапі індуктивного переходу. Наведемо застосування цього методу для доведення подільності, тотожностей та нерівностей. При цьому для кожного із вказаних типів задач буде використовуватись відповідний алгоритм.

Метод Малікова для доведення подільності

Нехай $a_n \in \mathbb{Z}, n \in N_0 = N \cup \{0\}$, $m \in N$ і виконуються умови:

1. $a_k : m$
 2. $(a_{n+1} - a_n) : m$ при $n \geq k$.
- Тоді $a_n : m$ при всіх $n \geq k$.

Справді, за першою умовою $a_k = mt, t \in \mathbb{Z}$. З умови 2 маємо $(a_{n+1} - a_n) : m$ для всіх $n \geq k$. Надаючи n значень від k до $n-1$, дістанемо: $(a_{k+1} - a_k) : m, (a_{k+2} - a_{k+1}) : m, \dots, (a_n - a_{n-1}) : m$. Тобто, існують цілі числа $t_1, \dots, t_{n-k}$, що

$$a_{k+1} - a_k = mt_1, a_{k+2} - a_{k+1} = mt_2, \dots, a_n - a_{n-1} = mt_{n-k}.$$

Додаючи отримані рівності, одержимо: $a_n - a_k = m(t_1 + t_2 + \dots + t_{n-k}) = ml$, де $l \in \mathbb{Z}$. Отже, $a_n = a_k + ml = m(t + l)$, і $a_n : m$ при всіх $n \geq k$.

Проілюструємо наведений метод на прикладах.

Приклад 1. Довести, що $(10^n - 9n - 1) : 81$ для всіх $n \in N$.

Нехай $a_n = 10^n - 9n - 1$.

1. $a_1 = 10^1 - 9 - 1 = 0 : 81$.
2. $a_{n+1} - a_n = 10^{n+1} - 9(n+1) - 1 - (10^n - 9n - 1) = 9 \cdot (10^n - 1) = 9 \cdot \underbrace{99 \dots 9}_n : 81$.

Отже, $a_n = (10^n - 9n - 1) : 81$ для всіх $n \in N$.

Приклад 2. Довести, що для всіх $n \in N_0$ виконується $((k^2 + 1)^n - k^2n - 1) : k^4$, де $k \in N, k \geq 2$.

Покладемо $a_n = (k^2 + 1)^n - k^2n - 1$.

1. $a_0 = (k^2 + 1)^0 - 1 = 0 : k^4$.
 2. $a_{n+1} - a_n = (k^2 + 1)^{n+1} - k^2(n+1) - 1 - ((k^2 + 1)^n - k^2n - 1) = k^2((k^2 + 1)^n - 1) = k^2((k^2 + 1) - 1)((k^2 + 1)^{n-1} + (k^2 + 1)^{n-2} + \dots + 1) = k^4((k^2 + 1)^{n-1} + (k^2 + 1)^{n-2} + \dots + 1) : k^4$.
- Отже, $a_n = ((k^2 + 1)^n - k^2n - 1) : k^4$ для всіх $n \in N_0$.

Метод Малікова для доведення тотожностей буде спиратися на наступні два алгоритми.

Алгоритм 1. Нехай $n \in N_0$ і виконуються умови

1. $a_k = b_k$ для $k \geq 0$
 2. $a_{n+1} - a_n = b_{n+1} - b_n$ при $n \geq k$.
- Тоді $a_n = b_n$ для всіх $n \geq k$.

Алгоритм 2. Нехай $n \in N_0$ і виконуються умови

1. $a_k = b_k$ для $k \geq 0$
 2. $\frac{a_{n+1}}{a_n} = \frac{b_{n+1}}{b_n}$ при $n \geq k$
- Тоді $a_n = b_n$ для всіх $n \geq k$.

Слід зазначити, що аналогічні міркування можна застосувати й для доведення нерівностей (достатньо замінити знак рівності знаком потрібної нерівності, а в алгоритмі 2 додатково вимагати, щоб a_n та b_n набували лише додатних значень).

Метод Малікова для доведення нерівностей

Алгоритм 1. Нехай $n \in N_0$ і виконуються умови

1. $a_k > b_k$ для $k \geq 0$
 2. $a_{n+1} - a_n > b_{n+1} - b_n$ при $n \geq k$.
- Тоді $a_n > b_n$ для всіх $n \geq k$.

Алгоритм 2. Нехай $n \in N_0$ усі члени послідовностей a_n та b_n додатні й виконуються умови

1. $a_k > b_k$ для $k \geq 0$
 2. $\frac{a_{n+1}}{a_n} > \frac{b_{n+1}}{b_n}$ при $n \geq k$
- Тоді $a_n > b_n$ для всіх $n \geq k$.

Проілюструємо наведені вище методи на прикладі.

Приклад 3. Довести, що $\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \dots \cdot \frac{2n-1}{2n} \leq \frac{1}{\sqrt{3n+1}}$ для всіх $n \in N$.

Нехай $a_n = \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \dots \cdot \frac{2n-1}{2n}$, $b_n = \frac{1}{\sqrt{3n+1}}$. Застосуємо алгоритм 2 для доведення нерівностей.

1. $a_1 = \frac{1}{2}, b_1 = \frac{1}{\sqrt{4}} = \frac{1}{2}, a_1 \leq b_1$.
2. $\frac{a_{n+1}}{a_n} = \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \dots \cdot \frac{2n+1}{2n+2} : (\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \dots \cdot \frac{2n-1}{2n}) = \frac{2n+1}{2n+2}, \frac{b_{n+1}}{b_n} = \frac{1}{\sqrt{3n+4}} : \frac{1}{\sqrt{3n+1}} = \frac{\sqrt{3n+1}}{\sqrt{3n+4}}$

Перевіримо виконання умови: $\frac{a_{n+1}}{a_n} \leq \frac{b_{n+1}}{b_n}$. Маємо

$$\frac{2n+1}{2n+2} \leq \frac{\sqrt{3n+1}}{\sqrt{3n+4}} \Leftrightarrow \frac{4n^2+4n+1}{4n^2+8n+4} \leq \frac{3n+1}{3n+4} \Leftrightarrow 1 - \frac{4n+3}{4n^2+8n+4} \leq 1 - \frac{3}{3n+4} \Leftrightarrow \frac{4n+3}{4n^2+8n+4} \geq \frac{3}{3n+4} \Leftrightarrow (4n+3)(3n+4) \geq 3(4n^2+8n+4) \Leftrightarrow n \geq 0.$$

Тобто, нерівність виконується для всіх $n \in N$. Отже, $a_n \leq b_n$ для всіх натуральних n .

Широкі застосування відкриваються для застосування методу математичної індукції при розв'язуванні деяких задач планіметрії (особливо, якщо мова йде про правильні n -кутники та їх елементи). Найвідомішим прикладом такої задачі є задача про суму внутрішніх кутів опуклого n -кутника. З іншого боку, можна навести цілу низку геометричних задач,

де метод математичної індукції потрібно «побачити» і ці задачі мають яскраво виражений пошуковий характер. Наведемо кілька прикладів таких задач (Скрипченко, 2011; Вишенський та ін., 1993).

1. Довести, що правильний трикутник можна розрізати на n правильних трикутників для будь-якого $n \geq 6$.
2. Знайти найбільшу кількість замкнених парканів, які не перетинаються в місті з n будинками (паркан може відгороджувати один чи декілька будинків, а також вже відгородженні ділянки; на території між будь-якими двома парканами повинен знаходитися хоча б один будинок).
3. Дано n довільних квадратів. Доведіть, що їх можна розрізати на частини так, що із одержаних частин можна було б скласти один великий квадрат.
4. Вивести формули для обчислення радіусів r_n і R_n вписаного і описаного кіл навколо правильного 2^n -кутника, який має заданий периметр P .

Розглянемо **четвертий рівень (прикладний)** фундування. На цьому рівні, перш за все, корисно прослідкувати розвиток методу математичної індукції, його схем та модифікацій, з історичної точки зору й розглянути відповідний матеріал в курсі «Історія математики».

Окрім історичного аспекту, відзначимо, що застосування методу математичної індукції можливе у цілому ряді соціально-гуманітарних та природничих дисциплін (наприклад, для доведення емпіричних формул, які отримані в ході експерименту та залежать від деякого натурального параметра).

Зазначимо також, що деякі модифікації методу математичної індукції, зокрема, зворотна індукція, широко використовуються у теорії інформатії, теорії ігор, економічній теорії прийняття рішень, теорії шахів тощо. Зворотну індукцію або індукцію назад вперше застосував Артур Кейлі ще у 1875 році для розв'язування задачі про перебірливу наречену. Окрім того, цей метод було використано Джоном фон Нейманом та Оскаром Морґенштерном для пошуку розв'язку гри з нульовою сумою і двома гравцями (Neumann & Morgenstern, 1953). У теорії динамічного програмування індукція назад є одним із ключових методів розв'язання рівняння Беллмана (Adda & Cooper, 2003). В теорії ігор зворотна індукція використовується для обчислення досконалої рівноваги підігор (Watson, 2002). В теорії автоматизованого планування та диспетчеризації цей метод називається пошуком назад або зворотним виводом (Miranda & Fackler, 2002); в теорії шахів він відомий як ретроспективний аналіз.

На цьому етапі варто відмітити ще одне узагальнення методу математичної індукції – *структурну індукцію* – конструктивний метод математичного доведення, який застосовується для довільних рекурсивно означених частково впорядкованих множин. Спочатку цей метод використовувався в математичній логіці, теорії графів, комбінаториці, загальній алгебрі, математичній лінгвістиці, але найбільшого поширення як окремих метод доведення набув у теоретичній інформатиці, де застосовується в питаннях семантики мов програмування, формальної верифікації, обчислювальної складності, функційного програмування (Steffen et al., 2018; Łoś, 1955).

Відповідно, спіраль фундування при вивченні методу математичної індукції в системі професійної підготовки майбутніх учителів математики може виглядати наступним чином (рис.1).

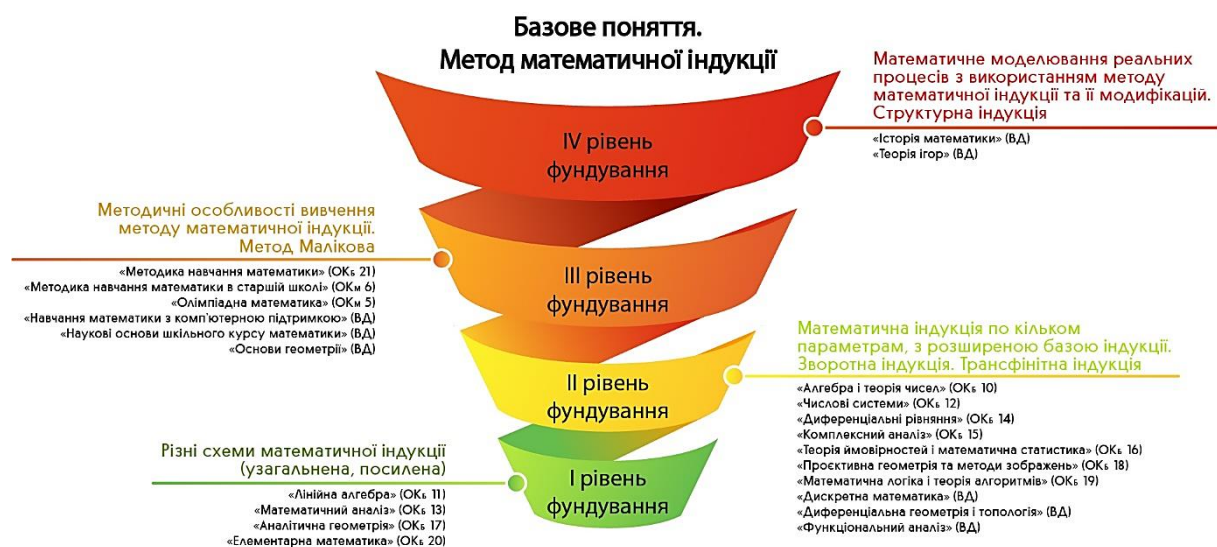


Рис. 1. Спіраль фундування методу математичної індукції у системі підготовки майбутніх учителів математики

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

У багатьох випадках конкретний математичний матеріал, що вивчається майбутніми вчителями математики, не вибудовується в єдину систему знань; їх знання складаються із слабо пов'язаних між собою догматично засвоєних елементів, причому вони не в змозі самостійно їх структурувати та осмислити.

З іншого боку, випускники педагогічних ЗВО, майбутні вчителі математики, окрім роботи за фахом, мають бути підготовлені до виконання фундаментальних та прикладних досліджень, експериментальних розробок. Проектування навчальних дисциплін з урахуванням принципу фундування основних математичних понять та методів дає можливість студенту вибирати траєкторію своєї майбутньої діяльності. Тому врахування принципу фундування є важливою умовою забезпечення належної якості фундаментальної математичної підготовки студентів педагогічних ЗВО, прогнозування досягнень випускників бакалаврату та магістратури і можливості продовжити навчання в аспірантурі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Adda, J., & Cooper, R., (2003). *Dynamic Economics: Quantitative Methods and Applications*. MIT Press.
- Łoś, J. (1955). Quelques remarques, théorèmes et problèmes sur les classes définissables d'algèbres. *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*, 16, 98-113. [https://doi.org/10.1016/S0049-237X\(09\)70306-4](https://doi.org/10.1016/S0049-237X(09)70306-4).
- Miranda, M., & Fackler, P. (2002). *Applied Computational Economics and Finance*. MIT Press.
- Neumann, J., & Morgenstern, O. (1953). *Theory of Games and Economic Behavior*.
- Rust, J. (2016). *Dynamic Programming*. *The New Palgrave Dictionary of Economics*: Palgrave Macmillan.
- Steffen, B., Rüthing, O., & Huth, M. (2018). *Mathematical Foundations of Advanced Informatics*. Springer.
- Watson, J. (2002). *Strategy: an introduction to game theory*. New York: W.W. Norton & Company, 186-187.
- Вишенський, В.А., Ганюшкін, О.Г., Карташов, М.В., Михайловський, В.І., Призва, Г.Й., & Ядренко, М.Й. (1993). *Українські математичні олімпіади: довідник*. К.: Вища школа.
- Жерновникова, О.А. (2014). Модель дидактичної системи математичної освіти студентів педагогічних ВНЗ. *Міжнародний науковий журнал Науковий огляд*, 2 (1), 29-36.
- Ковтонюк, М.М. (2012). Застосування принципу фундування у процесі вивчення математичних дисциплін. *Педагогічні науки*, 61, 250-256.
- Колмогоров, А.М., Вейц, Б.Ю., Демидов, І.Т., Івашов-Мусатов, О.С., & Шварцбург, С.І. (1979). *Алгебра і початки аналізу: навчальний посібник для учнів 9 класу середньої школи*. К.: Радянська школа.
- Кукш, Р.П. (2008). *Математичні етюди*. Х.: Основа.
- Лукашова, Т., & Друшляк М. (2022). Впровадження концепції фундування знань в професійну підготовку майбутніх учителів математики. *Освіта. Інноватика. Практика*, 10, 4, 15-19. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol10i4-002>.
- Мерзляк, А.Г., Полонський, В.Б., & Якір, М.С. (2021). *Алгебра: підручник для 9 класу з поглибленим вивченням математики закладів загальної середньої освіти*. Харків: Гімназія.
- Нікулін, О.В., & Кукш, О.Г. (1999). *Геометрія: Поглибл. курс: 7-9 кл.: навч. посібник*. К.: Ірпін: ВТФ «Перун».
- Скрипченко, Ю.А. (2011). Метод математической индукции в геометрии. *Дидактика в математике: проблемы и исследования*, 35, 131-136.
- Смирнов, Е. (2013). Фундирование как методология и инновационный механизм профессионального становления педагога. *Международный интернет-симпозиум SWorld "Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте". Педагогика, психология и социология*, 5-17.
- Шищенко, І., Лукашова, Т., & Страх, О. (2022). Фундування знань у процесі вивчення математичних понять засобами цифрових технологій у фаховій підготовці майбутніх учителів математики. *Фізико-математична освіта*, 32(6), 57-63. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-032-6-009>.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- Adda, J., & Cooper, R., (2003). *Dynamic Economics: Quantitative Methods and Applications*. MIT Press.
- Łoś, J. (1955). Quelques remarques, théorèmes et problèmes sur les classes définissables d'algèbres. *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*, 16, 98-113. [https://doi.org/10.1016/S0049-237X\(09\)70306-4](https://doi.org/10.1016/S0049-237X(09)70306-4).
- Miranda, M., & Fackler, P. (2002). *Applied Computational Economics and Finance*. MIT Press.
- Neumann, J., & Morgenstern, O. (1953). *Theory of Games and Economic Behavior*.
- Rust, J. (2016). *Dynamic Programming*. *The New Palgrave Dictionary of Economics*: Palgrave Macmillan.
- Steffen, B., Rüthing, O., & Huth, M. (2018). *Mathematical Foundations of Advanced Informatics*. Springer.
- Watson, J. (2002). *Strategy: an introduction to game theory*. New York: W.W. Norton & Company, 186-187.
- Vyshenskyi, V.A., Haniushkin, O.H., Kartashov, M.V., Mykhailovskiy, V.I., Pryzva, H.I., & Yadrenko, M.I. (1993). *Ukrainski matematychni olimpiady: dovidnyk* [Ukrainian mathematical Olympiads: a guide]. K.: Vyshcha shkola. (in Ukrainian).
- Zhernovnykova, O.A. (2014). Model dydaktychnoi systemy matematychnoi osvity studentiv pedahohichnykh VNZ [Model didactic system of mathematical education of students of pedagogical universities]. *Naukovyi ohliad – Scientific Review*, 2 (1), 29-36. (in Ukrainian).
- Kovtoniuk, M.M. (2012). Zastosuvannya pryntsyphu funduvannya u protsesi vyvchennia matematychnykh dysyplin [Application of the foundation principle in the process of studying mathematical disciplines]. *Pedahohichni nauky – Pedagogical sciences*, 61. 250-256. (in Ukrainian).
- Kolmogorov, A.M., Veits, B.Iu., Demydov, I.T., Ivashov-Musatov, O.S., & Shvartsburd, S.I. (1979). *Algebra i pochatky analizu: navchalnyi posibnyk dlia uchniv 9 klasu serednoi shkoly* [Algebra and the beginnings of analysis: a study guide for students of the 9th grade of secondary school]. K.: Riadianska shkola. (in Ukrainian).
- Kukush, R.P. (2008). *Matematychni etyudy* [Mathematical sketches]. Kh.: Osнова. (in Ukrainian).
- Lukashova, T., & Drushliak M. (2022). Vprovadzhennia kontseptsii funduvannya znan v profesiinu pidhotovku maibutnih uchyteliv matematyky [Implementation of the concept of foundation of knowledge in the professional training of future teachers of mathematics]. *Osvita. Innovatyka. Praktyka – Education. Innovation. Practice*, 10, 4, 15-19. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol10i4-002>. (in Ukrainian).
- Merzliak, A.H., Polonskyi, V.B., & Yakir, M.S. (2021). *Algebra: pidruchnyk dlia 9 klasu z pohlyblenym vyvchenniam matematyky zakladiv zahalnoi serednoi osvity* [Algebra: a textbook for the 9th grade with an in-depth study of mathematics in institutions of general secondary education]. Kharkiv: Himnaziia. (in Ukrainian).
- Nikulyn, O.V., & Kukush, O.H. (1999). *Heometriia: Pohlybl. kurs: 7-9 kl.: navch. Posibnyk* [Geometry: Advanced course: 7-9 grades: education manual]. K.: Irpin: VTF «Perun». (in Ukrainian).
- Skripchenko, Ju.A. (2011). Metod matematicheskoy induktsii v geometrii [The method of mathematical induction in geometry]. *Didaktika v matematice: problemy i doslidzhennja – Didactics in mathematics: problems and research*, 35, 131-136. (in Ukrainian).
- Smirnov, E. (2013). Fundirovanie kak metodologija i innovacionnyj mehanizm professional'nogo stanovlenija pedagoga [Funding as a methodology and an innovative mechanism for the professional development of a teacher]. In *Mezhdunarodnyj internet-simpozium SWorld "Perspektivnye innovacii v nauke, obrazovanii, proizvodstve i transporte". Pedagogika, psihologija i sociologija*, 5-17. (in Ukrainian).
- Shyshenko, I., Lukashova, T., & Strakh, O. (2022). Funduvannya znan u protsesi vyvchennia matematychnykh poniat zasobamy tsyfrovych tekhnolohii u fakhovii pidhotovtsi maibutnih uchyteliv matematyky [Foundation of knowledge in the process of studying mathematical concepts by means of digital technologies in professional training of future teachers of mathematics]. *Fiziko-matematychna osvita – Physical and mathematical education*, 32(6), 57-63. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-032-6-009>. (in Ukrainian).



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 10.31110/2413-1571-2023-038-3-005

УДК 37:372.8

МОДЕЛЬ ВИКОРИСТАННЯ ХМАРО ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ ВІДКРИТОЇ НАУКИ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ І ПРОФЕСІЙНОГО РОЗВИТКУ ВЧИТЕЛІВ (ДОСЛІДНИЦЬКИЙ АСПЕКТ)

Лілія ЛУПАРЕНКО ✉

Інститут цифровізації освіти НАПН України, Україна
 lisoln1@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-4500-3155>

Майя МАР'ЄНКО

Інститут цифровізації освіти НАПН України, Україна
 popelmaya@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-8087-962X>

Марія ШИШКІНА

Інститут цифровізації освіти НАПН України, Україна
 marimodi@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0001-5569-2700>

A MODEL OF THE USE OF CLOUD-ORIENTED OPEN SCIENCE SYSTEMS IN THE PROCESS OF EDUCATION AND PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF TEACHERS (RESEARCH ASPECT)

Liliia LUPARENKO ✉

The Institute for Digitalisation of Education of NAES of Ukraine, Ukraine
 lisoln1@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-4500-3155>

Maiia MARIENKO

The Institute for Digitalisation of Education of NAES of Ukraine, Ukraine
 popelmaya@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-8087-962X>

Mariya SHYSHKINA

The Institute for Digitalisation of Education of NAES of Ukraine, Ukraine
 marimodi@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0001-5569-2700>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. Хмаро орієнтовані системи відкритої науки зорієнтовані в першу чергу на використання наявного інструментарію науковцями, хоча їх можна розглядати як засіб навчання в науковому ліцеї. Вже існують численні дослідження з використання хмаро орієнтованих систем у процесі навчання. Але поява наукових ліцеїв призводить до необхідності розробки моделі використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку.

Матеріали і методи. Мета досягається завдяки використанню теоретичних методів дослідження: порівняльний та системний аналіз наукових джерел з педагогіки, психології та інформаційних технологій для аналізу дослідженості проблеми побудови моделі використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів; аналіз наявних підходів до побудови педагогічних умов використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів.

Результати. Метою використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки визначено підвищення рівня ефективності проведення наукових досліджень вчителями наукових ліцеїв. До складників моделі використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів (дослідницький аспект) віднесено: мету, методичний компонент, дослідницький, оцінювальний та результат. При цьому добір хмарних сервісів відкритої науки напряму залежить від поставлених завдань та узгоджується з етапами наукового дослідження. Дослідницький компонент напряму залежить від методичного, що містить наступну структуру: цільовий блок, змістовий, технологічний, діагностично-рефлексивний та результативний.

Висновки. Запропонований перелік хмарних сервісів відкритої науки, систем та ресурсів може бути використаний не лише в рамках підвищення кваліфікації вчителів, але й у навчальному процесі наукового ліцею для організації дослідницьких робіт ліцеїстів. Підґрунтям розроблення змісту навчання є компоненти цифрової компетентності вчителів наукових ліцеїв щодо використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі проведення наукових досліджень. У ході проведення занять рекомендовано застосувати методи організації навчально-пізнавальної діяльності.

ABSTRACT

Formulation of the problem. Cloud-oriented systems of open science are primarily focused on the use of existing tools by scientists, although they can be considered as a means of learning in a scientific lyceum. There are already numerous studies on the use of cloud-based systems in the learning process. But the emergence of scientific lyceums leads to the need to develop a model of using cloud-oriented systems of open science in the process of training and professional development.

Materials and methods. The goal is achieved thanks to the use of theoretical research methods: comparative and systematic analysis of scientific sources from pedagogy, psychology and information technologies to analyze the research of the problem of building a model of the use of cloud-oriented systems of open science in the process of training and professional development of teachers; analysis of existing approaches to the construction of pedagogical conditions for the use of cloud-oriented systems of open science in the process of training and professional development of teachers.

Results. The goal of using cloud-based systems of open science is to increase the level of efficiency of conducting scientific research by teachers of scientific lyceums. The components of the model of using cloud-oriented systems of open science in the process of teaching and professional development of teachers (research aspect) include: goal, methodical component, research, evaluation and result. At the same time, the selection of open science cloud services directly depends on the tasks and is consistent with the stages of scientific research. The research component of the direction depends on the methodical component, which contains the following structure: target block, substantive, technological, diagnostic-reflexive and effective.

Conclusions. The proposed list of cloud services of open science, systems and resources can be used not only in the framework of improving the qualifications of teachers, but also in the educational process of a scientific lyceum for the organization of research work of lyceum students. The basis for the development of the training content is the components of the digital competence of teachers of scientific lyceums regarding the use of cloud-oriented systems of open science in the process of conducting scientific research. In the course of classes, it is recommended to apply methods of organizing educational and cognitive activities.

Для цитування:

Лупаренко Л., Мар'єнко М., Шишкіна М. Модель використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів (дослідницький аспект). *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 3. С. 36-42. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-3-005
 Лупаренко, Л., Мар'єнко, М., & Шишкіна, М. (2023). Модель використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів (дослідницький аспект). *Фізико-математична освіта*, 38(3), 36-42. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-005>

For citation:

Luparenko, L., Marienko, M., & Shyshkina, M. (2023). A model of the use of cloud-oriented open science systems in the process of education and professional development of teachers (research aspect). *Physical and Mathematical Education*, 38(3), 36-42. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-005>
 Luparenko, L., Marienko, M., & Shyshkina, M. (2023). Model vykorystannia khmaro oriientovanykh system vidkrytoi nauky u protsesi navchannia i profesiinoho rozvytku vchyteliv (doslidnytskyi aspekt) [A model of the use of cloud-oriented open science systems in the process of education and professional development of teachers (research aspect)]. *Fiziko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(3), 36-42. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-005>

КЛЮЧОВІ СЛОВА: модель використання; використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки; відкрита наука; процес навчання вчителів; професійний розвиток вчителів.

KEYWORDS: usage model; use of cloud-oriented systems of open science; open science; teacher training process; professional development of teachers.

ВСТУП

Постановка проблеми. Науково-дослідна педагогічна діяльність є суттєвим складником практично усіх етапів освітнього процесу, де є необхідність запровадження сучасних інноваційних цифрових технологій, сервісів і підходів. Тому вивчення її структури і функцій, форм і рівнів організації, процесів та складників постає актуальним предметом підвищення кваліфікації не лише науково-педагогічних працівників, але й вчителів-практиків, а також працівників освіти багатьох ланок. Особливий інтерес викликає у цьому контексті питання діяльнісних аспектів організації педагогічного експерименту, що стосуються застосування сучасних засобів та технологій, зокрема сервісів відкритої науки, їх ролі і місця у здійсненні науково-дослідної діяльності, підходів до їх найбільш доцільного добору та використання.

Визначення та класифікація різних типів діяльності, що здійснюються в процесі наукового дослідження, а також відповідних їм форм мислення є однією із сфер застосування діяльнісного підходу. Науково-пізнавальну діяльність можна трактувати як послідовність когнітивних дій, які розуміють як дії з формами мислення, спрямованими на реалізацію певної функції або забезпечення відповідності. З цього погляду, систему педагогічного знання можна розуміти як взаємопов'язану послідовність різноманітних форм мислення. З цього погляду педагогічну теорію можна розглядати через призму закріплених у мисленні результатів науково-педагогічної діяльності. Тобто в даному контексті педагогічна теорія розглядається як одна із форм пізнавальної діяльності людини.

Для вчителів наукових ліцеїв переважає саме науково-дослідна педагогічна діяльність, адже специфіка наукових ліцеїв передбачає викладання предметів не лише на поглибленому рівні, а в першу чергу провадження науково-дослідної роботи серед ліцеїстів. Тому й методики викладання в науковому ліцеї мають базуватися на тому, як навчити ліцеїстів проводити власне дослідження та активно долучатися до вже існуючих, стаючи представником наукової спільноти. Хмаро орієнтовані системи відкритої науки зорієнтовані в першу чергу на використання наявного інструментарію науковцями, хоча їх можна розглядати як засіб навчання в науковому ліцеї. Вже існують численні дослідження з використання хмаро орієнтованих систем у процесі навчання. Але поява наукових ліцеїв призводить до необхідності розробки моделі використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів (до цього спонукають дослідження з приводу значного потенціалу хмаро орієнтованих систем для навчального процесу).

Аналіз актуальних досліджень. Згідно досліджень Р. Wittenburg (2021) одним з основних аспектів, що перешкоджають швидкому переходу наукових спільнот до практики відкритої науки є залежність від наявності глобальної інфраструктури, що сприяє інтегрованому та сумісному домену даних (одному домену даних). Відкрита наука потребує в залученні великих масивів даних, тому для її впровадження знадобиться більше часу. Оскільки передбачено, що модель використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів буде включати набір різноманітних хмарних сервісів відкритої науки (інструментарій), тож можна припустити, що її розробка сприятиме швидшому залученню українських науковців, викладачів та вчителів до відкритої науки.

Колектив науковців (Bogatencov et al., 2022) описав реалізацію та використання гетерогенної Multi-zone Cloud інфраструктури, яка інтегрує різні типи обчислювальних ресурсів. Показано необхідність розвитку комп'ютерних інфраструктур і сервісів, які орієнтовані на підтримку відкритої науки. Представлено підходи до розгортання складних хмарних інфраструктур, їх налаштування та адміністрування.

Дослідження М. Dilshad, В. Hussain та Н. Batoool (2019) мало на меті дослідити залученість викладачів університетів у заходи спрямовані на постійний професійний розвиток вчителів, усвідомлену важливість різних видів професійного розвитку, навички, на яких слід зосередити увагу в майбутньому навчанні, та бар'єри. Вчителі вважають комунікативні, управлінські та дослідницькі навички важливими для включення їх у програми підвищення кваліфікації. Щоб допомогти вчителям удосконалити свої академічні та дослідницькі навички, заклади вищої освіти повинні частіше планувати та організовувати практикуми та семінари.

Щоб задовольнити різноманітні професійні потреби вчителів, необхідно шукати нові економічно ефективні методи професійного розвитку, які виходять за межі тренінгів та підготують вчителів до підтримки навчальних і поведінкових потреб усіх учнів. Науковці J. Nelson, та Н. Bohanon (2019) пропонують включити стратегію Blue Ocean Shift для визначення альтернативних методів підвищення кваліфікації вчителів.

Згідно з одержаними результатами (Can, 2019), для усунення перешкод для професійного розвитку вчителів можна запропонувати: регулювання відбору, працевлаштування вчителів, просування освітньої політики та графіків, що підтримують професійний розвиток вчителів, сформувати систему планування кар'єри, що забезпечує можливості навчання протягом усього життя та управління кожною зміною в освіті як державної політики.

Результат проведеного дослідження (Nawab et al., 2021), полягає в тому, що моделі та характеристики професійного розвитку вчителів є відносними, і не існує єдиної моделі, яку можна застосувати в різних контекстах. Замість того, щоб обговорювати моделі та характеристики ефективного професійного розвитку, науковці та практики мають бути уважними до контексту та реальних потреб учителів у конкретному контексті.

У статті В. П. Олексюка та О. Р. Олексюк (Oleksiuk & Oleksiuk, 2020) описано модель використання та вивчення хмарних технологій у процесі підготовки майбутніх учителів інформатики. Запропоновано основні принципи цієї моделі: системність, поступовість, безперервність. Вона містить цільову, змістову, операційну та результативну складову. Структуру запропонованої моделі слід детально проаналізувати та використати наявний досвід у власному дослідженні.

Мета статті. Обґрунтувати модель використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів (дослідницький аспект).

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета досягається завдяки використанню теоретичних методів дослідження: порівняльний та системний аналіз наукових джерел з педагогіки, психології та інформаційних технологій для аналізу дослідженості проблеми побудови моделі використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів; аналіз наявних підходів до побудови педагогічних умов використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів. У дослідженні виконано наукову розвідку та аналітичний аналіз рівнів теоретичної та практичної реалізованості проблеми побудови моделі використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів.

Результати даної статті опубліковано в межах виконання завдань проєкту НФДУ "Хмаро орієнтовані системи відкритої науки у навчанні і професійному розвитку вчителів" (2020.02/0310). Авторки є виконавцями даного проєкту.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для того, щоб дослідити, змодельувати або навіть розробити технологію і процедуру реалізації науково-педагогічної діяльності певного типу, необхідно розглянути лінії з елементами знання. Тобто необхідно визначити, які типи когнітивних дій і в якій послідовності мають здійснюватися. Педагогічна технологія, процедура або алгоритм, якщо діяльність допускає алгоритмізацію в деяких аспектах, постають тими чи іншими конструктивними описами цієї діяльності.

Важливим елементом аналізу технології дослідження є визначення засобів реалізації цієї технології, які також потребують вивчення, систематизації і опису для того, щоб можна було здійснювати їх доцільний добір і застосування. Добір і систематизація засобів цифрових технологій, що можуть бути застосовані для підтримання здійснення різних етапів педагогічного дослідження, є окремим завданням у царині дослідження технологізації дослідницької діяльності. Це дасть можливість виявити послідовність дій з формами мислення, а також здійснити добір засобів цифрових технологій, що найбільш доцільно використати на кожному етапі дослідження. Але, для надання методичних рекомендацій щодо використання цифрових технологій, найбільш придатних для підтримання науково-педагогічного експерименту, доцільно охарактеризувати ті з засобів, що нині знайшли використання і поширення у практиці досліджень і класифікувати їх згідно етапів експерименту (Marienko & Shyshkina, 2023).

У складі науково-педагогічного дослідження зазвичай виокремлюють такі етапи: підготовчий; дослідницький; інтерпретації та аналізу результатів; впровадження (Marienko & Shyshkina, 2023). Детальний опис засобів цифрових технологій та їх приблизний перелік, необхідний для підтримання процесів реалізації етапів експерименту, також наведено у (Marienko & Shyshkina, 2023).

На підготовчому етапі цифрові технології доцільно застосовувати для підтримання низки типів діяльності:

- пошук та систематизація літературних джерел;
- складання науково-бібліографічного опису публікацій;
- пошук методики, методів, інструментарію проведення дослідження (для підтримки цих типів діяльності можуть бути застосовані пошукові сервери, спеціалізовані сайти, портали з питань дослідження);
- підготовка інструментарію (для цього можуть бути використані текстові, табличні редактори, засоби опрацювання зображень, відео, звуку а також спеціалізовані пакети прикладних програм (ППП) з метою подання текстів анкет, протоколів опитувань, демонстраційних матеріалів тощо);
- планування та проектування процедури дослідження (для підтримки цих типів діяльності можуть бути використані спеціалізовані програмні засоби статистичного аналізу, що містять дисперсійний аналіз, для визначення оптимального розбиття на групи та добору піддослідних; методи для визначення об'єму вибірки для проведення дослідження, засоби підтримки планування та проектування етапів експерименту (наприклад, MATLAB, SYSTAT та інші) (Marienko & Shyshkina, 2023).

На дослідницькому етапі засоби цифрових технологій доцільно використати для підтримання таких типів діяльності:

- збір фактичних даних;
- зберігання даних;
- попереднє опрацювання даних;
- візуалізація та подання даних;
- статистичний аналіз даних.

На даному етапі дослідження можуть бути використані цифрові засоби систем управління базами даних (СУБД), сховища даних для зберігання та опрацювання значних масивів даних, зокрема, великих даних; прикладні програми і сервіси для сортування, редагування для опрацювання даних; побудови діаграм, графіків, візуалізації закономірностей, аналізу і інтерпретації результатів опрацювання даних. Для цього може бути використане спеціалізоване програмне забезпечення та сервіси опрацювання даних (SPSS, SYSTAT та ін.).

Спеціалізовані сервіси статистичного аналізу застосовуються для первинної (ранжування, шкалювання, описові статистики) та вторинної (дисперсійний, регресійний, кореляційний, факторний аналіз, тестування гіпотез) статистичного опрацювання даних (SPSS, CoStat, DeltaGraph, LeoStatistic, SYSTAT, Probability And Statistics J2SE); для встановлення валідності та надійності отриманих висновків (SPSS, STATISTICA). Можливе також застосування хмарних реалізацій сервісів опрацювання даних.

На етапі аналізу та інтерпретації результатів засоби цифрових технологій мають бути використані для підтримання процесів валідації та встановлення надійності висновків (відповідні функції входять до складу деяких сервісів, наприклад, SPSS, STATISTICA).

На етапі впровадження цифрові засоби можуть бути використані для підтримання таких типів діяльності:

- створення об'єкта впровадження і втілення його у повсякденну практику навчально-виховного процесу;
- моніторинг функціонування об'єкта впровадження;

- управління функціонуванням об'єкта;
- встановлення зворотного зв'язку.

З метою створення об'єкту впровадження та забезпечення його самостійного функціонування, а також встановлення зворотного зв'язку, що полягає у донесенні результатів досліджень до громадськості, інформування про хід впровадження та коригування цього процесу, доцільне використання відповідних інформаційних технологій. Підтримка функціонування об'єкту впровадження, а також моніторинг та управління цим процесом, може здійснюватися, наприклад, шляхом ведення сайту експерименту, Інтернет-форуму, або розробки: презентацій, е-публікацій з проблеми дослідження. Може бути використане також спеціалізоване програмне забезпечення, або дані можливості входять до складу статистичних пакетів прикладних програм, що застосовувались у ході експерименту (SPSS, STATISTICA, DeltaGraph, LeoStatistic).

У результаті систематизації дані комп'ютерні засоби поставлено у відповідність з процесами діяльності на кожному з етапів дослідження, що дає можливість надання рекомендацій стосовно добору засобів до певного етапу. Перелік засобів, безумовно, не є повністю вичерпним, а передбачає можливість поповнення з огляду на появу та поширення нових видів засобів, що можуть бути також залучені на основі запропонованих критеріїв (Marienko & Shyshkina, 2023). Вчителі наукових ліцеїв займаються не лише викладацькою діяльністю, але й проводять наукові дослідження, залучаючи до цього процесу ліцеїстів. Тому запропонований добір засобів можна розглядати як основу для побудови моделі використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів.

Однією з ключових цілей, визначених у «Положенні про науковий ліцей» (Положення про науковий ліцей, б.д.), є підготовка учнівської молоді до наукової та науково-технічної діяльності (експериментальної, конструкторської, винахідницької, пошукової). Досягнення цієї мети не обмежується матеріально-технічним забезпеченням та залученням до здійснення освітнього процесу наукових та науково-педагогічних працівників у тому числі, які мають науковий ступінь, вчені звання.

Для організації ефективного процесу здійснення учнями науково-дослідної діяльності, необхідна якісна підготовка вчителів наукових ліцеїв до проведення наукових досліджень та методично обґрунтоване використання ХОНСВ для реалізації конкретних завдань на всіх їх етапах.

На рис. 1 запропоновано *модель використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів (дослідницький аспект)*.

Метою використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки (ХОСВН) визначено підвищення рівня ефективності проведення наукових досліджень вчителями наукових ліцеїв.

Методичний компонент відображає основні складові підвищення кваліфікації педагогів наукових ліцеїв, зокрема його *мету* – розвиток цифрової компетентності вчителів щодо використання ХОСВН у процесі проведення наукових досліджень. Передбачено застосування у цьому процесі основних *наукових підходів* до навчання дорослих (компетентнісного, андрагогічного, диференційованого, акмеологічного, синергетичного) та відповідних їм *принципів* (відкритості, системності, науковості, академічної доброчесності, розвитку освітніх потреб, неперервності, варіативності, модульності, гнучкості й мобільності, технологічності, актуалізації результатів та випереджувального професійного розвитку та ін.). Підґрунтям розроблення змісту навчання є *компоненти цифрової компетентності* вчителів наукових ліцеїв щодо використання ХОСВН у процесі проведення наукових досліджень, а саме мотиваційно-ціннісний, когнітивний, операційно-діяльнісний та адаптивно-рефлексивний. Тематика *змістових модулів* охоплює розгляд таких груп питань:

а) теоретичні аспекти використання ХОСВН у процесі науково-інформаційного обміну:

- види наукової комунікації вчителя у процесі дослідження;
- етика проведення наукових досліджень і представлення їх результатів;
- відкрита наука та відкритий доступ;
- засоби пошуку якісного наукового контенту;
- засоби оприлюднення результатів наукових досліджень;

б) ІКТ підтримувannya процесу представлення результатів наукових досліджень з використанням ХОСВН: (електронні публікації, електронні бібліотеки/архіви, електронні журнали, веборієнтовані енциклопедії, електронні монографії, онлайн конференції, реферативні і наукометричні бази, електронні соціальні мережі, наукові форуми та блоги, системи ідентифікування дослідників та об'єктів, антиплагіатори, референс менеджери та ін.).

Навчальні цілі можливо досягти за допомогою таких *форм* організації навчання як тренінги, семінари, вебінари, дистанційні навчальні курси, лекції, практичні заняття, індивідуальна та самостійна робота, консультування і контрольні заходи щодо оцінювання навчальних досягнень вчителів.

У ході проведення занять рекомендовано застосувати *методи* організації навчально-пізнавальної діяльності (пояснення, інформаційна лекція, лекція-візуалізація, розповідь, демонстрування, бесіда, дискусія, обговорення, “мозковий штурм”, практична робота, виконання індивідуальних завдань, самостійна робота з джерелами), методи стимулювання і мотивації (пояснення особистої значущості учіння, формування пізнавального інтересу, аналіз конкретних ситуацій, створення ситуації успіху в навчанні) та методи контролю (тестування й анкетування, захист індивідуальних завдань).

Учасників навчального процесу необхідно забезпечити такими *засобами*, як методичні рекомендації для викладачів щодо підготовки занять та проведення оцінювання навчальних досягнень слухачів, методичні рекомендації для слухачів та вказівки щодо виконання самостійної й індивідуальної роботи, інструктивно-методичні матеріали, технічні засоби навчання (підключення до мережі Інтернет, ноутбуки або персональні комп'ютери, проектор, інтерактивна дошка) та ХОНСВН, що описані в дослідницькому компоненті моделі.

Контроль навчальних досягнень учителів реалізується шляхом анкетування і тестового контролю знань з тематики кожного заняття та виконання індивідуальних завдань. Визначення *рівня сформованості* їхньої цифрової компетентності щодо використання ХОСВН у процесі проведення наукових досліджень (базовий, достатній, поглиблений)

доцільно здійснити за допомогою *критеріїв* (аксіологічний, когнітивний, праксеологічний, адаптивно-рефлексивний) та їхніх показників.

Результатом реалізації цієї методики, що ґрунтовно описана у роботі (Лупаренко, 2021), передбачається досягнення достатнього або поглибленого рівня розвитку цифрової компетентності вчителів наукових ліцеїв щодо використання ХОСВН.

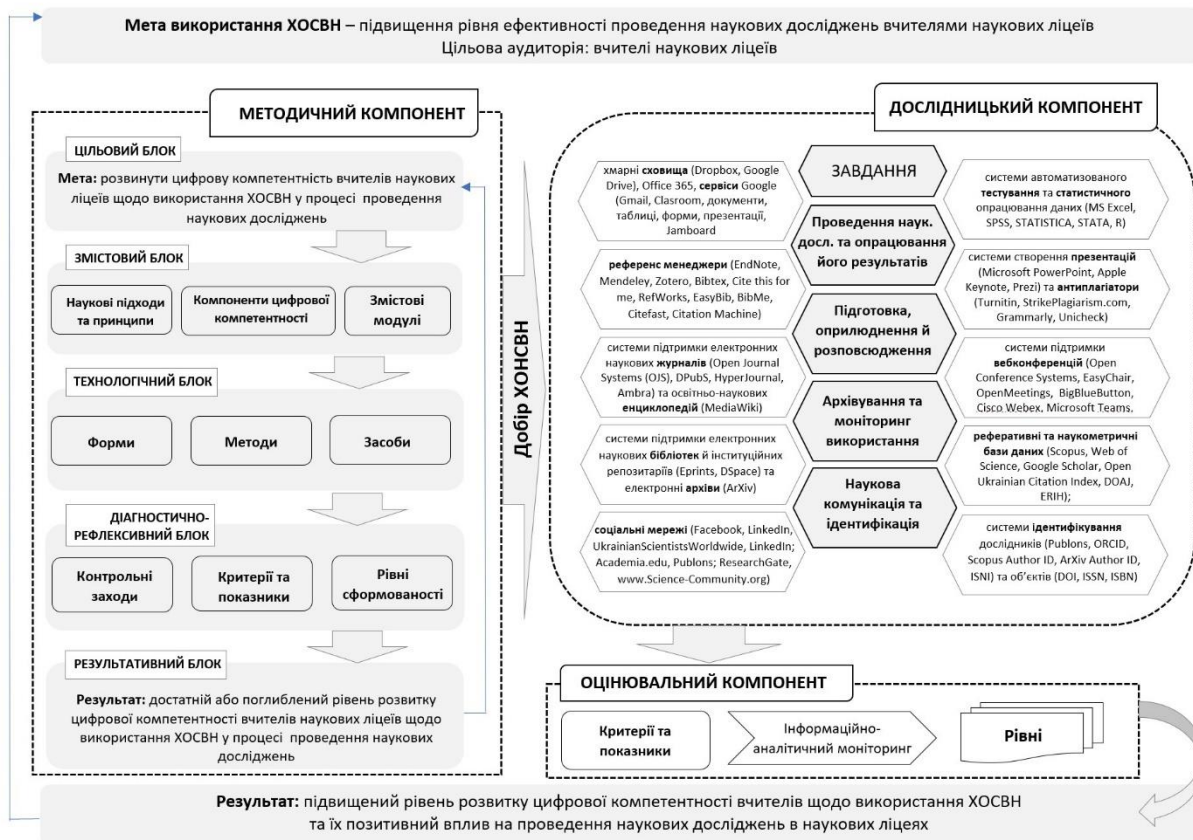


Рис. 1. Модель використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів (дослідницький аспект)

Дослідницький компонент репрезентує основні завдання, що необхідно реалізувати вчителю у ході проведення й впровадження результатів наукового дослідження: отримання даних, їх опрацювання, оприлюднення, розповсюдження та використання. Вказано відповідні хмаро орієнтовані системи відкритої науки, що можуть бути використанні для реалізації дослідницької діяльності з усіх навчальних предметів та не розглядаються ті, що застосовуються у конкретних дисциплінах. Добір таких засобів надав можливість виокремити групи доцільних ХОСВН за наступним призначенням:

- для проведення наукового дослідження та опрацювання його результатів: *хмарні сховища* (Dropbox, Google Drive); *Office 365*; *сервіси Google* (Gmail, Classroom, документи, таблиці, форми, презентації, Jamboard); системи автоматизованого *тестування та статистичного опрацювання даних* (SPSS, STATISTICA, STATA, MS Excel, R);
- для підготовки наукового рукопису до друку: *референс менеджери* (EndNote, Mendeley, Zotero, Bibtex, Cite this for me, RefWorks, EasyBib, BibMe, Citefast, Citation Machine), *антиплагіат системи* (Turnitin, StrikePlagiarism.com, Grammarly, Unicheck);
- для підготовки доповіді: системи створення *презентацій* (Canva, Microsoft PowerPoint, Apple Keynote, Prezi);
- для оприлюднення результатів дослідження: системи підтримки електронних наукових журналів (Open Journal Systems, DPubS, HyperJournal, Ambra) та освітньо-наукових енциклопедій (MediaWiki);
- для апробації та розповсюдження: системи підтримки *вебконференцій* (EasyChair, OpenMeetings, BigBlueButton, Cisco Webex, Open Conference Systems, Microsoft Teams, Google Meet);
- для архівування даних і наукових праць: системи підтримки електронних наукових бібліотек й інституційних репозитаріїв (Eprints, DSpace) та електронні архіви (ArXiv);
- для моніторингу використання: *реферативні та наукометричні бази даних* (Scopus, Web of Science, Google Scholar, Open Ukrainian Citation Index, DOAJ, ERIH);
- для ідентифікації: системи *ідентифікування дослідників* (Publons, ORCID, Scopus Author ID, ArXiv Author ID, ISNI) та *об'єктів* (DOI, ISSN, ISBN);
- для наукової комунікації та пошуку партнерів: *соціальні мережі* (Facebook, LinkedIn, UkrainianScientistsWorldwide, LinkedIn; Academia.edu, Publons; ResearchGate, www.Science-Community.org).

Оцінювальний компонент моделі передбачає, що після підвищення кваліфікації вчителів і практичного здійснення ними науково-дослідної діяльності, необхідно здійснити інформаційно-аналітичний моніторинг

впровадження отриманих результатів за системою критеріїв й показників (наукометричні показники, перемоги на олімпіадах, розроблені дослідні зразки та ін.) та визначити рівень ефективності використання ХОСВН (базовий, середній, високий).

Результатом реалізації запропонованої моделі є підвищений рівень цифрової компетентності вчителів щодо використання ХОСВН та їх позитивний вплив на проведення наукових досліджень в наукових ліцеях.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Виявлення у складі педагогічних теорій як систем наукового знання різноманітних структур та когнітивних процесів, пов'язаних з ними, що мають комплексну та багаторівневу будову є одним із напрямів методологічних досліджень у цій царині. До згаданих когнітивних процесів належать, зокрема такі, як висунення та перевірка наукових гіпотез, збирання, опрацювання та аналіз наукових фактів, формулювання і обґрунтування висновків та ін. Результати досліджень свідчать, що виокремлення і систематизація когнітивних дій у складі наукового знання, та розгляд відповідних їм процесів формування і розвитку знання постає досить часто складним і нетривіальним методологічним завданням. Наукова теорія передбачає у своїй будові комплексну, багатопланову та ієрархічну систему певних дій зі структурами знання, спрямованих на виконання функцій різноманітних типів. Таким чином, виокремлення різноманітних різновидів, типів та рівнів ієрархії у структурі науково-педагогічної діяльності, відповідна їх систематизація у складі наукових теорій потребують окремого вивчення і аналізу, зокрема, шляхом побудови моделей і реконструкцій. Методологічної реконструкції систем наукового знання охоплюють відповідні підсистеми і рівні ієрархії, що містять у своєму складі окремі елементи знання.

Науково-педагогічне дослідження складається з наступних етапів: підготовчий; дослідницький; інтерпретації та аналізу результатів; впровадження. В запропонованій моделі використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів в першу чергу розкрито саме дослідницький аспект. До складників моделі віднесено: мету, методичний компонент, дослідницький, оцінювальний та результат. При цьому добір хмарних сервісів відкритої науки напряму залежить від поставлених завдань та узгоджується з етапами наукового дослідження. Запропонований перелік хмарних сервісів відкритої науки, систем та ресурсів може бути використаний не лише в рамках підвищення кваліфікації вчителів, але й навчальному процесі наукового ліцею для організації дослідницьких робіт ліцеїстів.

Перспективи подальшого дослідження спрямовані на розробку методики використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів та обґрунтування методичних рекомендацій щодо використання сервісів хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі підготовки вчителів природничо-математичних предметів до роботи у наукових ліцеях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bogatencov, P. P., Secieru, G., Buzatu, R., & Degteariov, N. (2022). Distributed computing infrastructure for complex applications development. *Proceedings of the Workshop on Intelligent Information Systems WIIS2022, October 6-8, 2022, Chisinau* (pp. 55–65). Chişinău: Valnex. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/p-55-65.pdf.
2. Can, E. (2019). Professional Development of Teachers: Obstacles and Suggestions. *Journal of Qualitative Research in Education*, 7(4), 1618–1650. <https://doi.org/10.14689/Issn.2148-2624.1.7c.4s.14m>
3. Dilshad, M., Hussain, B., & Batool, H. (2019). Continuous Professional Development of Teachers: A Case of Public Universities in Pakistan. *Bulletin of Education and Research*, 41 (3), 119–130. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1244673.pdf>
4. Marienko, M., & Shyshkina, M. (2023). The Design and Implementation of the Cloud-Based System of Open Science for Teachers' Training. M. E. Auer, W. Pachatz & T. Rüttmann (Eds.), *Learning in the Age of Digital and Green Transition. ICL 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, 633 (pp. 337-344). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26876-2_31
5. Nawab, A., Bissaker, K. & Datto, A. K. (2021). Contemporary trends in professional development of teachers: importance of recognising the context. *International Journal of Educational Management*, 35 (6), 1176–1190. <https://doi.org/10.1108/IJEM-10-2020-0476>
6. Nelson, J., & Bohanon, H. (2019). Blue Ocean Shift: Evidence-Based Practice in the Professional Development of Teachers. *International Journal of Advanced Corporate Learning (IJAC)*, 12(2), 4–20. <https://doi.org/10.3991/ijac.v12i2.10688>
7. Oleksiuk, V. P., & Oleksiuk, O. R. (2020). Methodology of teaching cloud technologies to future computer science teachers. A. E. Kiv, M. P. Shyshkina (Eds.), *Proceedings of the 7th Workshop on Cloud Technologies in Education, CTE 2019 (Kryvyi Rih, Ukraine, December 20, 2019)*, 2643 (pp. 592–608). CEUR-WS. <https://ceur-ws.org/Vol-2643/paper35.pdf>
8. Wittenburg, P. (2021). Open Science and Data Science. *Data Intelligence*, 3 (1), 95–105. https://doi.org/10.1162/dint_a_00082
9. Лупаренко, Л. А. (2021). Використання електронних систем відкритого доступу у процесі навчання і професійного розвитку вчителів. *Освітній дискурс: збірник наукових праць*, 37(10), 59–69. [https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.37\(10\)-6](https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.37(10)-6)
10. Положення про науковий ліцей. № 438. (б.д.). zakon.rada.gov.ua. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/438-2019-%D0%BF?lang=uk#Text>.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Bogatencov, P. P., Secieru, G., Buzatu, R., & Degteariov, N. (2022). Distributed computing infrastructure for complex applications development. *Proceedings of the Workshop on Intelligent Information Systems WIIS2022, October 6-8, 2022, Chisinau* (pp. 55–65). Chişinău: Valnex. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/p-55-65.pdf
2. Can, E. (2019). Professional Development of Teachers: Obstacles and Suggestions. *Journal of Qualitative Research in Education*, 7(4), 1618–1650. <https://doi.org/10.14689/Issn.2148-2624.1.7c.4s.14m>
3. Dilshad, M., Hussain, B., & Batool, H. (2019). Continuous Professional Development of Teachers: A Case of Public Universities in Pakistan. *Bulletin of Education and Research*, 41 (3), 119–130. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1244673.pdf>
4. Marienko, M., & Shyshkina, M. (2023). The Design and Implementation of the Cloud-Based System of Open Science for Teachers' Training. M. E. Auer, W. Pachatz & T. Rüttmann (Eds.), *Learning in the Age of Digital and Green Transition. ICL 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, 633 (pp. 337-344). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26876-2_31

5. Nawab, A., Bissaker, K. & Datto, A. K. (2021). Contemporary trends in professional development of teachers: importance of recognising the context. *International Journal of Educational Management*, 35 (6), 1176–1190. <https://doi.org/10.1108/IJEM-10-2020-0476>
6. Nelson, J., & Bohanon, H. (2019). Blue Ocean Shift: Evidence-Based Practice in the Professional Development of Teachers. *International Journal of Advanced Corporate Learning (IJAC)*, 12(2), 4–20. <https://doi.org/10.3991/ijac.v12i2.10688>
7. Oleksiuk, V. P., & Oleksiuk, O. R. (2020). Methodology of teaching cloud technologies to future computer science teachers. A. E. Kiv, M. P. Shyshkina (Eds.), *Proceedings of the 7th Workshop on Cloud Technologies in Education, CTE 2019 (Kryvyi Rih, Ukraine, December 20, 2019)*, 2643 (pp. 592–608). CEUR-WS. <https://ceur-ws.org/Vol-2643/paper35.pdf>
8. Wittenburg, P. (2021). Open Science and Data Science. *Data Intelligence*, 3 (1), 95–105. https://doi.org/10.1162/dint_a_00082
9. Luparenko, L. A. (2021). Vykorystannya elektronnykh system vidkrytoho dostupu u protsesi navchannya i profesiynoho rozvytku vchyteliv [Use of electronic open access systems in the teaching and professional development of teachers]. *Osvitniy dyskurs: zbirnyk naukovykh prats' – Educational discourse: collection of scientific papers*, 37(10), 59–69. [https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.37\(10\)-6](https://doi.org/10.33930/ed.2019.5007.37(10)-6) (in Ukrainian).
10. Polozhennia pro naukovyi litsei [Regulations on scientific lyceum]. (n.d.). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/438-2019-%D0%BF?lang=uk#Text> (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 10.31110/2413-1571-2023-038-3-006

УДК 372.851:004.77

НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ НАВЧАЛЬНИХ ПЛАТФОРМ: АНАЛІЗ ЗАКОРДОННОГО ДОСВІДУ

Ольга МАТЯШ

Вінницький державний педагогічний університет
імені Михайла Коцюбинського, Україна
matyash_27@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-7149-9545>

Валентин РИНДЮК ✉

Вінницький державний педагогічний університет
імені Михайла Коцюбинського, Україна
Valentine.Rydyuk@vspu.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0008-1026-4401>

TEACHING MATHEMATICS WITH THE USE OF DIGITAL LEARNING PLATFORMS: ANALYSIS OF FOREIGN EXPERIENCE

Olha MATIASH

Vinnitsya Mykhailo Kotsiubynskyi State
Pedagogical University, Ukraine
matyash_27@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-7149-9545>

Valentyn RYNDIUK ✉

Vinnitsya Mykhailo Kotsiubynskyi State
Pedagogical University, Ukraine
Valentine.Rydyuk@vspu.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0008-1026-4401>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. Перед українською методичною наукою постає завдання вивчення й аналізу вітчизняного та закордонного досвіду використання цифрових навчальних платформ у шкільній математичній освіті з метою з'ясування науково-обґрунтованих рекомендацій для вчителів математики щодо ефективної взаємодії із сучасним цифровим середовищем для подолання актуальних викликів. У цій статті здійснено огляд закордонного досвіду використання навчальних платформ у навчанні та аналіз результатів досліджень впливу використання цифрових навчальних платформ на організацію та якість навчання математики в різних країнах.

Матеріали і методи. Статті дослідників з Латвії, Іспанії, Турції, Мексики, Данії, США. Аналіз, систематизація й узагальнення результатів досліджень відображених у публікаціях закордонних авторів.

Результати. Аналіз публікацій дозволив з'ясувати: зміст поняття «навчальні платформи»; поширеність використання навчальних платформ у тій чи іншій країні; результати досліджень щодо впливу використання навчальних платформ. Проектування та подальший розвиток хмаро орієнтованого навчального середовища є одним з ключових напрямків розвитку освіти в Латвії, Іспанії, Турції, Мексиці, Данії, США. Автори публікацій досліджують вплив електронного навчання та зазначають про актуальність і недостатність таких досліджень. Основні результати: навчальна платформа є інструментом в руках учителя, який може зробити цей інструмент ефективним; навчальні платформи відкривають для вчителів математики широкий вибір можливостей з підвищення ефективності навчання учнів математики; існування навіть найякісніших навчальних платформ не звільняє вчителів від кропіткої методичної роботи.

Висновки. Поєднання закордонного досвіду використання цифрових навчальних платформ з потенціалом досліджень українських вчених є одним з напрямів подальшого впровадження інноваційних технологій в українську систему освіти. Метою наших наступних досліджень є продовження аналізу закордонного досвіду використання цифрових навчальних платформ в шкільній освіті та ґрунтовне вивчення й аналіз освітньої цінності і педагогічного потенціалу навчальних платформ, які використовуються в Україні у процесі навчання математики учнів старшої школи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: навчальні платформи; закордонний досвід; навчання математики; цифрове середовище.

ABSTRACT

Formulation of the problem. The Ukrainian methodological science is faced with the task of studying and analyzing the domestic and foreign experience of using digital educational platforms within the school's mathematical education to clarify scientifically grounded recommendations for mathematics teachers on effective interaction with the modern digital environment to overcome current challenges. This article reviews foreign experiences of using educational platforms during the teaching process and analyzes the results of research on the impact of using digital learning platforms on the organization and quality of teaching mathematics in different countries.

Materials and methods. Articles created by researchers from Latvia, Spain, Turkey, Mexico, Denmark, USA. Analysis, systematization, and generalization of the results of the research which are reflected in the publications of foreign authors.

Results. The analysis of publications made it possible to find out: the content of the concept of "educational platforms"; the prevalence of using educational platforms in a particular country; the results of the research on the effectiveness of using educational platforms. Designing and further development of cloud-oriented learning environment is one of the key directions of education development in Latvia, Spain, Turkey, Mexico, Denmark, USA. The authors of the publications investigate the impact of e-learning and indicate the relevance and insufficiency of such studies. Main results: educational platform is a tool in the hands of the teacher who can make this tool effective; educational platforms open a wide range of opportunities for teachers of mathematics to improve their students' learning efficiency; even the existence of educational platforms with the highest quality does not exempt teachers from painstaking methodological work.

Conclusions. The combination of foreign experience in using digital educational platforms with the potential of Ukrainian scientists' research is one of the directions for further implementation of innovative technologies into the Ukrainian education system. The purpose of our subsequent research is to continue the analysis of the foreign experience in using digital educational platforms within school education and the in-depth study and analysis of the educational value and pedagogical potential of educational platforms that are used in Ukraine within the process of teaching mathematics to the pupils of the high school.

KEYWORDS: educational platforms; foreign experience; teaching mathematics; digital environment.

Для цитування:

Матяш О., Риндюк В. Навчання математики з використанням цифрових навчальних платформ: аналіз закордонного досвіду. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38, № 3. С. 43-49. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-3-006

Матяш, О., & Риндюк, В. (2023). Навчання математики з використанням цифрових навчальних платформ: аналіз закордонного досвіду. *Фізико-математична освіта*, 38(3), 43-49. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-006>

For citation:

Matiash, O., & Ryndiuk, V. (2023). Teaching mathematics with the use of digital learning platforms: analysis of foreign experience. *Physical and Mathematical Education*, 38(3), 43-49. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-006>

Matiash, O., & Ryndiuk, V. (2023). Navchannia matematyky z vykorystanniam tsyfrovyykh navchalnykh platform: analiz zakordonnoho dosvidu [Teaching mathematics with the use of digital learning platforms: analysis of foreign experience]. *Fiziko-matematichna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(3), 43-49. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-006>

ВСТУП

Постановка проблеми. Під час спалаху пандемії COVID-19 дистанційне навчання в усьому світі активізувало проблему модернізації освіти. Зокрема, різні соціальні медіа-платформи набули певної популярності як один із способів покращити навчання та якимось чином моделювати особисту взаємодію вчителя та учнів, взаємодію, яка знаходиться в умовах непередбачуваного переривання. Використання різних цифрових навчальних платформ у процесі навчання учнів математики, у вказаному контексті, також стало досить гострою необхідністю. В Україні ці процеси, у зв'язку із активною фазою війни, потребують раціональних та виважених рішень. Перед українською методичною наукою постає завдання уважного вивчення й аналізу вітчизняного та закордонного досвіду використання цифрових навчальних платформ у шкільній математичній освіті з метою з'ясування науково-обґрунтованих рекомендацій для вчителів математики щодо ефективної взаємодії із сучасним цифровим середовищем для подолання актуальних викликів. Важливим є аналіз не лише технічних та візуальних параметрів навчальних платформ, але й їх освітньої цінності та педагогічного потенціалу.

Аналіз актуальних досліджень. Українські дослідники останнім часом активно аналізують закордонний досвід використання хмаро орієнтованих навчальних середовищ.

У контексті нашого дослідження вкажемо на публікацію М. Попель (2019) про тенденції розвитку і використання хмаро-орієнтованих систем у підготовці вчителів країн Європи. Авторка розглядає досвід використання хмаро орієнтованого навчального середовища таких країн, як: Франції, Чехії, Іспанії, Казахстану, Великобританії. Розглянуто роботи провідних зарубіжних науковців, які описують власний досвід створення та використання хмаро орієнтованого навчального середовища в закладах вищої освіти. Розкрито досвід використання Microsoft Office365 та IBM Cloud Academy в закордонних закладах вищої освіти. У кількох публікаціях Т. Вакалюк (2014) проаналізовано досвід розвитку хмаро орієнтованого навчального середовища таких країн, як: Франції, Чехії, Іспанії, США, Індії, Австралії, Китаю, Сінгапура, Бразилії, Ізраїля, Великобританії. Наведено приклади використання існуючих хмарних освітніх сервісів та приклади створення власних хмаро орієнтованих навчальних середовищ у різних країнах. Розглянуто праці видатних професорів зарубіжжя, які наводять і описують власний досвід створення та використання хмаро орієнтованого навчального середовища як у вищій, так і у загальноосвітній школі. С. Доценко (2021) розглядала досвід організації дистанційного навчання в Китаї. Були розглянуті такі освітні онлайн-платформи, як XuetangX та iCourse. В. Белан (2021) у своїй дисертації досліджував особливості підготовки майбутніх учителів професійних технічних предметів із використанням технологій дистанційного навчання в університетах республіки Польща.

Метою даної статті є огляд закордонного досвіду використання навчальних платформ у навчанні та аналіз результатів досліджень впливу використання цифрових навчальних платформ на організацію та якість навчання математики в різних країнах.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При проведенні дослідження були використані теоретичні методи: аналіз, систематизація й узагальнення результатів досліджень відображених у публікаціях закордонних авторів щодо електронного навчання та використання навчальних платформ у різних країнах; контент-аналіз інтернет-ресурсів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Здійснюючи огляд та аналіз закордонних публікацій щодо використання навчальних платформ в освітньому процесі ми зосереджуємо увагу на наступному: Що розуміється під поняттям навчальні платформи? Наскільки поширеним є використанням навчальних платформ у тій чи іншій країні? Чи проводяться дослідження ефективності використання навчальних платформ і які їхні результати?

М. Sofi-Karim, A. Bali & K. Rached (Sofi-Karim et al., 2023) з Іраку стверджують, що онлайн-освіту через медіа-платформи та програми нині слід сприймати як інноваційний метод навчання. Поява Всесвітньої павутини (WWW) у 1991 році створила всесвіт, у якому велика кількість веб-сайтів дозволяє формувати онлайн-спільноти та організації, які можуть користуватися перевагами широко використовуваних платформ, таких як Facebook, Twitter, Google Drive, Google Classroom, Google Doc, Google Hangout, Dropbox і численні програми для спілкування, конференцій і електронної пошти, такі як Viber, Zoom, Skype, Yahoo та інші.

У Данії з 2013 року цифрові навчальні платформи (DLP) є обов'язковими для початкової та неповної середньої освіти (Artuso & Graf, 2020). Цифрова навчальна платформа (DLP), як стверджують автори статті, це поєднання інтерактивного цифрового середовища та адміністративних інструментів, призначених, принаймні, для учнів та вчителів. Основою таких платформ є функція конструктора навчальних курсів. Навчальні курси, які створюються вчителями в Данії, мають бути доступні в DLP, ними можна ділитися, реміксувати та їх можуть використовувати інші вчителі. Також такі навчальні курси є доступними для наукових педагогічних досліджень.

Двома найпопулярнішими в Данії DLP є Meebook, який присутній у 46% муніципалітетів у 2018 році, та MinUddanelse, який присутній у 43% муніципалітетів у 2018 році (Artuso & Graf, 2020). Запровадження DLP у Данії є частиною цифрових ініціатив, метою яких є надання користувачам спільної загальнодоступної інфраструктури, підтримка процесу навчання (включно з придбанням цифрових навчальних матеріалів) та запровадження загальних публічних стандартів для обміну навчальними матеріалами (Brugerportalinitiativet, 2014). Оскільки використання DLP у Данії є обов'язковим, то це означає, що вчителі тепер мають крім попередніх обов'язків, ще й додаткові завдання, пов'язані зі створенням та підтримкою платформ. Як зазначають науковці (Artuso & Graf, 2020), вчителі тепер змушені бути частіше на зв'язку онлайн і працювати все більше і більше – навіть у неробочий час – без особливого вибору чи компенсації за це. Запровадження DLP передбачало, що навчальна платформа має сприяти підвищенню якості викладання та навчання, а також налагодженню професійної співпраці вчителів шляхом обміну розробками навчальних курсів.

Проте, як стверджують (Artuso & Graf, 2020) у Данії не так багато досліджень впровадження цифрових навчальних платформ. Окремі результати досліджень щодо вибору, впровадження та використання навчальних

платформ, опубліковані Датським інститутом оцінювання (Danmarks Evalueringsinstitut, 2016). Консорціум із шести університетів під керівництвом Ольборзького університету також виконував дослідницький проект, що мав на меті сприяти впровадженню навчальних платформ і підготував шість звітів за результатами досліджень. У 6-му, технічному звіті, підсумовуються результати двох опитувань учителів та учнів у п'ятнадцяти школах Данії. В одному із висновків стверджується, що платформи мали обмежені можливості для досягнення соціальних цілей, очного навчання та якісного оцінювання досягнень учнів. Крім того, платформи майже не використовувалися для налагодження співпраці вчителів та їхнього діалогу щодо підвищення якості викладання. Тим не менше, вчителі повідомили, що цифрові платформи полегшили календарне та тематичне планування навчального курсу, а також окремі аспекти ілюстрації учням застосування набутих знань та умінь. (Kølsen & Qvortrup, 2017).

A. Tamborg (2019) отримав цікавий результат у дослідженні за участю 16 шкіл Данії щодо впливу впровадження DLP на діяльність учителів математики. А саме, дослідник виявив, що цифрові навчальні платформи значно впливають на сутність методичної діяльності вчителів математики. Зокрема, виявилось, що можливість інтеграції навчальних цілей з використанням платформ є центральним аспектом того, як окремі вчителі математики використовують цифрові навчальні платформи в своїй роботі.

S. Graf, S. Gissel, M. Slot (Graf et al., 2018) у власних дослідженнях стурбовані використанням платформ щодо намірів обміну розробленими вчителями дизайнами курсів і тим, як вчителі справляються з інтеграцією мультимодальних навчальних матеріалів у дизайн курсу. Автори проаналізували 102 навчальні курси, якими найчастіше користуються в Meebook, закодували їх на основі дидактичних змінних, таких як тип і кількість цілей, тип оцінювання, тип навчальних матеріалів і тип діяльності. Вони виявили недостатнє використання цілей навчання та відповідного оцінювання, а також посилене, але дидактично сумнівне включення та створення нових цілей навчання та оцінювання. Вони також виявили домінуюче використання рецептивної діяльності, а також відсутність контекстно-специфічної комунікації між вчителями та учнями. На думку S. Graf, S. Gissel, M. Slot (Graf et al., 2018), конструктор навчальних курсів виявився радше репозитарієм, ніж платформою для активного та продуктивного навчання.

Латвійські дослідники A. Rūdofla, L. Daniela (2021) вказують на необхідність розрізняти наступні поняття: системи управління навчанням (LMS), навчальні платформи (LP), масові відкриті онлайн-курси (MOOC), онлайн-навчання, інструменти цифрової освіти тощо.

LMS (системи управління навчальним процесом) — це системи, призначені для цифрового збору інформації про учнів, створення навчального контенту для учнів і аналізу діяльності та результатів навчання учнів. Масові відкриті онлайн-курси (MOOC) — це курси, в яких основний акцент робиться на тому, щоб учасники мали доступ до контенту та навчалися в Інтернеті.

Навчальна платформа (LP) — це спеціально створене навчальне середовище, яке є чимось середнім між LMS і MOOC. На відміну від LMS, де контент створюється самими вчителями та доступний учням, контент LP розробляється розробниками платформи. MOOC також пропонують готовий контент, але не забезпечують засоби керування, які доступні як для LMS, так і для LP.

Цікавими у контексті нашого дослідження є результати досліджень A. Rūdofla, L. Daniela (2021), оскільки в них, зокрема, проаналізовані результати опитування учителів про їхнє ставлення до використання навчальних платформ. Дослідження під назвою «Навчальні платформи як інструмент навчання в контексті цифровізації освіти в Латвії» було проведене, щоб зрозуміти думку вчителів середніх шкіл Латвії щодо використання доступних навчальних платформ і розробити рекомендації щодо покращення їх роботи. Було опитано 705 учителів, щоб з'ясувати: ставлення вчителів до навчальних платформ; найбільш часто використовувані навчальні платформи; основні переваги навчальних платформ для організації якісного навчання, або ж основні причини їх невикористання.

За результатами вказаного дослідження було з'ясовано, що майже 80% опитаних учителів використовують навчальні платформи з метою: дати можливість учням повторити вивчене та закріпити отримані знання; надати учням доступ до інформації у зручному місці та в зручний для них час; надати учням оперативний зворотний зв'язок, щоб заохотити їхню готовність до самостійного навчання. З'ясувалося, що вчителі, які поєднують контент на навчальних платформах з іншими формами навчання або використовують контент на навчальних платформах для призначення індивідуальних завдань учням, також готові розробляти новий навчальний контент; іншими словами, вони враховують поточні потреби своїх учнів і використовують переваги цифрового середовища, щоб миттєво оновлювати зміст навчальної програми найновішою інформацією. Найпопулярнішою навчальною платформою, якою користуються вчителі в Латвії, є www.uzdevumi.lv.

Також у процесі дослідження з'ясувалося, що майже 12% вчителів, які взяли участь в опитуванні, не використовують навчальні платформи в процесі навчання, зокрема тому, що сучасні учні, на думку таких вчителів, вже витрачають занадто багато часу на цифрові технології. На думку A. Rūdofla, L. Daniela (2021) заяви вчителів про те, що їм не подобається навчання з використанням навчальних платформ, з одного боку, демонструє бажання вчителів зберегти монопольний контроль над навчанням учнів і недовіру вчителів до самостійного навчання учнів, а з іншого боку — демонструє стереотипні переконання, оскільки для таких вчителів неможливо мати засноване на фактах розуміння змісту навчальних платформ, якщо вони ними не користуються. Висновки дослідження A. Rūdofla, L. Daniela (2021) наступні: навчальні платформи — це спосіб сприяти самостійному навчанню учнів і оптимізувати роботу вчителів; нові та інноваційні методи навчання, форми роботи та трансформоване середовище навчання необхідні для підготовки учнів до життя в суспільстві, яке постійно змінюється; навчальним платформам нині бракує завдань, які розвивають складні операції мислення; такі завдання є цінними і можливо потрібні меншій кількості учнів, однак, це явна ніша в освітніх технологіях; сучасна педагогіка має шукати шляхи подолання розриву між тим, як можуть навчатися нинішні учні, і тим, як традиційно навчають вчителі; результати навчання насправді важливіші за те, як учні їх досягають; навчальні платформи варто оцінювати щороку, оскільки навчальні технології розвиваються надто швидко. Таким чином, підсумовують автори дослідження, важливо проаналізувати освітню цінність і педагогічний потенціал навчальних платформ. При цьому

важливо усвідомлювати, що будь-яка навчальна платформа є лише інструментом в руках головного організатора освіти учнів — учителя.

Іспанські дослідники A. Moreno-Guerrero, I. Aznar-Díaz, P. Cáceres-Reche, S. Alonso-García (Moreno-Guerrero, et al., 2020) здійснили ґрунтовний аналіз використання електронного навчання у навчанні математики старшокласників. Електронним навчанням автори публікації називають педагогічну діяльність, яка відбувається онлайн завдяки використанню Інтернету та технологічних пристроїв, із синхронним або асинхронним підключенням із будь-якого місця. Автори вказують, що для реалізації електронного навчання потрібні два види ресурсів: цифрові та технологічні. Серед цифрових ресурсів – навчальні відео, навчальні платформи, відеоконференції, подкасти, соціальні мережі та багато інших ресурсів. Технологічними ресурсами можуть бути настільний комп'ютер, планшет, смартфон тощо. Втім, на думку іспанських дослідників, застосування електронного навчання для всіх, хто залучений до процесу викладання та навчання, стає проблемою, оскільки для його гарантованого використання потрібен, як мінімум, середній рівень цифрової компетентності. Тому вчителів і учнів необхідно навчати використанню різноманітних технологічних і цифрових ресурсів.

У статті A. Moreno-Guerrero, I. Aznar-Díaz, P. Cáceres-Reche, S. Alonso-García (Moreno-Guerrero, et al., 2020) проаналізовано вплив електронного навчання математики на старшокласників в Іспанії, у порівнянні із традиційним навчанням. Як показали результати досліджень, існують значні відмінності між значеннями, досягнутими в контрольній групі (традиційне навчання) та експериментальній групі (електронне навчання). Ці відмінності вказують на користь електронного навчання. У проведеному дослідженні, платформа Moodle містила весь контент, розподілений за дидактичними підрозділами, який необхідно було опрацювати учням з математики упродовж першого семестру. Кожна з дидактичних одиниць платформи Moodle була структурована за такими розділами:

- *Теорія*: Формується теоретичними аспектами предмету, представленими у форматі pdf та пояснювальними відео. Намір полягав у тому, щоб представити всі теоретичні аспекти змісту, над яким потрібно працювати, і закріпити їх засвоєння за допомогою перегляду відео, пов'язаних із цим вмістом;

- *Практика*: складається з завдань, які демонструють засвоєння теоретичного змісту. Ці заходи стосувалися впровадження, розвитку, консолідації, розширення та зміцнення. Діяльність була різноманітною та мала різні типи: коротка відповідь, довга відповідь, припущення, розв'язання проблем і автозаповнення, пов'язані стовпці та операції тощо. У цьому випадку були використані всі інструменти, доступні в Moodle;

- *Для тих, хто хоче знати більше*. У цьому розділі учням дозволили глибше заглибитися в зміст навчальних тем з математики. Це було зроблено за допомогою посилань на відповідні веб-сторінки. Були також посилання на ігри, пов'язані з навчальним змістом, над яким працювали;

- *Форум*: цей ресурс використовувався в кожному дидактичному підрозділі. Намір полягав у тому, щоб розпочати дискусію як з викладачем, так і з іншими учнями щодо змісту предмета. Крім того, він слугував для вирішення сумнівів і загадування невеликих загадок, пов'язаних з аспектами, які необхідно було засвоїти.

Таким чином, електронне навчання може бути досить ефективним, якщо його правильно застосовувати з відповідним методом викладання та навчання. G. Albano, U. Dello, (2019) наводять приклад розробки методу електронного навчання, пов'язаного з ресурсом GeoGebra, який інтегрований в платформу Moodle, покращуючи аспекти, пов'язані з оцінюванням, мотивацією та зацікавленістю учнів. Це також сприяє більш змістовному навчанню математики та адаптує оцінювання до потреб учнів G. Albano, U. Dello, (2019). Використання електронного навчання в розвитку математики підвищує відданість самих учнів, покращуючи успішність. Це також підвищує інтерес, а отже, і отримані результати, покращує засвоєння математичного змісту (Mulqueen, et al., 2015).

Турецькі дослідники Ö. Özyurt, H. Özyurt, A. Baki, B. Güven наводять інший приклад педагогічної діяльності, в якій використовується електронне навчання з індивідуалізованим середовищем електронного навчання під назвою UZWEBMAT. Як стверджують автори публікації, таке поєднання сприяє підвищенню індивідуальної уваги учнів. Крім того, таке індивідуалізоване середовище електронного навчання адаптоване до стилю навчання учнів, покращуючи їхні навички розуміння. Це також підвищує їхню відповідальність за навчання та відображається на мотивації та академічній успішності (Özyurt, et al., 2013).

Досить цікавою для наших досліджень виявилася публікація мексиканських авторів M. Gómez-Zermeño, H. Franco-Gutiérrez (2018), які описали результати експерименту, основною метою якого було з'ясувати, чи може віртуальне академічне консультування бути інструментом для зниження рівня невдач у навчанні математики. У Мексиці старша середня освіта є рівнем, який передувє навчанню в університеті, з учнями віком від 14 до 18 років. Останнім часом у Мексиці спостерігається відмова учнів від навчання у старшій школі. Вважається, що велика кількість учнів, які кидають навчання в школі, роблять це через небажання вивчати математику. Навіть після запровадження реформи старшої середньої освіти RIEMS (Reforma Integral del Nivel Medio Superior) проблеми відсіву продовжують зростати і, отже, залишаються пріоритетом освітньої політики в Мексиці. M. Gómez-Zermeño, H. Franco-Gutiérrez (2018) провели спеціальне дослідження, спрямувавши його на визначення ефективності віртуального академічного консультування (з використанням навчальних платформ) та з'ясування того чи може це бути інструментом для зниження показників невдач у навчанні математики учнів старшої школи. Для вибірки було відібрано трьох студентів, які дозволили дослідникам отримувати інформацію про використання ними технологічних ресурсів для навчання математики, про час, який витрачений на формування знань з математики під час віртуального консультування, і, перш за все, про функціональність формування математичних навичок у віртуальному середовищі для отримання кращих результатів навчання математики. Відібрані студенти мали погану успішність з математики і планували припинити навчання в старшій школі. Автори експерименту розробили навчальний курс на платформі Moodle, який був доступний безкоштовно, з метою надання навчальних текстів, віртуальної взаємодії та інших важливих заходів для навчання математики. Теми на платформі були узгоджені з іспитами з математики, щоб дізнатися про вплив навчання з використанням платформи на академічну успішність. Також були використані наявні ресурси в Інтернеті: наприклад, Path to Math допоміг учням поліпшити знання

з базової математики в питаннях попередньої та елементарної алгебри, допоміг збалансувати базові математичні знання, а також ознайомити учнів із використання технологічних платформ для вивчення математики. Регулярно проводилися структуровані інтерв'ю зі учнями та їхніми вчителями, що було основним інструментом для збору відповідних даних, які відображали спосіб, у який учні накопичували знання з математики, а також дозволяло відслідковувати сприйняття учнями віртуального навчання математики. Спочатку студентам було важко користуватися платформою через відсутність у них навичок тайм-менеджменту; учні не мали бажання самостійно працювати на навчальних платформах, оскільки не було прямого контролю з боку вчителя. Згодом учні дізналися про доступні технологічні ресурси, Path to math та їх діяльність; вони взяли на себе зобов'язання використовувати платформу часто та відповідально.

Курс, створений на платформі Moodle, відстежував прогрес учнів у навчанні математики, ведучи записи про їхні оцінки. На цьому етапі учні погодилися на механізм, подібний до того, що застосовувався в їхніх класах. Тобто зобов'язання було встановлено безпосередньо щодо того, що необхідно виконувати все те про що домовилися для участі в проекті. Платформа Khan Academy була використана після Moodle. На ній учні знайшли зовсім іншу схему вивчення математики. Платформа створює різні очікування, тести визначили новий рівень, пропонуючи персонажів, які створюють чітку ідентичність у студентів, зовнішня мотивація полягає в досягненні нового рівня, як у відеоіграх. Студентам сподобалася ця платформа, оскільки вона пропонувала їм справжню можливість взаємодіяти з нею без попереднього планування чи суто академічних зобов'язань. Учні зареєструвалися на платформі Khan Academy, на якій створювалися віртуальні класи з темами, запропонованими вчителем; учні взяли на себе зобов'язання витратити принаймні п'ять годин на тиждень, щоб переглянути вміст і заходи, включені в платформу. Основна перевага полягала в тому, що теми на платформі були розроблені таким чином, що учитель міг зараховувати учнів на конкретні теми з математики, серед яких були саме ті теми, які вчитель вважав необхідними для додаткового опрацювання, а також ті, які дозволили б їм здійснювати просування за різними аспектами навчання. Однією з переваг платформи Khan Academy є розвиток звички вчитися, оскільки вона пропонує учням різноманітні актуальні тем, які можуть привабити учнів набирати бали та досягати цілей. Учня це сподобалося, оскільки на платформі були практичні вправи, навчальні посібники та тести, які дають змогу відразу ж побачити прогрес кожного учня у навчанні. З іншого боку, вчителі також можуть спостерігати за прогресом учнів. Основний недолік полягав у тому, що, будучи віртуальним і асинхронним інструментом, було важко здійснювати безперервне спостереження, оскільки основна ідея полягала в тому, щоб дозволити учням виявити власні інтереси в рамках платформи та здебільшого використовувати її як навчальну допомогу для вирішення своїх власних проблем у навчанні математики.

За результатами вказаного експериментального дослідження, автори публікації (Gómez-Zermeño & Franco-Gutiérrez, 2018) зробили висновки, що навчальні платформи можуть відкрити для вчителів математики широкий вибір можливостей з підвищення ефективності навчання учнів математики. Однак, зауважують автори експерименту, існування навіть найякісніших навчальних платформ не звільняє вчителів від кропіткої методичної роботи, яка залишається вкрай важливою. Досягнення певних результатів навчання та рівнів сформованості математичної компетентності, має регулярно відслідковувати вчитель математики, щоб мати ясність у наступному доборі методів та інструментів, які варто використовувати як в умовах класу, так і в умовах використання навчальних платформ. Стратегії в рамках дослідження використовували існуючі технологічні платформи, які дозволяли учням інтегрувати різні інструменти, які показували нові шляхи посилення їх вивчення математики в класі. У цьому сенсі учні показали, що вони відкриті до можливостей нових і різних навчальних середовищ, які могли б захопити до вивчення математики.

Таким чином, підсумовують автори статті, використання віртуальних платформ може бути дуже корисним, якщо вчителі математики використовують їх під час планування своїх занять як союзника в досягненні цілей математичної освіти. Дослідники із США C. Bailey, & K. Card (Bailey & Card, 2009) аналізують ефективність електронного навчання з точки зору висококваліфікованих, відзначених нагородами вчителів, які активно користуються засобами онлайн-освіти. Стимулювання стосунків, оперативність і своєчасність взаємодії, комунікація, організація, технологія, гнучкість і високі очікування були визнані кращими педагогічними підходами реципієнтів до онлайн-викладання. Любов учителів до навчання, співпереживання учням і готовність вести їх вперед — усе це може допомогти побудувати чудові зв'язки та спілкування між вчителями та їхніми учнями при електронному навчанні. Як зазначають C. Bailey, & K. Card (2009) учителі мають бути гнучкими, відданими та вчасно реагувати на повідомлення та електронні листи, вчасно надавати коментарі та оцінювати виконані завдання. Хороші онлайн-вчителі заохочують учнів ділитися своїми думками та досвідом і підтримують групові проекти, використовуючи ефективні технології та онлайн-дошки для обговорень. Добре організовані вчителі можуть досягти бажаних цілей, надаючи учням усі навчальні матеріали та інструменти, а також навчаючи їх тому, як ефективно використовувати інтернет ресурси. Успішні вчителі вміють справлятися з новими технологіями та адаптуватися до них, а також бути переважно доступними в Інтернеті, щоб своєчасно та ввічливо відповідати на запити та проблеми учнів.

ОБГОВОРЕННЯ

Наш аналіз вищевказаних публікацій дає змогу зробити висновок, що навчання математики з використанням сучасних навчальних платформ має низку позитивних характеристик, серед яких: забезпечення можливості навчання з будь-якого місця, за умов наявності технологічного пристрою; заохочення набуття студентами цифрової компетентності; можливість адаптації до індивідуального темпу навчання учнів; налагодження комунікації, як синхронної, так і асинхронної; сприяння діалогу та груповій діяльності, покращення міжособистісних стосунків учнів; заохочення співпраці між учнями, досягнення спільних цілей при розробці різних завдань; підвищення мотивації, оскільки учень може виробити й використовувати власний стиль навчання; сприяння набуттю компетентності «навчитися вчитися»; можливість доступу до необмеженої кількості навчальних ресурсів; урізноманітнення контролю вчителя за навчальною діяльністю учнів; сприяння ознайомленню учнів із раціональним використанням технологічних і цифрових ресурсів у навчанні. Майже всі автори проаналізованих нами публікацій сходяться на думці, що використання віртуальних платформ може бути дуже корисним, якщо вчителі математики використовують їх під час підготовки своїх занять як союзника в досягненні

цілей математичної освіти. Водночас, цифрові навчальні платформи значно впливають на сутність методичної діяльності вчителів математики. Застосування електронного навчання для всіх, хто залучений до процесу викладання та навчання, стає проблемою, оскільки для його гарантованого використання потрібен, як мінімум, середній рівень цифрової компетентності. Тому вчителів і учнів необхідно навчати використанню різноманітних технологічних і цифрових ресурсів.

ВИСНОВКИ

Наш аналіз закордонних публікацій дозволяє стверджувати, що під поняттям «цифрова навчальна платформа» найчастіше розуміється поєднання інтерактивного цифрового середовища та адміністративних інструментів, які зорієнтовані на вчителів та учнів. Використання цифрових навчальних платформ, проектування та подальший розвиток хмаро орієнтованого навчального середовища є одними з ключових напрямків розвитку освіти в Латвії, Іспанії, Туреччині, Мексиці, Данії, США. Дослідники вказаних країн: аналізують вплив електронного навчання математики на учнів, у порівнянні із традиційним навчанням; обґрунтовують, що навчальні платформи можуть відкрити для вчителів математики широкий вибір можливостей з підвищення ефективності навчання учнів математики. Автори проаналізованих нами публікацій (США, Мексика, Туреччина, Іспанія) часто сходяться на думці, що важливо аналізувати освітню цінність і педагогічний потенціал навчальних платформ. Автори з Данії, Латвії та Іраку у статтях 2020-2023 років зауважують, що досліджень ефективності впровадження цифрових навчальних платформ нині не так багато. Одним з важливих факторів, який змінює сучасне навчальне середовище, як стверджують закордонні дослідники, є здатність і бажання учнів самостійно керувати своїм навчанням. Тому ефективне використання цифрових навчальних платформ значно змінює сутність методичної діяльності учителів математики.

Поєднання закордонного досвіду використання цифрових навчальних платформ з потенціалом досліджень українських вчених є одним з найефективніших напрямів подальшого впровадження елементів інноваційних технологій дистанційного навчання в українську систему освіти. Метою наступних наших досліджень є продовження аналізу закордонного досвіду використання цифрових навчальних платформ в шкільній освіті та ґрунтовне вивчення й аналіз освітньої цінності і педагогічного потенціалу навчальних платформ, які використовуються в Україні у процесі навчання математики учнів старшої школи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Albano, G.; Dello, U. (2019). GeoGebra in e-learning environments: A possible integration in mathematics and beyond. *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, 10, 4331–4343. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12652-018-1111-x>
2. Artuso, A. R., & Graf, S. T. (2020). Science and Math Courses in a Danish Digital Learning Platform: What makes them more or less popular? *IARTEM E-Journal*, 12(1). <https://doi.org/10.21344/iartem.v12i1.726>
3. Bailey, C., & Card, K. (2009). Effective pedagogical practices for online teaching: Perception of experienced instructors. *The Internet And Higher Education*, 12(3–4), 152–155. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2009.08.002>
4. Brugerportalinitiativet (2014). Undervisningsministeriet. URL: <https://www.stil.dk/-/media/filer/stil/pdf16/141015-aftaletekst-om-brugerportalinitiativet.pdf>
5. Danmarks Evalueringsinstitut. (2016). Implementering af digitale læringsplatforme –de første erfaringer. URL: <https://www.eva.dk/grundskole/implementering-digitale-laeringsplatforme-foerste-erfaringer>
6. Gómez-Zermeño, M., Franco-Gutiérrez, H. (2018). The use of educational platforms as teaching resource in mathematics. *Journal of Technology and Science Education JOTSE*, 8(1): 63-71.
7. Graf, S. T.; Gissel, S. T.; Slot, M. F. (2018). Course designs in Meebook's course builder –analysis of 102 course designs. *Journal of Learning and Media*, 11(18), 1-29. URL: <https://www.ucviden.dk/en/publications/course-designs-in-meebooks-course-builder-analysis-of-102-course->
8. Kølsten, C., & Qvortrup, A. (2017). Delrapport 6: Teknisk rapport om survey-data. URL: <http://www.emu.dk/modul/delrapport-6-teknisk-rapport-med-data-om-brug-af-l%C3%A6ringsplatforme>
9. Moreno-Guerrero, A.-J.; Aznar-Díaz, I.; Cáceres-Reche, P.; Alonso-García, S. (2020). E-Learning in the Teaching of Mathematics: An Educational Experience in Adult High School. *Mathematics*, 8, 840. <https://doi.org/10.3390/math8050840>
10. Mulqueen, K.; Kostyuk, V.; Baker, R.S.; Ocampo, J. (2015). Incorporating effective e-learning principles to improve student engagement in middle-school mathematics. *Int. J. STEM Educ.*, 2, 1–14. URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40594-015-0028-6>, <http://www.tccenter.ir/ArticleFiles/ENARTICLE/3726.pdf>
11. Özyurt, Ö., Özyurt, H., Baki, A., Güven, B. (2013). Integration into mathematics classrooms of an adaptive and intelligent individualized e-learning environment: Implementation and evaluation of UZWEBMAT 29, 726–738.
12. Rüdolf, A., Daniela, L. (2021). Learning Platforms in the Context of the Digitization of Education: A Strong Methodological Innovation. The Experience of Latvia. In: Scaradozzi, D., Guasti, L., Di Stasio, M., Miotti, B., Monteriù, A., Blikstein, P. (eds) *Makers at School, Educational Robotics and Innovative Learning Environments. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 240. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_28
13. Sofi-Karim, M., Bali, AO & Rached, K. (2023). Онлайн-освіта через медіа-платформи та програми як інноваційний метод навчання. *Educ Inf Technol* 28, 507–523. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11188-0>
14. Tamborg, A. L. (2019). Organizational and Pedagogical Implications of Implementing Digital Learning Platforms in Danish Compulsory Schools. Aalborg Universitetsforlag. Aalborg Universitet. Det Humanistiske Fakultet. Ph.D.-Serien. URL: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/307980350/PHD_Andreas_Lindenskov_Tamborg_E_pdf.pdf
15. Белан В. Ю. (2015). Підготовка майбутніх учителів професійних технічних предметів із використанням технологій дистанційного навчання в університетах Республіки Польща. [Неопубл. дис. доктора філософії]. Інститут професійно-технічної освіти Національної академії педагогічних наук України, Київ, 2021. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/725831/1.pdf>
16. Вакалюк Т. А. (2014) Підходи до створення різних видів навчального середовища у закладах зарубіжжя. *Science and Education a New Dimension. Pedagogy and Psychology*. II (16), 33. BUDAPEST, 38-41.
17. Доценко, С. О. (2021) Досвід організації дистанційного навчання в Китаї. Херсон. акад. неперервн. освіти (редкол.: В. В. Кузьменко (голов. ред.) та ін.), 47, 26–34. URL: <https://dspace.hnpu.edu.ua/items/57060296-69ba-447a-b854-014b239f97a1>
18. Попель М. В. Тенденції розвитку і використання хмаро орієнтованих систем у підготовці вчителів країн Європи. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/223353949.pdf>

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Albano, G.; Dello, U. (2019). GeoGebra in e-learning environments: A possible integration in mathematics and beyond. *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, 10, 4331–4343. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12652-018-1111-x>
2. Artuso, A. R., & Graf, S. T. (2020). Science and Math Courses in a Danish Digital Learning Platform: What makes them more or less popular? *IARTEM E-Journal*, 12(1). <https://doi.org/10.21344/iartem.v12i1.726>
3. Bailey, C., & Card, K. (2009). Effective pedagogical practices for online teaching: Perception of experienced instructors. *The Internet and Higher Education*, 12(3–4), 152–155. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2009.08.002>
4. Brugerportalinitiativet (2014). Undervisningsministeriet. URL: <https://www.stil.dk/-/media/filer/stil/pdf16/141015-aftaletekst-om-brugerportalinitiativet.pdf>
5. Danmarks Evalueringsinstitut. (2016). Implementering af digitale læringsplatforme –de første erfaringer. URL: <https://www.eva.dk/grundskole/implementering-digitale-laeringsplatforme-foerste-erfaringer>
6. Gómez-Zermeño, M., Franco-Gutiérrez, H. (2018). The use of educational platforms as teaching resource in mathematics. *Journal of Technology and Science Education JOTSE*, 8(1): 63-71.
7. Graf, S. T.; Gissel, S. T.; Slot, M. F. (2018). Course designs in Meebook's course builder –analysis of 102 course designs. *Journal of Learning and Media*, 11(18), 1-29. URL: <https://www.ucviden.dk/en/publications/course-designs-in-meebooks-course-builder-analysis-of-102-course->
8. Kølsten, C., & Qvortrup, A. (2017). Delrapport 6: Teknisk rapport om survey-data. URL: <http://www.emu.dk/modul/delrapport-6-teknisk-rapport-med-data-om-brug-af-l%C3%A6ringsplatforme>
9. Moreno-Guerrero, A.-J.; Aznar-Díaz, I.; Cáceres-Reche, P.; Alonso-García, S. (2020). E-Learning in the Teaching of Mathematics: An Educational Experience in Adult High School. *Mathematics*, 8, 840. <https://doi.org/10.3390/math8050840>
10. Mulqueeny, K.; Kostyuk, V.; Baker, R.S.; Ocumpaugh, J. (2015). Incorporating effective e-learning principles to improve student engagement in middle-school mathematics. *Int. J. STEM Educ.* 2, 1–14. URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40594-015-0028-6>, <http://www.ttccenter.ir/ArticleFiles/ENARTICLE/3726.pdf>
11. Özyurt, Ö., Özyurt, H., Baki, A., Güven, B. (2013). Integration into mathematics classrooms of an adaptive and intelligent individualized e-learning environment: Implementation and evaluation of UZWEBMAT 29, 726–738.
12. Rüdolf, A., Daniela, L. (2021). Learning Platforms in the Context of the Digitization of Education: A Strong Methodological Innovation. The Experience of Latvia. In: Scaradozzi, D., Guasti, L., Di Stasio, M., Miotti, B., Monteriù, A., Blikstein, P. (eds) *Makers at School, Educational Robotics and Innovative Learning Environments. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 240. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_28
13. Sofi-Karim, M., Bali, AO & Rached, K. (2023). Онлайн-освіта через медіа-платформи та програми як інноваційний метод навчання. *Educ Inf Technol* 28, 507–523. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11188-0>
14. Tamborg, A. L. (2019). Organizational and Pedagogical Implications of Implementing Digital Learning Platforms in Danish Compulsory Schools. Aalborg Universitetsforlag. Aalborg Universitet. Det Humanistiske Fakultet. Ph.D.-Serien. URL: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/307980350/PHD_Andreas_Lindenskov_Tamborg_E_pdf.pdf
15. Belan V. Yu. (2015). Pidhotovka maibutnikh uchyteliv profesiinykh tekhnichnykh predmetiv iz vykorystanniam tekhnolohii dystantsiinoho navchannia v universytetakh Respubliki Polshcha. [Neopubl. dys. doktora filosofii]. Instytut profesiino-tekhnichnoi osvity Natsionalnoi akademii pedahohichnykh nauk Ukrainy, Kyiv, 2021. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/725831/1.pdf>
16. Vakaliuk T. A. (2014). Pidkhody do stvorennia riznykh vydiv navchalnoho seredovyscha u zakladakh zarubizhzhia. *Science and Education a New Dimension. Pedagogy and Psychology*. II (16), 33. BUDAPEST, 38-41.
17. Dotsenko, S. O. (2021) Dosvid orhanizatsii dystantsiinoho navchannia v Kytai. Kherson. akad. neperervn. osvity (redkol.: V. V. Kuzmenko (holov. red.) ta in.), 47, 26–34. URL: <https://dspace.hnpu.edu.ua/items/57060296-69ba-447a-b854-014b239f97a1>
18. Popel M. V. Tendentsii rozvytku i vykorystannia khmaro oriientovanykh system u pidhotovtsi vchyteliv krain Yevropy. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/223353949.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 10.31110/2413-1571-2023-038-3-007

УДК 372.853

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЗАДАЧІ З ФІЗИКИ В ТЕХНІЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ

Сергій ПОДЛАСОВ ✉

Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут
 імені Ігоря Сікорського», Україна
 s.podlasov@kpi.ua
<https://orcid.org/0000-0002-3947-4401>

Дмитро СВЕРДЛІЧЕНКО

Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут
 імені Ігоря Сікорського», Україна
 sverdlichenko.dmitry.of01@gmail.com

Олексій МАТВІЙЧУК

Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут
 імені Ігоря Сікорського», Україна
 o.matviychuk@kpi.ua
<https://orcid.org/0000-0002-4732-9677>

THE EXPERIMENTAL PHYSICS PROBLEMS AT THE TECHNICAL UNIVERSITY

Serhii PODLASOV ✉

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine
 s.podlasov@kpi.ua
<https://orcid.org/0000-0002-3947-4401>

Dmitry SVERDLICHENKO

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine
 sverdlichenko.dmitry.of01@gmail.com

Oleksii MATVIICHUK

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine
 o.matviychuk@kpi.ua
<https://orcid.org/0000-0002-4732-9677>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. Підготовка інженерів у технічному університеті має на увазі не тільки оволодіння студентами теоретичними знаннями, але й набуття умінь їх практичного застосування, оскільки здатність і готовність інженера при необхідності, вирішувати проблеми дослідницького характеру, є однією з вимог, яка висувається до кваліфікації фахівця в документах Міжнародного інженерного альянсу та Європейської федерації інженерних асоціацій. Значні можливості для цього, особливо в умовах дистанційного навчання, мають експериментальні задачі, які можна пропонувати студентам для самостійного розв'язування у домашніх умовах з використанням доступних засобів.

Матеріали і методи. Дослідження ґрунтується на аналізі програм курсу фізики для підготовки бакалаврів інженерних спеціальностей, огляді літературних джерел, присвячених темі дослідження та задач із традиційних збірників, які можуть бути перероблені на експериментальні. Дані, необхідні для їх розв'язування, повинні бути знайдені в експерименту, який в умовах дистанційного навчання студенти проводять вдома. Необхідне для цього обладнання повинно бути доступним, або ж його можна легко виготовити, а також застосувати вільно поширювані програмні продукти для комп'ютера та смартфона.

Результати. Аналіз навчальних програм та огляд літературних джерел дозволив відібрати з розділів «Механіка», «Молекулярна фізика», «Електричний струм», «Механічні коливання» стандартних збірників задачі, які можна використовувати як експериментальні і які студенти мають можливість розв'язувати вдома. Спроможність поставити необхідний експеримент, до певної міри, можна вважати мистецтвом, яким володіють далеко не всі студенти. Це зумовлює необхідність складання вказівок до постановки досліду, зв'язаного з умовою експериментальної задачі.

Висновки. На прикладах експериментальних задач показана можливість їх застосування при дистанційному навчанні, що дозволяє розвивати експериментаторські уміння студентів та застосовувати теоретичні знання для розв'язування практичних завдань.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: експериментальні задачі; домашній експеримент; саморобне експериментальне обладнання, смартфон.

ABSTRACT

Formulation of the problem. The training of engineers at a technical university involves not only mastering students' theoretical knowledge, but also acquiring skills of their practical application, since the ability and willingness of an engineer, if necessary, to solve research problems, is one of the requirements for the qualification of a specialist in the documents of the International Engineering alliance and the European Federation of Engineering Associations. Significant opportunities for this, especially in the conditions of distance learning, have experimental tasks that can be offered to students for independent solving at home using available tools.

Materials and methods. The research is based on the analysis of physics course programs for the bachelors of engineering specialties, a review of literary sources devoted to the researched and problems from traditional physics problems books that can be reformulated into experimental ones. The data needed to solve the problem must be found from an experiment that students conduct at home in distance learning conditions. The needed equipment must be available or easily manufactured, as well as free distributed software for computer and smartphone.

Results. The analysis of training programs and a review of literary sources allowed to select from the sections "Mechanics", "Molecular Physics", "Electric Current", "Mechanical Oscillations" of standard collections of physics problems that can be used as experimental and which students are able to solve at home. The ability to set up the necessary experiment, to a certain extent, can be considered an art that not all students possess. This necessitates to develop the guidelines for conducting experiments related to the experimental problem conditions.

Conclusions. The examples of experimental problems demonstrated the possibility of their application in distance learning. Solving such problems should contribute to the development of students' experimental skills and their ability to apply theoretical knowledge to solve practical problems.

KEYWORDS: experimental problems; home experiment; homemade experimental equipment, a smartphone.

Для цитування:

Подласов С., Сverdlichenko Д., Матвійчук О. Експериментальні задачі з фізики в технічному університеті. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 3. С. 50-56. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-3-007

Подласов, С., Сverdlichenko, Д., & Матвійчук, О. (2023). Експериментальні задачі з фізики в технічному університеті. *Фізико-математична освіта*, 38(3), 50-56. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-007>

For citation:

Podlasov, S., Sverdlichenko, D., & Matviichuk, O. (2023). The experimental physics problems at the technical university. *Physical and Mathematical Education*, 38(3), 50-56. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-007>

Podlasov, S., Sverdlichenko, D., & Matviichuk, O. (2023). Eksperymentalni zadachi z fizyky v tekhnichnomu universyteti [The experimental physics problems at the technical university]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(3), 50-56. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-007>

ВСТУП

Постановка проблеми. Широке застосування дистанційного навчання ставить перед викладачами проблему розробки методів і засобів для формування елементів експериментаторських умінь здобувачів вищої інженерної освіти. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є застосування експериментальних задач, зміст яких відповідає навчальним планам та програмам, а експериментальна частина яких може бути реалізована в домашніх умовах за відсутності лабораторного обладнання та приладів.

Аналіз актуальних досліджень. У науково-методичній літературі та збірниках експериментальних задач головна увага приділяється задачам, які відповідають програмі середньої школи (Зибер, 1926), (Ланге, 1985), (Мошков, 1955), а також проблемам їх застосування при підготовці майбутніх вчителів фізики (Бугаєв, 1981). Нажаль, в літературі практично відсутні експериментальні задачі для здобувачів вищої інженерної освіти.

За означенням О. І. Бугайова : «Експериментальними називають задачі, в яких експеримент слугує засобом одержання величин, необхідних для розв'язання, дає відповідь на поставлене в задачі запитання або є засобом перевірки зроблених згідно з умовою розрахунків» (Бугаєв, 1981, с.217). Звідси стає очевидною відміна між лабораторною роботою, експериментальним завданням та експериментальною задачею.

Як відзначено у роботі (Галатюк & Галатюк, 2019) «у процесі розв'язування експериментальних задач учні отримують можливість завдяки організації активної пізнавальної діяльності досліджувати конкретні матеріальні об'єкти і явища, здобувати нові знання, розвивати експериментальні уміння і навички, засвоювати досвід експериментування, знайомитися з експериментальним методом наукового пізнання». Як відзначає А. А. Давиденко (2004, с. 88) «значна кількість експериментальних задач не має готового алгоритму розв'язання, що робить їх приналежними до категорії творчих задач». Таким чином, діяльність студента по розв'язуванню експериментальної задачі, за своєю суттю, являє собою мінідослідження, що наближає її до діяльності дослідницького характеру.

Розв'язування студентами та школярами експериментальних задач «забезпечує єдність засвоєння теоретичного матеріалу з його практичним застосуванням» (Садовий & Руденко, 2015), що дозволяє сформувати елементи експериментаторської компетентності.

До головних складових експериментаторської компетентності П. С. Атаманчук (Atamanchuk & et al, 2019) та В. В. Мендерецький (2006) відносять уміння: «формування цілей та завдань досліджу; планування дослідницької діяльності; відбір та підготовка обладнання до роботи; аналіз проведених спостережень та досліджень; інтерпретація результатів експерименту, формулювання висновків у кінці роботи».

Експериментаторські компетентності фактично відображають ті дії, які повинні бути виконані при розв'язуванні експериментальних задач. Так, у роботі (Галатюк & Галатюк, 2019, с.93). запропоновані такі етапи розв'язування експериментальних задач: 1. Постановка проблеми у вигляді експериментальної задачі; 2. Розробка теоретичної моделі розв'язку експериментальної задачі; 3. Розробка моделі експерименту; 4. Виконання експерименту; 5. Аналіз і інтерпретація результатів експерименту.

Мета статті полягає у висвітленні можливості застосування експериментальних задач при вивченні фізики студентами технічного університету, котрі навчаються за програмою підготовки бакалаврів, а також варіантів реалізації необхідних експериментальних досліджень.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Теоретичними основами дослідження є курс фізики за програмою підготовки бакалаврів інженерного спрямування, методи розв'язування задач з курсу фізики, організація домашніх дослідів і спостережень та використання засобів ІКТ у фізичному експерименті.

МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження ґрунтується на аналізі програм курсу фізики для бакалаврів інженерних спеціальностей, огляді літературних джерел, присвячених темі дослідження, та задач із традиційних збірників (наприклад, (Гаркуша та ін. 2003), (Иродов, 1988) та ін., які можуть бути переформульовані на експериментальні. Оскільки необхідні для їх розв'язування дані, повинні бути знайдені з експерименту, який в умовах дистанційного навчання проводиться вдома, то необхідне для цього обладнання повинно бути доступним, або ж його можна легко виготовити, використовуючи підручні матеріали, побутові предмети, дитячі іграшки тощо. В якості вимірювальних приладів можуть використовуватися лінійка, транспортер, відеокамера та секундомір смартфона тощо, а для фіксації та обробки результатів – вільно поширювані програмні продукти для комп'ютера та смартфона.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При дистанційному навчанні розв'язування експериментальних задач потребує проведення студентами експериментів у домашніх умовах. Ураховуючи обмежені можливості і засоби для проведення такого експерименту в умовах задач треба передбачати: 1) можливість проведення натурального експерименту з використанням доступних засобів; 2) використання відеозаписів натурального експерименту, або ж фрагментів кінофільмів, мультфільмів, комп'ютерних ігор тощо; 3) використання комп'ютерних симуляцій фізичного експерименту.

Натурний експеримент

Для проведення натурального експерименту в домашніх умовах можуть бути використані предмети домашнього вжитку, дитячі іграшки тощо, або «експериментальне обладнання», яке легко виготовити. Допмагають у виготовленні такого обладнання рекомендації у науково-методичній літературі (див., наприклад, (University of Wisconsin – Madison) та відеофільми в Інтернеті. На рис. 1 – 3 показані знімки екрану відеофільмів на каналі YouTube, де демонструється виготовлення «катапульти» для дослідження руху тіла, кинутого під кутом до горизонту, «обладнання» для дослідження

руху тіла по траєкторії у формі мертвої петлі, домашній «фокус», який ґрунтується на законі Шарля. Подібне «обладнання» може бути використано при формулюванні умов багатьох експериментальних задач.

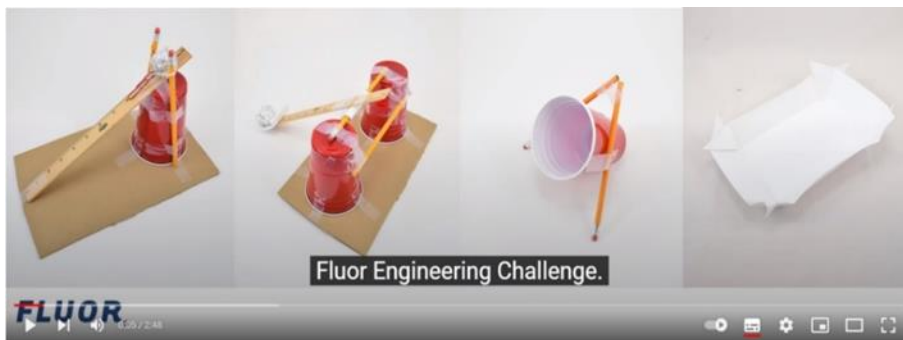


Рис. 1. «Катапульта» для дослідження руху тіла, кинутого під кутом до горизонту (<https://www.youtube.com/watch?v=FMcbAiTfx7A>)

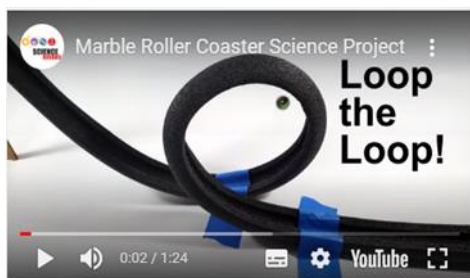


Рис. 2. Рух тіла по траєкторії у формі «мертвої петлі»
(https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/Phys_p037/physics/roller-coaster-marbles-converting-potential-energy-to-kinetic-energy)



Рис. 3. Вивчення закону Шарля
(<https://www.youtube.com/watch?v=uk9mDloKKdQ>)

Наприклад, експеримент з катапультою потрібен в задачах на визначення параметрів руху тіла, кинутого під кутом до горизонту. У стандартних збірниках задач найчастіше задаються початкова швидкість тіла v_0 , кут кидання φ та висота точки кидання h . В експериментальній задачі з використанням катапульти φ та h легко визначити за результатами прямих вимірів розмірів катапульти, а невідому початкову швидкість обчислити за результатами експериментально виміряної горизонтальної дальності польоту l :

$$v_0^2 = \frac{gl^2}{2(h \cos \varphi + l \sin \varphi)}.$$

Використання величин φ , h та v_0 дозволяє розв'язувати задачі, подібні до тих, що наведені у згаданих вище та інших збірниках задач з фізики.

Ще одним цікавим прикладом може бути задача № 1.147 із збірника (Иродов, 1988), в якій треба визначити роботу сили тертя при зісковзуванні ланцюжка заданої маси і довжини зі стола, якщо він починає рух, коли з краю стола звисає його певна частка (рис.4). В експериментальному варіанті цієї задачі студенти повинні дослідним шляхом визначити довжину звисаючої частини ланцюжка, при якому починається ковзання, а масу – за допомогою кухонних електронних ваг.



Рис. 4. Визначення довжини частки ланцюжка, при якому починається ковзання

Коло експериментальних задач значно розширюється завдяки застосуванню сучасних смартфонів. За результатами нашого опитування 96 % студентів мають смартфони віком не більше 2 років. Всі ці смартфони мають секундомір, відеокамеру і оснащені різноманітними датчиками, такими як GPS, акселерометр, гіроскоп, магнітометр (датчик Холла), датчики наближення, освітленості, тиску (які саме датчики встановлені в смартфоні можна визначити, наприклад, за допомогою програми Sensors Multitool, Sensor Kinetics, Datchiker (для Android) та Sensors (для iOS)). Сигнали датчиків за допомогою відповідних програмних продуктів перетворюються на значення фізичних величин, тобто смартфон стає вимірювальним приладом (Delabre, 2020; Kuhn & Vogt, 2022). Проведене нами опитування (Slipukhina et al., 2020) показало, що переважна більшість респондентів знають про наявність датчиків, (особливо популярним є датчик GPS-навігації), але не використовують їх у своїй навчальній діяльності.

До переваг застосування смартфона в якості вимірювального пристрою (Park et al., 2022) відносять можливість проводити спостереження, які складно проводити безпосередньо й одержувати достатньо точні результати вимірювань, однак при цьому проявляються і деякі недоліки, а саме, занадто велика кількість одержаних даних, а також те, що студенти покладаються лише на додатки для смартфонів для збору та аналізу даних і не беруть участь у когнітивному процесі.

Найбільш відомими вільно поширюваними програмними продуктами, які перетворюють смартфон на мобільну фізичну лабораторію, є PhyPhox (<https://phyphox.org/>), (<https://phyphox.org/topic/tools/>) та Physics Toolbox Suite (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=en&gl=US&pli=1>).

Експерименти з використанням PhyPhox широко представлені в літературі та системі допомоги до цього застосунку. База даних Scopus тільки за ключовим словом «PhyPhox» надає 36 посилань, в пошукова система Google Академія – близько 1130. Значна частка цих дослідів може бути використана для формулювання експериментальних задач. Наприклад, в роботі (Kuhn & Vogt, 2012) описані досліди стосовно коливань смартфона на пружині. У домашніх умовах такі коливання доцільно досліджувати, використовуючи гумову нитку для білизни. «Обладнання» для такого досліді показано на рис. 3а. Використання даних акселерометра смартфона (рис. 5) дозволяє розв'язувати задачі по визначенню параметрів загасаючих коливань після відповідних змін умов стандартних задач (див. збірник задач (Гаркуша та ін., 2003) №№ 4.86, 4.89, 4.91). При цьому завдання легко індивідуалізувати, задавши різну довжину нитки для кожного студента.

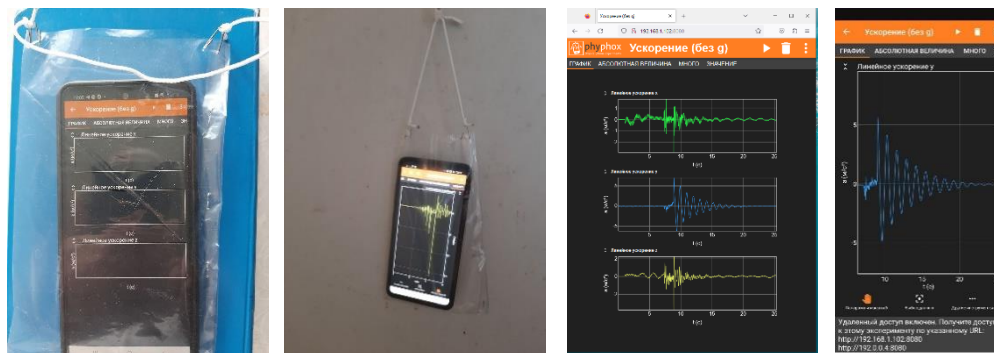


Рис. 5. Вивчення загасаючих коливань

При розв'язуванні задач, в яких розглядаються механічні процеси, перебіг яких складно фіксувати, в пригоді може стати їх відеозйомка з подальшим аналізом за допомогою вільно поширюваної програмою Tracker. Прийоми роботи з цією програмою представлені на сайті вчителів фізики м. Києва (https://phys.ipo.kubg.edu.ua/?page_id=4727/) та роботах (Brown & Cox, 2009; Chernetskii et al., 2022; Eadkhong et al, 2022).

Приклад експериментальної задачі із застосуванням програми Tracker (задача № 1.64 з відомого збірника задач І. Є. Іродова видання 1988 р). Тіло пустили вгору по похилій площині з кутом нахилу α . Визначити коефіцієнт тертя, якщо час руху вгору виявився у k разів менший за час спуску.

Похилою площиною може бути книжка достатнього розміру, а кут її нахилу легко визначити за допомогою PhyPhox, функція «Нахил» (рис.6 а), або ж застосунку Level. В якості тіла зручно використати монету. Результати відеозйомки руху монети оброблені програмою Tracker показані на рис. 6 б.



Рис. 6. Приклад застосування програми Tracker

а) визначення кута нахилу площини; б) знімок екрану програми Tracker (<https://youtube.com/shorts/BtKueLsE5k0?feature=share>)

Відеозйомка руху іграшки Йо-Йо (рис. 7 а), яка фактично є маятником Максвелла, або ж котушки з декоративною стрічкою (рис. 7 б), дозволяє сформулювати експериментальну задачу аналогічну № 1.288 із збірника (Іродов, 1988), але визначати момент інерції за величиною прискорення центра мас.

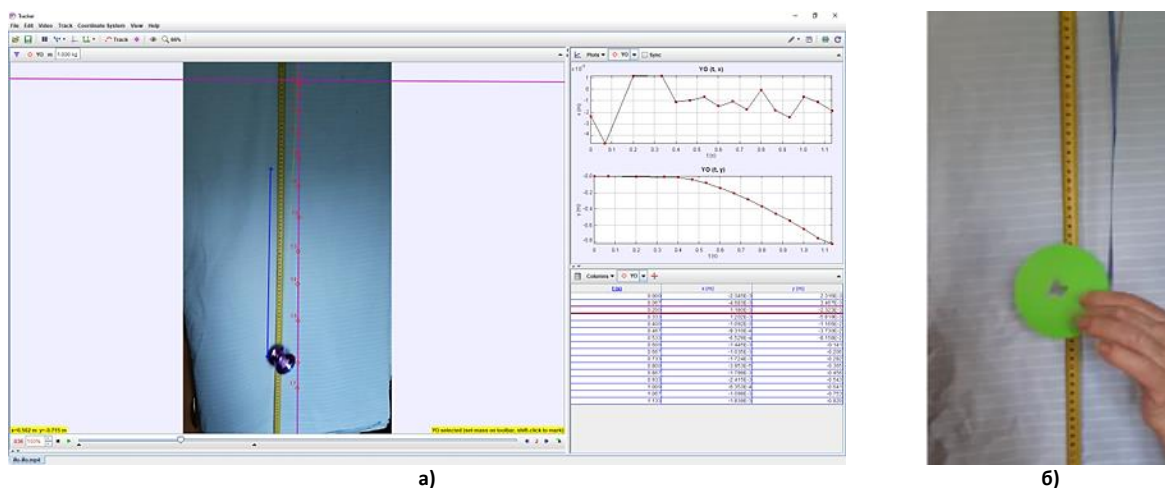


Рис. 7. Рух центра мас маятника Максвелла <https://youtube.com/shorts/ZQRdX8A8LO8?feature=share>

Як відмічають автори багатьох публікацій експериментаторські уміння сучасних учнів та студентів знаходяться на достатньо низькому рівні. Тому самостійна постановка експерименту при розв'язуванні задачі являє для них чи не найбільшу трудність. За таких умов ми вважаємо за потрібне надавати вказівки до постановки експерименту (див., наприклад, https://drive.google.com/drive/folders/1kHWph0Sd0fAX6NMVo7VljypzGMGVGVV5?usp=share_link).

Застосування симуляторів фізичних процесів.

Далеко не всі фізичні процеси можна дослідити в ході домашніх експериментів. Наприклад, переважна кількість студентів не мають вдома електровимірювальних приладів, мікроскопів тощо. Для формулювання задач, в яких повинні використовуватися недоступні в домашніх умовах прилади, припустимим є використання комп'ютерних моделей процесів та явищ, які представлені в умові задачі. Звичайно, ми розуміємо, що такі задачі не є повноцінними експериментальними, але їх використання дозволяє формувати значну частину елементів експериментаторської компетентності.

В Інтернеті можна знайти велику кількість анімацій фізичних процесів. Наприклад, онлайн моделі, представлені в PhET (<https://phet.colorado.edu/uk/>) дозволяють скласти задачі про рух тіла, кинутого під кутом до горизонту (<https://phet.colorado.edu/uk/simulations/projectile-motion>), закон збереження енергії (<https://phet.colorado.edu/uk/simulations/energy-skate-park>) та інші. І ці можливості використовуються для організації навчального процесу (Мястковська & Пшембаєв, 2016; Дряпак & Оліярник, 2022) та інші.

Для формулювання задач, присвячених вивченню електричного струму, зручно використовувати безкоштовний застосунок falstad, в якому містяться посилання на різноманітні симуляції фізичних процесів, зокрема, і симулятор електричних схем (<https://www.falstad.com/circuit/>). Суттєвими перевагами цього симулятора є багатий набір елементів електричних схем, можливість збереження створених схем в різних форматах, у тому числі у форматі гіперпосилання, можливість відтворення працюючих схем у браузері незалежно від операційної системи пристрою, який застосовується, відтак, відсутність потреби завантаження жодних додаткових програм у пристрій користувача. Це дозволяє включити таке посилання безпосередньо в умову задачі. Недоліком для використання в експериментальних задачах можна вважати те, що всі параметри схеми не можна сховати від студентів. У той же час, це можна вважати і перевагою, яка дозволяє індивідуалізувати завдання. Тому цей застосунок доцільно використовувати для перевірки результатів розрахунків достатньо складних схем, або ж для формулювання задач, в яких використовуються дані, одержані при роботі моделі.

Приклад. У схемі показаній на рис. 8 конденсатор ємності C приєднують через резистор R до джерела постійної напруги U_0 . Визначити кількість теплоти, яка виділиться в резисторі за час, за який напруга на конденсаторі досягне значення $U = 0,9U_0$.

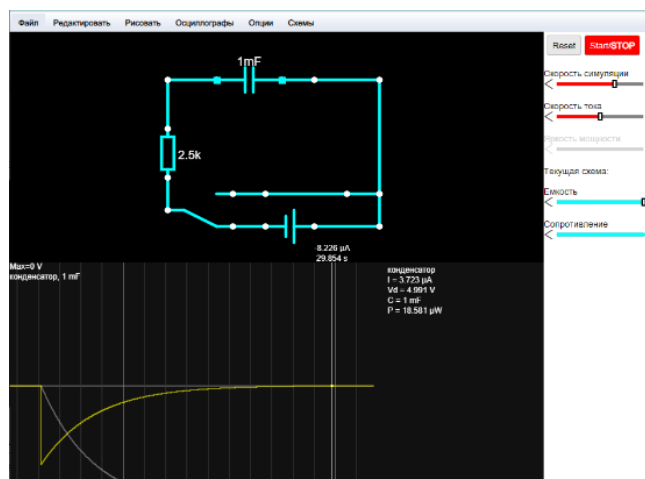


Рис. 8. Електрична схема в застосунку falstad

Розв'язування задач з фізики являє собою чи не найбільшу складність як для школярів, так і для студентів. Виконання необхідних дослідів при розв'язуванні експериментальних задач створює додаткові ускладнення, оскільки вимагає наявності у студентів ще й експериментаторських умінь. Однак як відзначають вітчизняні та іноземні фахівці, рівень експериментаторських умінь і навичок учнів та студентів є достатньо низьким (Подласов & Бригінець, 2013). Найбільш суттєвими є ускладнення, пов'язані з плануванням та проведенням експерименту (Arnold et al., 2014; Bitzenbauer et al., 2021; Kurbanbekov et al., 2016) та аналізом одержаних результатів. Тому ми додаємо рекомендації з підготовки експерименту (див., наприклад, https://drive.google.com/drive/folders/1kHWph0Sd0faX6NMVo7VllypzGMGVGVV5?usp=share_link) та посилання на приклади розв'язування задач на сайті <http://physics.zfftt.kpi.ua>.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні задачі є перспективним засобом для розвитку дослідницьких умінь студентів як при дистанційному, так і при змішаному навчанні. Застосування таких задач дозволяє поєднати традиційне розв'язування задач з проведенням експериментального дослідження. При роботі над такими задачами студенти повинні здійснювати майже такі ж самі дії як і при реальному експериментальному науковому дослідженні, що сприяє формуванню їхньої експериментаторської компетентності. Уміння, які при цьому набувають студенти, будуть вдосконалюватися в процесі навчання і використовуватися як у житті, так і в подальшій професійній діяльності.

Перспективи подальших досліджень ми вбачаємо у розробці системи експериментальних задач та завдань для домашніх дослідів за програмою курсу фізики технічного університету, виконання яких ґрунтується на застосуванні можливостей сенсорів, вбудованих в сучасні гаджети, програми Tracker та також комп'ютерних симуляції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Arnold, J. C., Kremer, K., & Mayer J. (2014). Understanding Students' Experiments—What kind of support do they need in inquiry tasks?, *International Journal of Science Education*, 36:16, 2719–2749. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.930209>
2. Atamanchuk, P. S., Bilyk, R. N., Menderetsky, V. V., & Panchuk, O. P. (2019). Development of experimeental competence student in higher education staff. *Pedagogical sciences "colloquim-journal"*, 3(27), 38–41.
3. Bitzenbauer, P., & Meyn, J.-P. (2021). Fostering experimental competences of prospective physics teachers. *Physics Education*, 56 (4), 045020, <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abfd3f>
4. Brown, D., & Cox, A. J., (2009). Innovative Uses of Video Analysis. *The Physics Teacher*, 47(3), 145–150. <https://doi.org/10.1119/1.3081296>.
5. Chernetskiy, I., Slipukhina, I., Mienailov, S., & Kurylenko, N., (2022). Distance education methods: video analysis in teaching physics. *ITLT*, 92(6), 21–34. <https://doi.org/10.33407/itlt.v92i6.5086>
6. Delabre, U., (2020). Experiments at Home. <https://smartphonique.fr/?p=235>.
7. Eadkhong, T., Sirisathitkul, C., & Danworaphong, S. (2022). Video analysis of one-dimensional motion and collision for distance learning laboratory. *Physics Education*, 57(5), 055006. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/ac72e4>
8. Kuhn J., & Vogt P. (2012). Analyzing spring pendulum phenomena with a smart-phone acceleration sensor. *The Physics Teacher* 50, 504–505. <https://doi.org/10.1119/1.4758162>
9. Kuhn, J., Vogt, P., (2022) . *Smartphones as Mobile Minilabs in Physics*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-94044-7>.
10. Kurbanbekov, B. A., Turmambekov, T. A., Baizak, U. A., Saidakhmetov, P. A., Abdraimov, R. T., Bekayeva, A. E., & Orazbayeva, K. O. (2016). Students' Experimental Research Competences in the Study of Physics. *International Journal of Environmental and Science Education*, 11(18), 13069–13078. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1137374>
11. Park, J., Kim, H., Kim, M., Lee, G., & Hong, H., (2022). Discussions on Teaching Methods for Online Physics Experiments. *New Physics: Sae Mulli*, 72 (7), 525–536. <https://doi.org/10.3938/NPSM.72.525>
12. Slipukhina, I., Chernetskiy, I., Kurylenko, N., Mienailov, S., & Podlasov S., (2020). Applied aspects of instrumental digital didactics: M-learning with the use of smartphone sensors. *CEUR Workshop Proceedings*, 2740, 173–187.
13. University of Wisconsin – Madison. *Physics Experiments That You Can Do at Home*. <http://www.scifun.org/homeexpts/homeexperiments.pdf>.
14. Бугаев, А. И., (1981). *Методика преподавания физики в средней школе: Теорет. основы*. Просвещение.
15. Галатюк, Т., & Галатюк, М., (2019). Реалізація експериментального методу пізнання у вивченні природничих предметів. *Фундаментальні та прикладні дослідження: сучасні науково-практичні рішення і підходи. Міждисциплінарні перспективи*. (92-94). Посвіт. https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/24721/1/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%B8_27.06.2019-.pdf#page=93
16. Гаркуша, І. П., Горбачук, І. Т., & Курінний В. П., (2003). *Загальний курс фізики: 3б. задач*. Техніка.
17. Давиденко, А. А., (2004). *Методика розвитку творчих здібностей учнів у процесі навчання фізики (теоретичні основи)*. «Аспект-Поліграф».
18. Дряпак, Н. Б., & Оліярник, Л. С., (2022). Застосування віртуальних лабораторій з фізики та математики в умовах дистанційного навчання. *The 9th International scientific and practical conference "Modern research in world science" (November 28-30, 2022) SPC "Sci-conf.com.ua"*, Lviv, Ukraine. 2022. 626–631. <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/48191/1/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8%20%D0%9B%D1%8C%D0%B2%D1%96%D0%B2.pdf#page=626>
19. Зиббер, В. А., (1926). *Живые задачи по физике: Методические искания*. Образование.
20. Иродов, И. Е., (1988). *Задачи по общей физике*. Наука.
21. Ланге, В. Н., (1985). *Экспериментальные физические задачи на смекалку*. Наука.
22. Мендерецький В. В., (2006). *Навчальний експеримент в системі підготовки вчителя фізики*. Кам'янець-Подільський держ.ун-т, ред.-вид.від.
23. Мошков, С. С., (1955). *Экспериментальные задачи по физике*. Учпедгиз.
24. Мясковська, М. О., & Пшембаєв, І. М. (2016). Використання РНЕТ-симуляцій для виконання домашніх завдань з молекулярної фізики. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка № 22*. 204–207. <https://doi.org/10.32626/2307-4507.2016-22.204-207>

25. Подласов, С., & Бригінець, В., (2013). Елементи інформаційно-навчального середовища для навчання фізики в технічному університеті. *Наукові записки*. 4(2). 181-185.
26. Садовий, М., & Руденко, Є., (2015). Експериментальні задачі з використанням новітніх інформаційних технологій на сучасному уроці фізики. *Наукові записки*, 8(1), 122-126. <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/NZ-PMFMTO/article/view/241>

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Arnold, J. C., Kremer, K., & Mayer J. (2014). Understanding Students' Experiments—What kind of support do they need in inquiry tasks?, *International Journal of Science Education*, 36:16, 2719-2749, <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.930209>
2. Atamanchuk, P. S., Bilyk, R. N., Menderetsky, V. V., & Panchuk, O. P. (2019). Development of experimeental competence student in higher education staff. *Pedagogical sciences "colloquim-journal"*, 3(27), 38-41.
3. Bitzenbauer, P., & Meyn, J.-P. (2021). Fostering experimental competences of prospective physics teachers. *Physics Education*, 56 (4), 045020, <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abfd3f>
4. Brown, D., & Cox, A. J., (2009). Innovative Uses of Video Analysis. *The Physics Teacher*, 47(3), 145–150. <https://doi.org/10.1119/1.3081296>.
5. Chernetkiy, I., Slipukhina, I., Mienailov, S., & Kurylenko, N., (2022). Distance education methods: video analysis in teaching physics. *ITLT*, 92(6), 21–34. <https://doi.org/10.33407/itlt.v92i6.5086>
6. Delabre, U., (2020). Experiments at Home. <https://smartphonique.fr/?p=235>.
7. Eadkhong, T., Sirisathitkul, C., & Danworaphong, S. (2022). Video analysis of one-dimensional motion and collision for distance learning laboratory. *Physics Education*, 57(5), 055006. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/ac72e4>
8. Kuhn J., & Vogt P. (2012). Analyzing spring pendulum phenomena with a smart-phone acceleration sensor. *The Physics Teacher* 50, 504–505. <https://doi.org/10.1119/1.4758162>
9. Kuhn, J., Vogt, P., (2022) . *Smartphones as Mobile Minilabs in Physics*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-94044-7>.
10. Kurbanbekov, B. A., Turmambekov, T. A., Baizak, U. A., Saidakhmetov, P. A., Abdaimov, R. T., Bekayeva, A. E., & Orazbayeva, K. O. (2016). Students' Experimental Research Competences in the Study of Physics. *International Journal of Environmental and Science Education*, 11(18), 13069-13078. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1137374>
11. Park, J., Kim, H., Kim, M., Lee, G., & Hong, H., (2022). Discussions on Teaching Methods for Online Physics Experiments. *New Physics: Sae Mulli*, 72 (7), 525-536. <https://doi.org/10.3938/NPSM.72.525>
12. Slipukhina, I., Chernetkiy, I., Kurylenko, N., Mienailov, S., & Podlasov S., (2020). Applied aspects of instrumental digital didactics: M-learning with the use of smartphone sensors. *CEUR Workshop Proceedings*, 2740, 173-187.
13. University of Wisconsin – Madison. *Physics Experiments That You Can Do at Home*. <http://www.scifun.org/homeexpts/homeexperiments.pdf>.
14. Buhaev, A. I., (1981). *Metodyka prepodavania fizyky v srednei shkole: Teoret. osnovy. [Methods of teaching physics in high school: Theoret. basics]* Prosveshchenye. (in Russian).
15. Halatiuk, T., & Halatiuk, M., (2019). Realizatsiia eksperymentalnoho metodu piznannia u vyvchenni pryrodnykh predmetiv [Implementation of the experiential method of cognition in the study of natural subjects]. *Fundamentalni ta prykladni doslidzhennia: suchasni nauko-vo-praktychni rishennia i pidkhody. Mizhdystyplinarni perspektivy [Fundamental and applied research: modern scientific and practical solutions and approaches. Interdisciplinary perspectives]*. (92-94). Posvit. https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/24721/1/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%B8_27.06.2019-.pdf#page=93 (in Ukrainian).
16. Harkusha, I. P., Horbachuk, I. T., & Kurinnyi V. P., (2003). *General course of physics: Collection. tasks [General course of physics: Problems Collection]*. Tekhnika. (in Ukrainian).
17. Davydenko, A. A., (2004). *Metodyka rozvytku tvorchykh zdbnostei uchniv u protsesi navchannia fizyky (teoretychni osnovy) [Methodology for the development of students' creative abilities in the process of learning physics (theoretical foundations)]*. «Aspekt-Polihrاف». (in Ukrainian).
18. Driapak, N. B., & Oliiarny, L. S., (2022). Zastosuvannia virtualnykh laboratorii z fizyky ta matematyky v umovakh dystantsiinoho navchannia [Application of virtual laboratories in physics and mathematics in the conditions of distance learning]. *The 9th International scientific and practical conference "Modern research in world science" (November 28-30, 2022) SPC "Sci-conf.com.ua"*, Lviv, Ukraine. 2022. 626-631. (in Ukrainian).
19. Ziber, V. A., (1926). *Zhivie zadachi po fizike: Metodicheskie iskaniya [Living problems in physics: Methodical searches]*. Obrazovanie. (in Russian).
20. Irodov, I. Ye., (1988). Problems in general physics [Zadachy po obshchei fizyke]. Nauka. (in Russian).
21. Lanhe, V. N., (1985). *Experimental physical tasks for ingenuity [Eksperimentalnie fizicheskie zadachi na smekalku]*. Nauka. (in Russian).
22. Menderetskyi V. V., (2006). *Navchalnyi eksperyment v systemi pidhotovky vchytelia fizyky [The initial experiment in the system of training teacher of physics]*. Kamianets-Podil. derzh.un-t, red.-vyd.vid. [Kamianets-Podil State University, editorial and publishing department]. (in Ukrainian).
23. Moshkov, S. S., (1955). *Eksperimentalnye zadachi po fizike [Experimental problems in physics]*. Uchpedgiz. (in Russian).
24. Miastkovska, M. O., & Pshembaiev, I. M., (2016). Vykorystannia PHET-symulatsii dlia vykonannia domashnikh zavdan z molekuliarnoi fizyky [A library of PHET simulations for homework in molecular physics]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohienka [Collection of scientific studies of Kam'yanets-Podilsky National University named after Ivan Ohienko]* № 22. 204-207 DOI: <https://doi.org/10.32626/2307-4507.2016-22.204-207>. (in Ukrainian).
25. Podlasov, S., & Bryhinets, V., (2013). Elementy informatsiino-navchalnoho seredovyscha dlia navchannia fizyky v tekhnichnomu universyteti [The Elements of the information-study environment for study f physics at a technical university]. *Naukovi zapysky [Science notes]*. 4(2). 181-185. (in Ukrainian).
26. Sadoviy, M., & Rudenko, Ye., (2015). Eksperymentalni zadachi z vykorystanniam novitnikh informatsiinykh tekhnolohii na suchasnomu urotsi fizyky [Experimental problems with new information technologies at the current level of physics]. *Naukovi zapysky [Science notes]*, 8(1), 122-126. <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/NZ-PMFMTO/article/view/241>. (in Ukrainian).



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 10.31110/2413-1571-2023-038-3-008

МОДЕЛІ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ НА ОСНОВІ СИНЕКТИКИ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ НАВИЧОК ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ: АНАЛІЗ ПОТРЕБ

Сальва РУФАЙДА ✉

Державний університет Макасара, Індонезія
salwa@unismuh.ac.id
<https://orcid.org/0009-0003-4827-4182>

Хусейн СЯМ

Державний університет Макасара, Індонезія
husainsyam@unm.ac.id

Соломон САМАД

Державний університет Макасара, Індонезія
essamad@unm.ac.id

PHYSICS LEARNING MODELS BASED ON SYNETIC TO IMPROVE PROBLEM-SOLVING SKILLS: A NEED ANALYSIS

Salwa RUFAIDA ✉

Universitas Negeri Makassar, Indonesia
salwa@unismuh.ac.id
<https://orcid.org/0009-0003-4827-4182>

Husain SYAM

Universitas Negeri Makassar, Indonesia
husainsyam@unm.ac.id

Sulaiman SAMAD

Universitas Negeri Makassar, Indonesia
essamad@unm.ac.id

АНОТАЦІЯ

Дослідження присвячено обґрунтуванню доцільності розроблення моделей навчання фізики на засадах синектики для удосконалення навичок розв'язувати проблеми.

Формулювання проблеми. Моделі навчання фізики на засадах синектики розвивають уміння учнів застосовувати творче мислення, чим сприяють розвитку навичок мислення високого рівня, до яких відносять уміння розв'язувати проблеми. Реалізація синектичної моделі навчання передбачає використання аналогії та метафоричного мислення, які дають можливість зрозуміти абстрактні поняття у більш контекстуальний спосіб, чим полегшують розв'язування студентами проблем.

Матеріали і методи. Цей тип дослідження є дослідженням з поетапною розробкою ADDIE. Модель на початку дослідження потребувала аналізу і визначення розриву між реальними та бажаними умовами навчання фізики, особливо у коледжах. Дослідження проводилося на базі Університету Мухаммадія у Макасарі протягом трьох місяців у другому семестрі 2021/2022 н.р. В дослідженні брали участь два викладачі та 12 студентів. Збір даних для аналізу потреб базувалися на інтерв'ю, огляді літератури та анкетах. Результати проаналізовані за допомогою якісних описових методів.

Результати. Наведено опис реальних та ідеальних умов навчання фізики, які базуються на результатах аналізу навчальних програм, характеристик студентів та здатності викладачів реалізовувати навчання фізики в коледжі. Результати аналізу підтвердили розрив між реальними та бажаними умовами навчання фізики.

Висновки. Здатність вирішувати проблеми як затребувана сьогоденні навичка є одним із очікуваних результатів навчання, який базується на показниках успішності за освітньою програмою та когнітивних характеристиках студентів коледжу. Тому розроблена моделей навчання фізики на засадах синектики є важливою, оскільки схильність до розв'язування фізичних задач є низькою. Це означає, що синергія творчого мислення між викладачем і студентом є необхідною основою для розвитку навичок вирішувати проблеми.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: навчання фізики; синектика; навички вирішувати проблеми.

ABSTRACT

This study aims to describe the development needs of physics learning models based on Syntetic in improving problem-solving abilities.

Formulation of the problem. The design of physics learning models based on Syntetic directs students in getting used to processing creative thinking to achieve higher-order thinking skills, one of which is problem-solving ability. The Syntetic learning model implementations are identical to analogy and metaphoric thinking. Analogies and metaphor thinking will help students understand abstract concepts to become more contextual, making it easier for students to solve the problem.

Materials and methods. This research type is research and development with the ADDIE design. The learning model needs an analysis description performed during the analysis stage by determining the gap between the real conditions and the desired ideal conditions in learning physics, especially in college. The needs analysis research was carried out at the Muhammadiyah University of Makassar with two lecturers and twelve students as research respondents for three months in the even semester of the 2021/2022 academic year. The needs analysis data collection using interview guidelines, literature reviews, and questionnaires. The data collection results will be analyzed with a qualitative descriptive analysis.

Results. The reality and ideal conditions description obtained from the results of curriculum analysis, student characteristics, and lecturer abilities in implementing physics learning in college. The needs analysis results show a gap between reality and the desired ideal conditions in learning physics.

Conclusions. Even though the ability to solve problems is one of the expected learning outcomes based on curriculum achievement indicators and skills needed at this time based on a person's cognitive stage at the age of college students. Therefore, a physics learning model based on Syntetic development is very needed and indicated by the student's tendency ability to solve physics problems to be low. It means synergizing between teachers and students for creative thinking is needed in learning physics as an important basis for improving problem-solving skills.

KEYWORDS: physics learning; syntetic; problem-solving skills.

INTRODUCTION

Learning physics is identical to problem-solving through a collaborative process of understanding a concept and formula or equality used to prove a physics phenomenon or theory previously through thought processes. Problem-solving skills based on thinking skills is one of *Higher Order Thinking Skills* (HOTS) or high-level skills considered height as a mindset and special's

Для цитування:

Rufaida S., Syam H., Samad S. Physics learning models based on syntetic to improve problem-solving skills: a need analysis. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38, № 3. С. 57-62. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-3-008

Rufaida, S., Syam, H., & Samad S. (2023). Physics learning models based on syntetic to improve problem-solving skills: a need analysis. *Фізико-математична освіта*, 38(3), 57-62. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-008>

For citation:

Rufaida, S., Syam, H., & Samad S. (2023). Physics learning models based on syntetic to improve problem-solving skills: a need analysis. *Physical and Mathematical Education*, 38(3), 57-62. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-008>

Rufaida, S., Syam, H., & Samad S. (2023). Physics learning models based on syntetic to improve problem-solving skills: a need analysis. *Fizyko-matematyczna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(3), 57-62. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-008>

✉ Corresponding author

© S. Rufaida, H. Syam, S. Samad, 2023

talent because it is difficult to achieve. However, we can achieve the goals when lecturers apply the appropriate learning model. The Higher Order Thinking Skills has their characteristic because a person's ability level is assumed to be able to be at that stage to analyze, evaluate, and create. Someone is oriented to have the ability to apply knowledge and skills so that they can reason in solving problems, making decisions, and creating innovations. The result's initial observations show that the lecturer has tried to design the learning as well as possible so that students can achieve maximum learning outcomes appertain problem-solving. However, choosing the appropriate learning model following the demands of current needs is still ignored. Based on observations of 21 students, there were two students (9.52%) solved the problem with a good score category, twelve students (57.14%) solved the problem with a moderate score category, and seven students (33.33%) less able to solve problems in the process of learning physics. The data description shows any important problems with physics students related to how to solve problems in learning physics that involve thinking skills. Researchers seek to adopt analogy and metaphor thinking as the identity of a synectic learning model based on creativity theory and integrate it with cognitive and constructivist theories so that can direct the formation of analogy and metaphor thinking towards student-centered and lecturers only become facilitators of ideas that emerge later. Through synectic learning models, students are used to maximizing their brain thinking function so that learning-oriented is toward the higher-order thinking skills achievement through the analogy of thinking that is oriented on students and can activate themselves in the learning process. Educators are always required to innovate and even make learning inventions that can produce new learning experiences for their students to form meaningful knowledge (Joenaity, 2019)

In the 21st century, assessing the student's ability should not be done only by testing to answer the problem. Students must maximize the extent to which knowledge and skill are compiled in problem-solving, entrepreneurship, and creativity (Soh et al., 2010) Problem-solving is an action that involves mental processes and skills to obtain the correct conclusions about the problems that occur (Güneş et al., 2015). Problem-solving is a cognitive process performed by identifying problems stages, directing goals problem, and finding with implementing various alternative approaches to offering these goals (Lee & Lee, 2020). Because problem-solving is considered an almost complicated process, experts suggest dividing the process into several stages. Problem-solving is the student's ability to acquire knowledge, skills, and understanding to meet requests or an unusual situation. Students must synthesize their knowledge to apply it in new or different conditions (Posamentier, and Krulik, 2009). Someone who can solve problems has a well-organized knowledge structure because of the process of procedural problem-solving. Thus, someone can develop alternative problem-solving with appropriate procedures (Sani, 2019). Someone who has good problem-solving skills can streamline their knowledge and solve problems experienced easily (Özsoy-Güneş et al., 2015). A person's ability to think both convergent and divergent is needed as a thinking skill to solve a given problem (Shettar et al., 2020). The analysis process to build solutions based on questions or problem submissions can be resolved by the problem synthesis process. Thus, it makes sense that problem-solving begins with questions or phenomena associated with the basic agreement (Politsinsky et al., 2015). In addition, to solve problems, especially on scientific material, students need the least analytical skills characterized by the ability to identify known and asked variables and choose the proposed problem-solving strategy (Rufaida & Nurdiyanti, 2021). Someone who is still a beginner in solving problems starts solving problems by applying equations, substituting variables, then hiding other concealers that can help in solving problems (Çalışkan et al., 2010)

The synectic model is a strategy to combine various elements by using figures of speech in new view producing. The orientation of the synectic model is towards increasing the ability to solve problems, creative expression, empathy, and insight into social relations (Nurdin & Adriantoni, 2016). The synectic learning model is one of several information processing models that focuses on aspects of information processing to improve students' ability to develop creative thinking by building a novelty perspective (Priansa, 2017). Synectic is the best model for brainstorming and is more efficient than conventional learning models in developing creative thinking (Aiamy & Haghani, 2012). Synectics can increase activity and analytical problem-solving skills (Ariska et al., 2020). The synectic learning model can have an impact on itself in the form of instructional influences such as cohesion and productivity of small user groups, metaphorical thinking skills, and problem-solving capabilities, as well as having a driving effect in the form of self-esteem, adventure, and mastery of learning material (Huda, 2019). Metaphor is not only a new word for thought describing but also for thinking away and creating more deeply (Sunito et al., 2017). The synectic model provides an opportunity for students to develop thinking skills through metacognition so that there is a relationship between knowledge concepts from abstract to more concrete. The synectic models make difficult concepts can be easier to understand contextually (Nalini, 2012). The synectic learning model can facilitate the learning process by making abstract concepts more concrete. Thus, the synectic model can improve understanding of concepts and minimize misconceptions. Synectic can increase active learning. In addition, the synectic model is effectively increasing cognitive, affective, and psychomotor learning outcomes. The synectic model also touches on the metacognitive domain and is effective to improve creativity as one of the higher-order thinking skills (Rufaida et al., 2022). Based on the results of this presentation, a more in-depth study is needed to be related to the needs analysis for physics learning models based on synectics development towards improving problem-solving skills in physics learning

METHOD

This research is a preliminary study in research and development. The development of this model is based on Gordon's theory of creativity, cognitive theory, information processing theory, and constructivist theory and implement through the development stages ADDIE consists of analysis, design, development, implementation, and evaluation stages. Preliminary studies are carried out through performance analysis and need analysis as guidelines for implementing research and development at a later stage. The analysis phase is carried out to see the current learning situations and whether there is a gap between what should have happened and the reality on the ground through a series of observations. The analysis phase is carried out through literature analysis in the form of an analysis of the curriculum, and performance analysis, observing things that cause low problem-solving skills and thinking of alternative solutions to improve the situation. This study involved 12 Department of Physics Education students at the University of Muhammadiyah Makassar as research subjects. The instruments used were observation sheets and interview guides, then analyzed descriptively qualitatively through a data reduction to analyze studied aspects during the needs analysis.

FINDINGS

The research results related to the needs analysis for the development illustrate *the gap* between the ideal and tangible description of learning physics in higher education which will lead to making recommendations for the most appropriate learning model to overcome the low problem-solving ability of students.

Ideal Description of Physics Learning in Higher Education

The ideal description of physics learning in higher education can be obtained through the results of curriculum analysis, student characteristics, and lecturer abilities to implement physics learning in college. Based on the higher education curriculum analysis, we have obtained information that graduates learning outcomes can present solutions to overcome various problems. In addition, students demanded to have the qualifications to be able to master scientific basics and skills in certain areas of expertise so that they can find, understand, explain, and formulate ways of solving problems that exist within their area of expertise. Thus, the students of the Department of Physics Education in higher education can hold theoretical concepts in certain areas of knowledge in general and specifically in physics education more in-depth and be able to formulate procedural problem-solving. The ideal description of physics learning in higher education is also shown by the student characteristics analysis related to the student expectations description achievement for the orientation of learning outcomes, the presentation of learning material, as well as the expected perceptions of students towards learning physics in higher education as shown in the following table.

Table 1.

Needs Analysis Related to Student Characteristics

No	Indicator	Percentage (%)
1	Learning Outcome Orientation	87,78
2	Material Learning Presentation	84,67
3	Learning Perception	96,25

The data distribution shows that 87,78% of students have the desire that physics learning outcomes are oriented towards problem-solving abilities by the applicable curriculum, 84,67% of students want the material learning presentation to be more contextual, and 96,25% of students think that learning physics perceptions are considered abstract and difficulty so that action is needed to overcome this slowly. Learning orientation has been carried out passably based on the Semester Learning Plan or RPS but has not been oriented maximally towards students' thinking abilities. Students agree that the learning physics orientation is problem-solving ability. So, learning physics evaluation should be directed to problem-solving ability to help students to develop thinking skills. The illustrations show the importance of applying the learning model that directs students to practice thinking skills in problem-solving as must be possessed competencies after implementing physics learning. The physics learning material presentation still needs improvement because there are still many students who find physics learning materials difficult to understand. Students have not been able to digest the lecturer's questions or statements regarding physics learning material as a result of students not being used to practicing their thinking skills so that they feel comfortable with the level of cognitive ability at the lower order thinking skill. The learning material presentation needs to pay attention to the processes that students go through and give rewards to have students learn comfort can maximize their thinking skills. As for students' perceptions of physics learning, it can use to develop an innovative learning model. Physics concepts feel abstract, so learning physics must be related to real-life examples or analogies with something easier to find so that the physics concept feels easy to understand. If a student has managed the basic physics concept, there can apply these concepts in the problem analysis process. The student's habit of using analogy thinking, will support his analytical skills and create various ideas for giving birth to alternative problem solutions. The students' characteristics are the basis for the urgency to develop a physics learning model based on synectic to improve problem-solving abilities.

An ideal description related to learning physics in higher education from the results of an analysis of the readiness and ability of lecturers regarding the learning outcomes orientation achieved based on the curriculum, the presentation of learning materials based on current innovations, and the perceptions that lecturers expect of students in responding to learning physics in higher education as presented in the following table.

Table 2.

Needs Analysis Related to Lecturer Readiness and Capability

No	Indicator	Percentage
1	Learning Outcome Orientation	93,33
2	Material Learning Presentation	86,67
3	Learning Perception	85,00

The data above shows that 93,33% of lecturers agree that the orientation of physics learning outcomes is toward the problem-solving ability according to the applicable curriculum, 86,67% of lecturers agree that the learning materials presentations are more contextually supported by learning technology, and 85,00% of lecturers agree that the physics learning perception is abstract and difficulty so that action is needed to overcome it slowly. Based on these data, the lecturer strongly agrees that the direction of learning orientation is to train students' thinking skills which is nothing but problem-solving ability. So, learning physics evaluation should be directed to problem-solving ability to help students to develop thinking skills. Lecturers also agree that an innovative learning model is needed to make it easier for students to understand the basic physics concepts in

physics learning materials presentation so that learning materials are more concrete and contextual. Lecturers' perceptions of physics learning are abstract. So learning physics must be presented closer to student life to create conceptual understanding as a basis for problem-solving.

Tangible Description of Physics Learning in Higher Education

Based on the results of the analysis of students' interviews in physics learning for higher education, students need initial knowledge to know the knowledge level and understanding possessed by students so that they can identify the material difficulty parts of learning students. The student's perspective on learning physics is basically in a critical condition. Physics is considered a scourge because of the inability of students to answer various problems related to physics concepts exactly. It is a strong reason because perceptions students that physics is identic with formulas or equations. It's making students look at physics as numbers and formulas without knowing the basic concepts and their application in everyday life and feel that physics is not beneficial to their life. Students' perception of physics is abstract thus requiring further explanation to achieve a conceptual understanding. However, if the material is presented only by giving problem-solving questions without being related to something concrete, the material will feel even more complicated. The desire of learning physics students is to train in what provides direct benefits in real-life. The making abstract concepts process make concrete in physics learning can be given by an analogy or a metaphor for the abstract concept becoming more real. The developing concept process with the implementation of an appropriate learning model takes time are needed, but the reality shows that lecturers have so far been more concerned with evaluating the final results and ignoring the learning process assessment and the learning convenience when learning implementation. Learning comfort is prioritized in every development of concept discovery by students as a student assessment of progress in a better direction. The orientation of physics learning is toward giving questions based on predetermined learning achievement indicators without being based on providing a strong conceptual basis. These questions make students more complicated to think. Some students solve problems in their way and are considered irrational by others. It's inappropriate because it is not by the existing steps. There are several ways students solve physics problems that directly refer to equations, but there are also those who understand the concept first. All of these conditions are the characteristics of each student in solving problems depending on the achievement of his thinking process.

The Description of Physics Learning Needs in Higher Education

Based on the ideal and tangible description, several gaps can be identified which are learning physics problems in higher education as a basis for the needs of users, lecturers and students in overcoming these problems, including: 1) Based on ideal conditions in the literature review of the higher education curriculum, information is obtained that the achievements learning physics in higher education is more focused on problem solving abilities through thinking skills, while the real conditions show that there is still a lack of students who have problem solving abilities; 2) Students and lecturers as users agree that the learning physics orientation is aimed at thinking skills as a basis for having problem solving abilities, but real conditions show that students feel that giving problem solving questions without being associated with something concrete in the process of building problem solving will increase feels complicated; 3) Users agree that the learning material presentation is delivered contextually so that there is a strong inculcation of learning physics concepts, while the real conditions state that students find it very difficult for physics to become something contextual because it is identical to a formula or equation which makes students only see physics as numbers and formula without knowing the basic concept of its application in everyday life and is considered not to have great benefits in his life; 4) Users want that physics is no longer something that is abstract and students can easily understand so that it is stored in long-term memory, but real conditions show that learning is using direct methods without getting used to students forming their own understanding through thinking skills; 5) Users hope that learning physics is presented in a more interesting and innovative way so that the implementation of learning is more enjoyable, but the real conditions show that physics is synonymous with thick books containing formulas and explanations that are difficult to understand so that it does not facilitate students who have a variety of learning styles. Thus, the physics learning model based on synectic is recommended to answer the need analysis to improve problem-solving skills which can achieve the goals expected by the currently developing curriculum.

DISCUSSION

Need assessment is the gap-determining process between current performance and the desired state. The gap indicates a needs assessment will culminate in making recommendations to research subjects regarding the products to overcome these gaps (Stefaniak, 2020). Physics is a subject that is considered difficult for students, identic with abstract concepts, and full of formulas and equations. Students want physics learning presentations to be contextual so that they feel alive in their minds and easy to conceptualize. Answering physics problems is difficult for students because they do not understand the basic concepts used to solve a problem, so they have no direction in starting problem-solving. Students are happy if they find concepts independently by expressing their thoughts as an activity and creativity. Creative problem-solving in physics can do with the analogy. If the analogy is appropriate, it can help students construct new knowledge and relate to past learning experiences. This can make students understand new problems easier (Aubusson et al., 2005). The analysis results show that students need help in contextualizing concepts in physics problem-solving. The results of the curriculum analysis show that the learning models application directs students to have thinking skills as the foundation for problem-solving. Building thinking skills can train students to produce ideas independently. Thus, teachers are required to activate students' brain functions with thinking activities, one of which is by thinking metaphors and analogies. The development of a physics learning model based on synectic is needed to build or overcome learning difficulties experienced by students due to their inability to contextualize physics concepts so that they do not have a basis for continuing thinking skills at the stages of analysis, evaluation, and creation. Synectic is applied to help someone develop a fresh way of thinking while empathetic to differences of opinion or not just justifying logical solutions but even accepting different views and showing correct and more creative possibilities (Nuridin & Adriantoni, 2016)

Synectic learning models train students to have metaphorical thinking skills and problem-solving capabilities to learn material hold (Huda, 2019). Synectic learning models can stimulate thinking skills, including metacognitive thinking skills and problem-solving (Suhana, 2019). The development of a synectic foundation physics learning model can collaborate with interesting learning materials presentation is expected to help in better physics concepts achievement and developing creative thinking as a basis for physics problem-solving. Synectics can be integrated into learning activities to develop metacognitive abilities as a foundation for thinking skills. Synectics can direct divergent thinking skills that allow a person to internalize the ideas into new ideas for problem-solving (Hargrove & Nietfeld, 2015).

Synectic proves that creative thinking can be trained and developed. Someone can solve problems through different perspectives and ways according to their creativity. Synectic is a method of metaphoric thinking or intellectual innovation through imagination and the use of analogy as a comparison to form a new idea. The synectic model is a learning pattern that trains logical thinking compared to conventional learning implementation (Abed et al., 2015). Synectic can be collaborated with learning technology by embedding synectic elements into learning simulations. The application of synectic elements to making something foreign or abstract into familiar or known. If synectics is packaged with a simulation, it can help teach abstract concepts in real life. So that besides helping to streamline learning, it also helps students achieve learning goals (Kallonis & Sampson, 2011). Thus, the physics learning model based on synectic can maximize learning outcomes that direct students to thinking skills, so it can be recommended to improve problem-solving skills.

CONCLUSION

The development of a physics learning model based on synectic is urgently needed which is indicated by the tendency of students' ability to solve physics problems to be low and a creative way of synergizing between lecturers and students are needed in learning physics. Thus, the physics learning model based on synectic is recommended to improve problem-solving skills.

ACKNOWLEDGMENT

The author thanks Prof. Dr. H. Patta Bundu, M. Ed, for always motivating me to write articles, and is intended for anyone who contributes to this research.

REFERENCES

1. Abed, S., Davoudi, A. H. M. D., & Hoseinzadeh, D. (2015). The effect of synectics pattern on increasing the level of problem solving and critical thinking skills in students of Alborz province. *WALIA Journal*, 31(1), 110–118. <http://waliaj.com/wp-content/2015/Special Issue 1, 2015/2015-31-S1-pp.110-118.pdf>
2. Aiamey, M., & Haghani, F. (2012). The Effect of Synectics & Brainstorming on 3 rd Grade Students' development of Creative Thinking on Science. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 47, 610–613. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.704>
3. Ariska, T., Mariyam, & Utami, C. (2020). Model Sinektik untuk Meningkatkan Kemampuan Analisis Matematis Pada Siswa MTs Ushuluddin Singkawang. *Derivat*, 7(1), 11–20.
4. Aubusson, P. J., Harrison, A. G., & Ritchie, S. M. (2005). Metaphor and Analogy in Science Education. In *Springer* (30th ed.). Springer. <https://doi.org/10.2307/j.ctt284tq6.10>
5. Çalışkan, S., Selçuk, G. S., & Erol, M. (2010). Effects of the problem solving strategies instruction on the students' physics problem solving performances and strategy usage. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 2239–2243. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.315>
6. Güneş, İ., Özsoy-Güneş, Z., Derelioğlu, Y., & Kırbaşlar, F. G. (2015). Relations between Operational Chemistry and Physics Problems Solving Skills and Mathematics Literacy Self-efficacy of Engineering Faculty Students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174, 457–463. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.689>
7. Hargrove, R. A., & Nietfeld, J. L. (2015). The impact of metacognitive instruction on creative problem solving. *Journal of Experimental Education*, 83(3), 291–318. <https://doi.org/10.1080/00220973.2013.876604>
8. Huda, M. (2019). *Model-Model Pengajaran dan Pembelajaran* (X). Pustaka Pelajar.
9. Joenaidy, A. M. (2019). *Konsep dan Strategi Pembelajaran di Era Revolusi Industri 4.0*.
10. Kallonis, P., & Sampson, D. G. (2011). A 3D Virtual Classroom Simulation for supporting school teachers' training based on Synectics - "making the strange familiar." *Proceedings of the 2011 11th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2011*, 4–6. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2011.9>
11. Lee, B., & Lee, Y. (2020). A study examining the effects of a training program focused on problem-solving skills for young adults. *Thinking Skills and Creativity*, 37(February), 100692. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100692>
12. Nalini, V. H. (2012). Cognitive Science Perspective: Synectics As a Model of Learning Metaphors. *International Journal of Scientific Research*, 2(6), 147–148. <https://doi.org/10.15373/22778179/june2013/47>
13. Nurdin, H. S., & Adriantoni. (2016). *Kurikulum dan Pembelajaran*.
14. Özsoy-Güneş, Z., Güneş, İ., Derelioğlu, Y., & Kırbaşlar, F. G. (2015). The Reflection of Critical Thinking Dispositions on Operational Chemistry and Physics Problems Solving of Engineering Faculty Students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174, 448–456. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.688>
15. Politsinsky, E., Demenkova, L., & Medvedeva, O. (2015). Ways of Students Training Aimed at Analytical Skills Development while Solving Learning Tasks. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 206(November), 383–387. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.10.070>
16. Posamentier, Alfred S and Krulik, S. (2009). *Problem Solving in Mathematics Grades 3 - 6 Powerful Strategies to Deepen Understanding*. Corwin A SAGE Company.
17. Priansa, D. J. (2017). *Pengembangan Strategi & Model pembelajaran Inovatif, Kreatif, dan Prestatif dalam Memahami Peserta Didik* (I). CV Pustaka Setia.
18. Rufaida, S., & Nurdianti. (2021). The analysis of olympic tutors problem-solving skill of the national science olympic for elementary school level. *Journal of Physics: Conference Series*, 1839(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1839/1/012026>
19. Rufaida, Salwa, Syam, H., & Samad, S. (2022). *Application of Synectic Models in the Learning Process : A Systematic Literature Review*. 654, 253–258.
20. Sani, R. abdullah. (2019). *Cara Membuat Soal Hots* (1st ed.). Tsmart Printing. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1040325>

21. Shettar, A., Vijaylakshmi, M., & Tewari, P. (2020). Categorizing student as a convergent and divergent thinker in problem-solving using learning analytics framework. *Procedia Computer Science*, 172(2019), 803–810. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.05.001>
22. Stefaniak, J. E. (2020). Needs Assessment for Learning and Performance. In *Needs Assessment for Learning and Performance*. <https://doi.org/10.4324/9780429287510>
23. Suhana, N. (2019). Upaya Peningkatan Berpikir Kritis Dan Berpikir Kreatif Siswa Pada Materi Aritmetika Sosial Dengan Menggunakan Model Pembelajaran Sinematik. *Jurnal THEOREMS (The Original Research of Mathematics)*, 4(1), 44.
24. Sunito, I., Sukardjo, M., Masribi, Syukur, R., Latifah, U., Fakhruddin, M., Chudori, A., Komaruddin, U., & Syarif, I. (2017). *Metaphorming Beberapa Strategi Berpikir Kreatif*.
25. Tuan Soh, T. M., Arsada, N. M., & Osman, K. (2010). The relationship of 21st century skills on students' attitude and perception towards physics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 7(2), 546–554. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.10.073>



This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

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 10.31110/2413-1571-2023-038-3-009

УДК 373.3/5.091-026.911:004.946

МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ УЧАСНИКІВ ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ДОПОВНЕНОЇ ТА ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТЕЙ У ЗАКЛАДІ ЗАГАЛЬНОЇ ОСВІТИ

Наталія СОРОКО ✉

Інститут цифровізації освіти НАПН України, Україна

nvsoroko@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9189-6564>

Віталій ТКАЧЕНКО

Інститут цифровізації освіти НАПН України, Україна

tva@iitta.gov.ua

<https://orcid.org/0000-0003-4028-4522>

MODELS OF PARTICIPANTS INTERACTION OF THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT USING THE TOOLS OF AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY IN AN INSTITUTION OF GENERAL EDUCATION

Nataliia SOROKO ✉

The Institute for Digitalisation of Education of NAES of Ukraine, Ukraine

nvsoroko@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9189-6564>

Vitaliy TKACHENKO

The Institute for Digitalisation of Education of NAES of Ukraine, Ukraine

tva@iitta.gov.ua

<https://orcid.org/0000-0003-4028-4522>

АНОТАЦІЯ

Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій призвів до серйозних змін у традиційних освітніх концепціях, освітніх моделях і навіть системі освіти.

Формулювання проблеми. Поступово привертає увагу освіта, що не підпорядковується традиційній концепції та звільняє учасників процесу навчання від обмежень у часі та просторі, забезпечуючи багатство викладацьких та навчальних ресурсів. Особливого значення при цьому набувають технології віртуальної та доповненої реальності. При впровадженні цих технологій в освітні програми, що мають дистанційний еквівалент, необхідним є аналіз взаємодії учасників навчального процесу із використанням віртуальної та доповненої реальності. Аналіз педагогічної, методичної літератури та результатів вітчизняного і зарубіжного досвіду щодо використання технологій віртуальної та доповненої реальності в освітньому процесі, дозволив виокремити основні особливості моделей взаємодії учасників освітнього процесу закладу загальної освіти з використанням віртуальної та доповненої реальності.

Матеріали і методи. Для досягнення мети дослідження ми використовували такі методи: систематичний та порівняльний аналіз педагогічних, психологічних, філософських, соціологічних праць, методичної та спеціальної літератури; аналіз педагогічного досвіду використання технологій віртуальної та доповненої реальності для навчання в закладах загальної середньої освіти; опитування вчителів про їхній досвід використання технологій віртуальної та доповненої реальності у навчальному процесі, виявлення проблем для створення спеціальних вебінарів та курсів з метою розвитку цифрової компетентності вчителя; інтерпретація результатів дослідження. Дослідження виконувалося в межах дослідної роботи «Проектування навчального середовища з використанням засобів доповненої та віртуальної реальності в закладах загальної середньої освіти» (ДР №0121U107689) Інституту цифровізації освіти НАПН України.

Результати. Встановлено, що взаємодія учасників освітнього процесу із застосуванням технологій віртуальної реальності потребує удосконалення, методичних рекомендацій та досліджень щодо організації цього середовища для різних цілей, як, наприклад, дослідження учнями нового навчального матеріалу, виконання лабораторної роботи, сумісна робота учнів над дослідженням, інструкцій для діяльності вчителя у роботі з учнями у віртуальному навчальному середовищі та ін.; взаємодія учасників освітнього процесу із застосуванням доповненої реальності найбільш зрозуміла вчителями і учнями, ними використовуються як готові технології доповненої реальності, так і створені особисто.

ABSTRACT

The development of information and communication technologies have caused to serious changes in traditional educational concepts, educational models and even education systems.

Problem formulation Gradually, attention is drawn to education that is not subject to the traditional concept and frees the participants of the educational process from limitations in time and space, providing a wealth of teaching and learning resources. Virtual and augmented reality technologies are of particular importance. It is necessary to analyze the interaction of participants in the educational process using virtual and augmented reality, when introducing these technologies into educational programs that have a distance equivalent.

Materials and methods. We used the following methods to achieve the goal of the study: systematic and comparative analysis of pedagogical, psychological, philosophical, sociological works, methodological and specialized literature; analysis of pedagogical experience of use . virtual and augmented reality technologies of the educational in general secondary education institutions; questioning teachers about their experience of using virtual and augmented reality technologies in the educational process, identifying problems for the creation of special webinars and courses in order to develop digital competence of teacher; interpretation of research results. The research was carried out within the framework of the research work "Designing the learning environment using augmented and virtual reality tools in general secondary education institutions" (DR № 0121U107689) of the Institute for Digitalisation of Education of NAES.

Results. It has been established that the interaction of participants in the educational process using virtual reality technology requires improvement, methodological recommendations, and research on the organization of this environment for various purposes. For example, students' exploration of new educational material, conducting laboratory work, collaborative student research, providing instructional guidance for teachers working with students in virtual learning environments, etc. The interaction of participants in the educational process using augmented reality is better understood by teachers and students. They utilize both ready-made augmented reality technologies and personally created ones.

Conclusions. It has been determined that the model of interaction among participants in the educational process of a general education institution, using virtual and augmented reality, generally includes the following blocks: the teacher's activity in organizing the interaction of participants in the educational process using virtual and augmented reality; the organization of interaction between students and the teacher using virtual and augmented reality; the main types of interaction among participants in this process using virtual and augmented reality; the assessment of the effectiveness of interaction in an educational project with virtual and augmented reality. Moreover, the model of interaction among

Для цитування:

Сороко Н., Ткаченко В. Моделі взаємодії учасників освітнього середовища з використанням засобів доповненої та віртуальної реальності у закладі загальної освіти. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 3. С. 63-72. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-3-009
Сороко Н., & Ткаченко, В. (2023). Моделі взаємодії учасників освітнього середовища з використанням засобів доповненої та віртуальної реальності у закладі загальної освіти. *Фізико-математична освіта*, 38(3), 63-72. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-009>

For citation:

Soroko, N., & Tkachenko, V. (2023). Method of finding the wave function of a system of particles. *Physical and Mathematical Education*, 38(3), 63-72. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-009>
Soroko, N., & Tkachenko, V. (2023). Modeli vzaiemodii uchasnivkiv osvitnoho seredovyscha z vykorystanniam zasobiv dopovnenoj ta virtualnoj realnosti u zakladah zahalnoi osvity [Method of finding the wave function of a system of particles]. *Fiziko-matematichna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(3), 63-72. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-009>

✉ Corresponding author

© N. Soroko, V. Tkachenko, 2023

Висновки. Визначено, що модель взаємодії учасників освітнього процесу закладу загальної освіти з використанням віртуальної та доповненої реальностей загалом охоплює такі блоки: діяльність вчителя щодо організації взаємодії учасників освітнього процесу у віртуальній та доповненій реальностях; організація взаємодії учнів із вчителем за допомогою віртуальної та доповненої реальностей; основні види взаємодії учасників цього процесу з використанням віртуальної та доповненої реальностей; діагностика результативності взаємодії у навчальному проекті з віртуальною та доповненою реальностями. При цьому, модель взаємодії учасників освітнього процесу із використанням віртуальної реальності має врахувати особливості простору призначеного для використання цієї реальності та наближеного до максимальної площі відносно центру навчального класу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: віртуальна реальність; доповнена реальність; взаємодія учасників освітнього середовища; модель взаємодії учасників освітнього середовища.

participants in the educational process using virtual reality should take into account the characteristics of the space designated for the use of virtual reality and aim for maximum coverage relative to the center of the classroom.

KEYWORDS: virtual reality; augmented reality; participants interaction in the educational environment; model of participants interaction in the educational environment.

ВСТУП

Постановка проблеми. З початку 21 століття безперервний розвиток науки і техніки дозволив інформаційно-комунікаційним технологіям (ІКТ) проникнути в багато аспектів суспільного життя. Це впливає на те, як люди живуть і думають. Продукти процесу розвитку людського суспільства, зокрема освіта, вимагають підтримки інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) для дослідження науковцями та педагогами нових шляхів викладання. Розвиток ІКТ призвів до серйозних змін у традиційних освітніх концепціях, освітніх моделях і навіть системі освіти. Поступово привертає увагу освіта, що не підпорядковується традиційній концепції та звільняє учасників процесу навчання від обмежень у часі та просторі, забезпечуючи багатство викладацьких та навчальних ресурсів. Особливого значення набувають технології віртуальної (англ. Virtual reality – VR) та доповненої (англ. Augmented Reality – AR) реальностей (Perkins Coie LLP and the XR Association, 2021). При впровадженні цих технологій в освітні програми, що мають дистанційний еквівалент (Xiao & Wang, 2017), необхідним є аналіз взаємодії учасників навчального процесу у VR та AR.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання використання доповненої та віртуальної реальностей в освіті досліджували вітчизняні вчені: Буров О.Ю., Литвинова С.Г., Семеріков С.О. (2021) при обґрунтуванні концептуальної моделі використання AR в освітньому процесі; Гриб'юк О.О. (2022) у процесі визначення принципів та підходів щодо використання технологій VR та AR у процесі дослідницького навчання учнів в контексті їх впливу на інтелектуальний і психофізіологічний розвиток школярів; Литвинова С.Г. (2022) при аналізі готовності учнів закладів загальної середньої освіти до використання віртуальної реальності в освітньому процесі; Слободяник О.В. (2023) при розробці освітнього контенту гуртка для неформального навчання учнів “Створення доповненої реальності” у дистанційному форматі; Соколюк О.М. під час визначення можливостей використання технологій доповненої реальності у процесі навчання фізики учнів закладів загальної освіти (Соколюк & Слободяник, 2022) та ін.

Активно ведуть пошуки в цьому напрямі зарубіжні вчені. Так, феномен, сучасний стан, можливості та проблеми використання технологій VR та AR в освітньому процесі вивчають: Doak D. G., Denyer G. S., Gerrard J. A., Mackay J. P., Allison J. R. Перру з приводу створення освітнього середовища віртуальної реальності для розвитку медичної науки (Doak et al., 2020); Yuen S., Yaoypeuyong G., Johnson E. щодо вирішення підвищення якості освіти завдяки застосуванню доповненої реальності (Yuen et al., 2011.); Kuhail M.A., ElSagary A., Farooq S., Alghamdi A. щодо створення та використання іммерсивних освітніх середовищ (Kuhail et al., 2022); Díaz, J.E.M. (2020) щодо розвитку віртуальної реальності як цифрового інструменту для підтримки навчання студентів і викладачів факультету системної інженерії Університету Кундінамарки (англ. University of Cundinamarca), з метою впровадження та демонстрації освітнього потенціалу як академічного ресурсу, який мотивує студентів у навчанні, а викладачів – розвивати нові цифрові навички та ін.

Мета дослідження визначити особливості моделей взаємодії учасників освітнього процесу закладу загальної освіти з використанням віртуальної та доповненої реальностей.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У процесі дослідження використовувались методи аналізу та систематизації педагогічної, методичної літератури; здійснювалося узагальнення результатів вітчизняного і зарубіжного досвіду щодо використання технологій віртуальної та доповненої реальностей в освітньому процесі. Дослідження виконувалося в межах дослідної роботи «Проектування навчального середовища з використанням засобів доповненої та віртуальної реальностей в закладах загальної середньої освіти» (ДР № 0121U107689) Інституту цифровізації освіти НАПН України.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Технології VR та AR, як елементи змішаної реальності (англ. Mixed Reality – MR) є поєднанням реального середовища та цифрових технологій за допомогою інтерактивних дій і є інтеграцією віртуального контенту з фізичним середовищем, що дозволяє користувачеві природно взаємодіяти зі MR. Віртуальна реальність – це технологія, яка дозволяє створювати за допомогою технічних засобів віртуальні світи та ефекти тривимірного середовища, в якому користувач взаємодіє з віртуальними об'єктами, при відчутті тривимірної присутності (Mukasheva, 2023). Доповнена реальність – технологія інтерактивної комп'ютерної візуалізації, яка дозволяє користувачам бачити в реальному світі впроваджені віртуальні об'єкти і маніпулювати ними в реальному часі за допомогою, наприклад, використання мобільного пристрою, додатків та браузерів доповненої реальності (Soroko & Lytvynova, 2021). На відміну від VR, де користувач “переміщується” в інше місце (віртуальний метавесвіт), AR “розширює” реальний світ віртуальними об'єктами. AR, який накладає віртуальну інформацію на фізичний світ, надає унікальні практичні можливості для надання

освітнього контенту. В останнє десятиліття відбувся сплеск інтересу до отримання знань за допомогою усвідомленого та практичного підходу з AR (Perkins Coie LLP and the XR Association, 2021).

Технологія VR стала доступнішою для громадськості завдяки нещодавньому наголосу на її технологічному розвитку, масовому виробництві, що робить її доступною, а завдяки використанню смартфонів для VR позбавляє потреби у складних дорогих пристроях. Це призвело до проведення все більшої кількості досліджень щодо використання VR в освіті.

У таблиці 1 нами пропонуються основні відмінності AR та VR за такими критеріями: мета, рівень зануреності, віртуальний і реальний досвід, контроль над почуттями, пристрої для занурення, пропускна здатність, тривалість сеансу.

Таблиця 1.

Основні відмінності AR та VR

Критерії	AR	VR
Мета	доповнювати середовище реального світу віртуальними об'єктами	імітувати реальне середовище, чи взагалі неможливі світи
Рівень занурення	користувачі частково занурені в VR	користувачі повністю занурені в VR
Віртуальний і реальний досвід	досвід на 25% віртуальний і 75% реальний (Scavarelli, A., Arya, A. & Teather, R.J., 2021)	досвід на 75% віртуальний і 25% реальний
Контроль над почуттями	користувачі відчують себе в реальному світі	органи чуття знаходяться під частковим контролем системи віртуальної реальності
Пристрої для занурення	не обов'язково потрібні спеціальні AR пристрої (достатньо смартфон чи планшет загального призначення)	спеціальне VR-обладнання, наприклад, VR-окуляри, джойстики, рукавиці, костюми, спеціальні кімнати
Пропускна здатність	потребує каналу зв'язку з меншою пропускною здатністю	потребує каналу зв'язку з більшою пропускною здатністю
Обмеження використання	немає обмежень	для занурення у VR використовуються спеціалізовані пристрої, вплив яких на здоров'я користувачів значно більший (вплив використання пристроїв VR на органи зору та на вестибулярний апарат користувача), ніж при застосуванні AR (Hirota, M., 2019; Turnbull, P. R. K., & Phillips, J. R., 2017; Lee, S. H., Kim, M., Kim, H., & Park, C. Y., 2021; Oh, H., & Lee, G., 2021)
Тривалість сеансу	необмежений час використання	безпечна тривалість сеансу занурення у VR 15 хв. з обов'язковим відпочинком у 15 – 30 хв., що добре корелюється з тривалістю навчальної сесії у 45 хв. (Oh, H., & Lee, G., 2021; Dužmańska, N., Strojny, P., & Strojny, A., 2018)

Згідно з даними в таблиці 1, слід зазначити, що освітній процес із VR та AR вимагає проєктування моделей взаємодії учасників цього процесу.

Розглядаючи процеси взаємодії учасників освітнього процесу із VR та AR, варто насамперед визначитись із суб'єктами взаємодії. У нашому випадку суб'єктами взаємодії виступають учні та вчителі ЗЗО. Суб'єкти взаємодії визначають ланки взаємодії у навчальному середовищі, до яких слід віднести: учень-учень, учень-вчитель, вчитель-учень-учні, вчитель-об'єкт-учень (Биков & Жук, 2003; Велитченко, 2006).

Науковцями пропонується розглядати взаємодію в освітньому процесі як динамічну спільну діяльність вчителя та учнів спрямовану на досягнення поставленої мети, виконання завдань цього процесу, організацію діяльності учасників, шляхів та підходів до досягнення результатів цього процесу, підбір засобів навчання та ІКТ.

У продуктивній спільній діяльності учасників освітнього процесу виникає оптимальна зона реалізації усіх можливостей, що охоплює співпраця вчителя із учнями, і пов'язаних із побудовою особистої траєкторії навчання тих, хто навчається, а саме: змінюються рівень самоорганізації, як вчителя, так і учня; способи розуміння ситуації і взаємодії учасників освітнього процесу; зростає мотивація і готовність учнів до розуміння та перегляду цілей навчальної діяльності, до висунення нових ідей у особистих дослідженнях; готовність і здатність до партнерства з іншими учнями і вчителями особистості (Ковальчук, 2005).

Вище зазначене є важливими умовами для проєктування моделей взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням VR та AR. Крім цього слід звернути увагу на простір VR, який є особливим для організації такого процесу.

Вчені зазначають, що існують такі варіанти взаємодії вчителя із учнями у VR: один учень або вчитель у VR, а інші учасники навчальної діяльності є спостерігачами через монітор; учні взаємодіють у VR, а вчитель контролює та допомагає учням як фасилітатор в середині цього середовища; учні взаємодіють у VR, а вчитель контролює та допомагає учням поза VR, спостерігачами за учнями через монітор (рис. 1).

Простір призначений для використання VR наближений до максимальної площі відносно центру навчального класу, що приблизно дорівнює 135,65 кв.м (1139,5 см на 1190,4 см) (Bannister, 2019). Калібрування кожної гарнітури Oculus Quest до однієї точки в кімнаті повинно гарантувати, що всі користувачі спільно отримують відображення віртуального середовища. Мобільні акумулятори мають бути доступні як аварійні джерела живлення для малопотужних гарнітур.

Крім вище зазначеного, вчені зауважують, що оптимальна бажана кількість учнів у VR – чотири особи. При цьому, схема мережних з'єднань між пристроями користувачів VR може бути таким, як на рисунку 2.

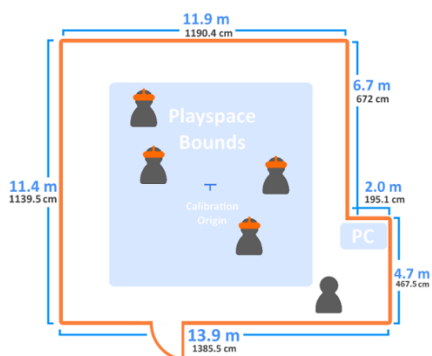


Рис. 1. Модель простору, коли учні взаємодіють у VR, а вчитель контролює та допомагає учням як фасілітатор поза VR, спостерігаючи за учнями через монітор

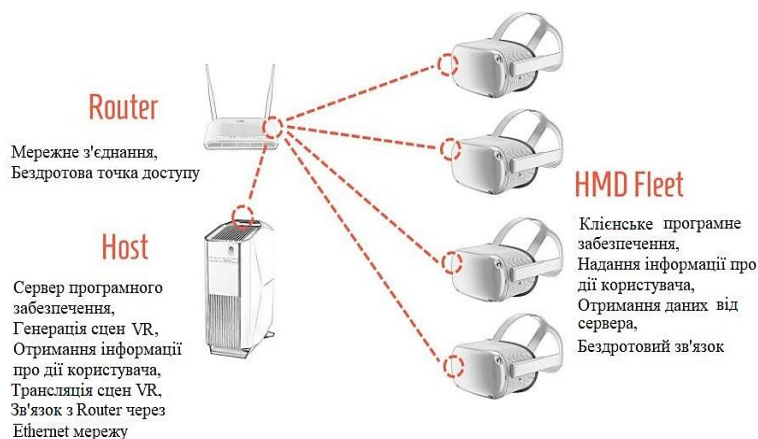


Рис. 2. Схема мережних з'єднань між пристроями користувачів VR

Відповідно до схеми мережних з'єднань між пристроями користувачів VR у просторі (класі) обов'язковим є такі пристрої:

– Роутер (Router): забезпечує зв'язок всіх елементів комплексу за допомогою бездротового та кабельного зв'язку;

– Хост (Host): системний блок, що об'єднує пристрої у єдину систему, забезпечує роботу серверної частини програмного забезпечення, генерує сцени VR для кожного з користувачів, отримує інформацію про дії користувачів, та змінює і транслює сцени відповідно них (дій), забезпечує зв'язок з роутером через кабельну Ethernet мережу;

– Наголовні дисплеї (HMD Fleet): забезпечують роботу клієнтської частини програмного забезпечення, відстежують дії кожного користувача та надсилають інформацію про них серверу, отримують дані від сервера та забезпечує їх відображення на внутрішньому дисплеї, забезпечують бездротовий зв'язок з роутером.

Слід звернути увагу на віртуальні лабораторії, що пропонуються на сайті PhET (<https://phet.colorado.edu/uk/>), який був заснований у 2002 році лауреатом Нобелівської премії Карлом Віманом (Carl Wieman). Проект PhET Interactive Simulations в Університеті Колорадо в Боулдері створює безкоштовні інтерактивні математичні та природничі симуляції, що базуються на різноманітних освітніх дослідженнях і залучають учнів до освітнього середовища, схожого на гру, де вони навчаються через дослідження та відкриття (Potane et al., 2018). За допомогою платформи Nearpod (<https://nearpod.com/>) вчитель може створити свою VR із симуляціями PhET та побудувати траєкторію взаємодії учасників освітнього середовища (рис. 3), як вчитель-учень, так і учні-вчитель, або учень-учні.

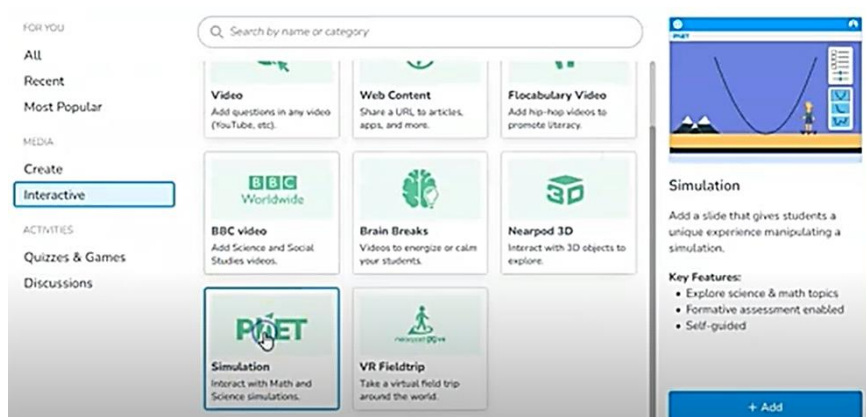


Рис. 3. Фрагмент сайту Nearpod, де вчитель може створити свою VR із симуляціями PhET

Крім вищезазначеного, цікавим прикладом освітнього середовища є BookVAR, де пропонуються лабораторні роботи із застосуванням AR та VR та забезпечується групова взаємодія користувачів із супроводом вчителя (рис. 4). Робота з додатком виконується за допомогою шоломів віртуальної реальності Oculus Quest усіх моделей.



Рис. 4. Фрагмент виконання учнем віртуальної лабораторної роботи із фізики “Теплопровідність”

На відміну від VR, для AR не потрібно особливого простору. Взаємодія учасників освітнього процесу в AR полягає у правильно поставлених учителем завдань учням, наявність у всіх користувачів гаджетів, доцільно підібраний учителем дидактичний матеріал та спланована організація уроку або навчального проекту з AR (час, завдання, вік учнів, результат навчання учнів, форми та методи навчання та ін.). На рисунку 5 представлена модель взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням AR, що складається з чотирьох основних блоків: 1 – діяльність вчителя щодо організації взаємодії; 2 – організація взаємодії учнів із вчителем; 3 – основні види взаємодії учасників цього процесу; 4 – діагностика результативності взаємодії.

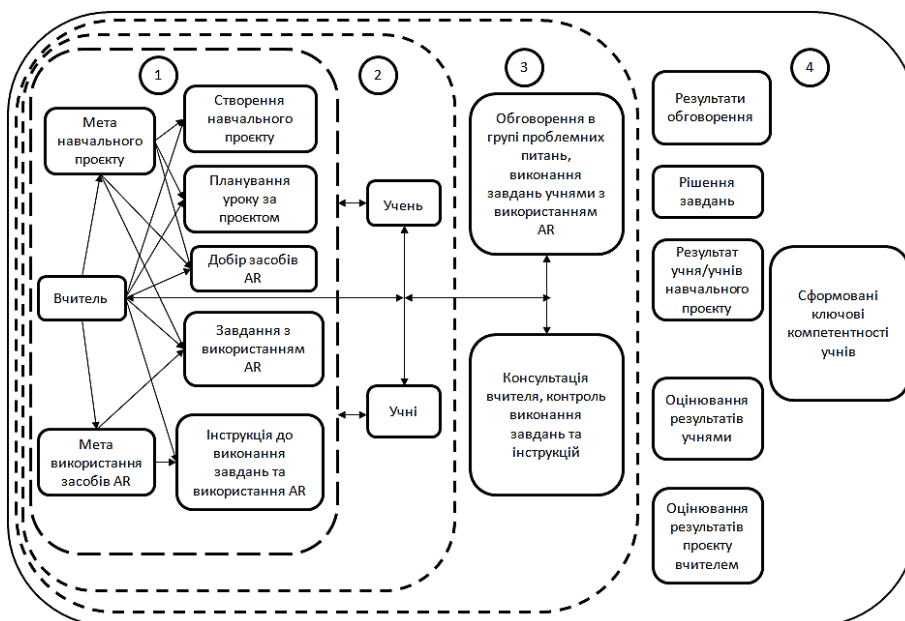


Рис. 5. Модель взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням AR

Розглянемо модель взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням AR докладніше (рис. 5).

Модель взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням AR складається з чотирьох блоків, а саме:

– перший блок – це організація вчителем взаємодії з учнями для здійснення мети навчального проекту, загалом формування в них ключових компетентностей (громадянська, загальнокультурна, здоров’язбережувальна, інформаційно-комунікаційна, комунікативна, міжпредметна естетична, міжпредметна, проектно-технологічна, соціальна) та використання AR для реалізації цього проекту;

– другий блок – організація взаємодії учнів із вчителем, що може охоплювати такі форми навчання як дистанційна, змішана, аудиторна, включає комунікацію учнів у групах під керівництвом вчителя, надання ним інструкцій, обговорення проблемних питань та ін.;

– третій блок – основні види взаємодії учасників цього процесу, що може включати в себе дискусії, мізкові штурми, роботу учнів із віртуальними об’єктами;

– четвертий блок – діагностика результативності взаємодії, яка охоплює представлення результатів обговорення та навчального проекту, пояснення учнями рішення завдань, оцінювання учнями результатів проекту, оцінювання результатів проекту вчителем, оцінювання вчителем результату щодо рівня сформованості в учнів ключових компетентностей.

Вищезазначені блоки модель взаємодії учасників освітнього процесу в 330 із використанням AR можна застосувати і для моделі модель взаємодії учасників освітнього процесу в 330 із використанням VR, але із врахуванням особливого простору призначеного для використання VR та наближеного до максимальної площі відносно центру навчального класу.

Одним із прикладів навчальних проєктів учителями спеціалізованої школи № 181 ім. Івана Кудрі з поглибленим вивченням іноземних мов нами був запропонований проєкт «Сад на підвіконні» для учнів 8-х класів, метою якого є вивчення та розуміння ними реального застосування закону Ома. Проєкт розрахований на 180 хвилин, з яких 45 хвилин – самостійна робота учнів. У проєкті були задіяні вчителі таких навчальних дисциплін: фізики (тема «Закон Ома»); математики (повторення матеріалу за проблемою «розв'язування графічних і розрахункових задач на закон Ома для ділянки кола»); біології («Фотосинтез»), трудового навчання (завдання: дизайн саду на підвіконні); історії (завдання: презентація на тему «Історія винаходу закону Ома»); іноземної мови (завдання: написати есе «Закон Ома в реальному житті»); Інформатики (завдання: за допомогою веб-платформ (Metaverse (<https://studio.gometa.io/>), BlippAR (<https://builder.blippar.com/>), CoSpaces (<https://cospaces.io/edu/>) та ін.) створити приклади із AR та VR для презентації результату проєкту).

Був запропонований навчальний матеріал у вигляді доповненої реальності (рис. 6), що побудований як електронний посібник із проблеми застосування закону Ома у реальному житті.

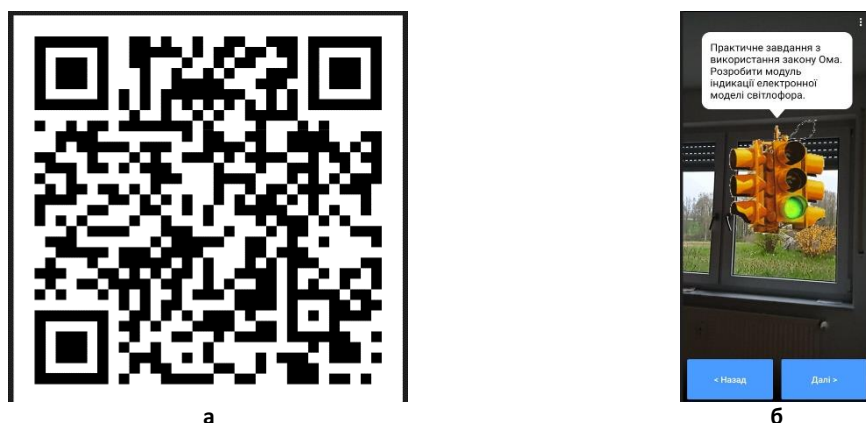


Рис. 6. QR код навчального матеріалу (а), зробленого на веб-платформі Metaverse, та фрагмент використання AR (б)

Взаємодія учнів організовувалася за допомогою їхньої сумісної роботи в групах над рішенням завдання практичного використання закону Ома на прикладі розробки модуля індикації моделі світлофора, це були: обговорення особливостей використання світлодіодів, розгляд параметрів запропонованих світлодіодів червоного, жовтого та зеленого кольорів, розроблення електричної схеми модуля, розрахунку струмообмежувальних резисторів для кожного типу світлодіодів; та ін. що відбувалося покроково за навчальним матеріалом AR (рис. 6). Також для самостійного виконання був запланований проєкт «Сад на підвіконні» під час реалізації якого учні у групах обговорювали такі питання: обговорення фотосинтезу; використання освітлення, розрахованого згідно закону Ома, для правильного освітлення рослин на підвіконні, особливості використання спеціалізованих фітосвітлодіодів, їх електричні параметри та особливості використання, тощо. Взаємодія вчителя і учнів проходила у формі наставництва щодо створення презентацій за допомогою веб-платформ Metaverse, BlippAR, CoSpaces та ін., та допомоги у налаштуванні реальних прикладів освітлення саду.

Варіантом результату роботи учня над дизайном саду може бути презентація за допомогою використанням AR та VR (рис. 7).



Рис. 7. Варіант результату роботи учня над практичною роботою "Сад на підвіконні" за допомогою AR та VR : а – QR код; б – приклад AR; в – результат впровадження дослідження

Після проведення навчального проєкту та семінару «Використання AR та VR в освітньому процесі», вчителям було запропоновано відповісти на анкету щодо їхнього ставлення до взаємодії учасників навчальних проєктів із використанням AR та VR (в опитуванні взяло участь 48 вчителів).

В анкеті респонденти мали відмітити «так», «ні», «не знаю» на такі пропозиції 11 відповідей (табл. 2):

- Взаємодія учнів у VR була вдало організована;
- VR для уроку створюю особисто;
- На уроці користуюсь готовими віртуальними лабораторіями;
- При взаємодії учасників за допомогою AR учителем надавались зрозумілі для учнів інструкції, що покращило результати навчання;
- Для взаємодії учнів у групі використовувалася готова AR;
- Учні самостійно створювали приклади AR для презентації своїх результатів проекту;
- Учні самостійно створювали приклади VR для презентації своїх результатів проекту;
- Були проблеми з організацією VR на уроці;
- Були проблеми з організацією AR на уроці;
- Необхідні методичні рекомендації щодо організації взаємодії учасників при використанні освітніх VR;
- Необхідні методичні рекомендації щодо організації взаємодії учасників при використанні освітніх AR.

Таблиця 2.

Результати відповідей вчителів на анкету

№	Пропозиції відповідей	Так (%) / кількість респондентів	Ні (%) / кількість респондентів	Не знаю (%) / кількість респондентів
1	Взаємодія учнів у VR була вдало організована	41.67% / 20	58% / 28	-
2	VR для уроку створюю особисто	2.08% / 1	98% / 47	-
3	На уроці користуюсь готовими віртуальними лабораторіями	41.67% / 20	58% / 28	-
4	При взаємодії учасників за допомогою AR учителем надавались зрозумілі для учнів інструкції, що покращило результати навчання	72.92% / 35	25% / 12	2.08% / 1
5	Для взаємодії учнів у групі використовувалася готова AR	37.5% / 18	63.5% / 30	-
6	Учні самостійно створювали приклади AR для презентації своїх результатів проекту	85.42% / 41	10.42% / 5	4.17% / 2
7	Учні самостійно створювали приклади VR для презентації своїх результатів проекту	4.17% / 2	95.83% / 46	-
8	Були проблеми з організацією VR на уроці	81.25% / 39	18.75% / 9	-
9	Були проблеми з організацією AR на уроці	14.58% / 7	85.42% / 41	-
10	Необхідні методичні рекомендації щодо організації взаємодії учасників при використанні освітніх VR	100% / 48	-	-
11	Необхідні методичні рекомендації щодо організації взаємодії учасників при використанні освітніх AR	16.67% / 8	83.33% / 40	-

Проведемо розрахунки середнього значення, медіани та стандартного відхилення за кожним показником.

Результати розрахунків засобами Excel:

1. Взаємодія учнів у VR була вдало організована:

- Середнє значення: 0.4167
- Медіана: 0.4167
- Стандартне відхилення: 0.239

2. VR для уроку створюю особисто:

- Середнє значення: 0.0208
- Медіана: 0.0208
- Стандартне відхилення: 0.144

3. На уроці користуюсь готовими віртуальними лабораторіями:

- Середнє значення: 0.4167
- Медіана: 0.4167
- Стандартне відхилення: 0.239

4. При взаємодії учасників за допомогою AR учителем надавались зрозумілі для учнів інструкції, що покращило результат навчання:

- Середнє значення: 0.7292
- Медіана: 0.7292
- Стандартне відхилення: 0.447

5. Для взаємодії учнів у групі використовувалася готова AR:

- Середнє значення: 0.375
- Медіана: 0.375
- Стандартне відхилення: 0.488

6. Учні самостійно створювали приклади AR для презентації своїх результатів проекту:

- Середнє значення: 0.8542
- Медіана: 0.8542

- Стандартне відхилення: 0.355
- 7. Учні самостійно створювали приклади VR для презентації своїх результатів проекту:
 - Середнє значення: 0.0417
 - Медіана: 0.0417
 - Стандартне відхилення: 0.202
- 8. Були проблеми з організацією VR на уроці:
 - Середнє значення: 0.8125
 - Медіана: 0.8125
 - Стандартне відхилення: 0.393
- 9. Були проблеми з організацією AR на уроці:
 - Середнє значення: 0.1458
 - Медіана: 0.1458
 - Стандартне відхилення: 0.355
- 10. Необхідні методичні рекомендації щодо організації взаємодії учасників при використанні освітніх VR:
 - Середнє значення: 1.0
 - Медіана: 1.0
 - Стандартне відхилення: 0.0
- 11. Необхідні методичні рекомендації щодо організації взаємодії учасників при використанні освітніх AR:
 - Середнє значення: 0.1667
 - Медіана: 0.1667
 - Стандартне відхилення: 0.376.

Під час розрахунків для обчислення середнього значення, медіани та стандартного відхилення були використані наступні формули:

Середнє значення (Mean):

середнє значення вираховується шляхом додавання всіх значень і поділу на кількість спостережень.

Формула:

$$\text{Mean} = (\text{Сума всіх значень}) / (\text{Кількість спостережень})$$

Медіана (Median):

Медіана вираховується шляхом розташування всіх значень у порядку зростання і знаходження середнього значення. Якщо кількість спостережень непарна, то медіаною буде значення, розташоване посередині. Якщо кількість спостережень парна, то медіаною буде середнє арифметичне двох значень посередині.

Стандартне відхилення (Standard Deviation):

стандартне відхилення вираховується для вимірювання розкиду значень навколо середнього значення.

Формула:

$$\text{Standard Deviation} = \sqrt{(\sum (x_i - \text{Mean})^2) / n},$$

де x_i – кожне окреме значення, Mean – середнє значення, $\sum$ – сума всіх значень, n – кількість спостережень.

Результати анкети показали наступне:

– взаємодія учасників освітнього процесу із застосуванням VR потребує удосконалення, методичних рекомендацій та досліджень щодо організації цього середовища для різних цілей, як, наприклад, дослідження учнями нового навчального матеріалу, виконання лабораторної роботи, сумісна робота учнів над дослідженням, інструкцій для діяльності вчителя у роботі з учнями у VR та ін.;

– взаємодія учасників освітнього процесу із застосуванням AR найбільш зрозуміла вчителями і учнями, ними використовуються як готові технології AR, так і створені особисто.

Загалом, результати свідчать про різні рівні задоволеності та ефективності використання віртуальної та доповненої реальності у навчанні. Багато респондентів відзначають позитивний вплив VR та AR на навчання, особливо коли надаються зрозумілі інструкції. Однак, існують питання з організацією VR та AR на уроці, а також потреба в методичних рекомендаціях для використання цих технологій.

Цей аналіз може служити основою для подальшого дослідження та розвитку використання віртуальної та доповненої реальності в освітній сфері, з метою поліпшення процесу навчання та залучення учнів до активної взаємодії.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

VR та AR відкривають перед учнями і вчителями багато нових можливостей у організації їхньої взаємодії у процесі навчання в ЗЗО. Модель взаємодії учасників освітнього процесу закладу загальної освіти з використанням віртуальної та доповненої реальності загалом охоплює такі блоки: 1 – діяльність вчителя щодо організації взаємодії учасників освітнього процесу VR та AR; 2 – організація взаємодії учнів із вчителем за допомогою VR та AR; 3 – основні види взаємодії учасників цього процесу з використанням VR та AR; 4 – діагностика результативності взаємодії у навчальному проєкті з VR та AR. При цьому, модель взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням VR має врахувати особливості простору призначеного для використання VR та наближеного до максимальної площі відносно центру навчального класу.

Перспективами подальших досліджень є створення методичних рекомендацій щодо конкретизації діяльності учасників освітнього процесу з використанням VR та AR.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bannister, N.A. (2019). Computer Vision Syndrome in Head-Mounted Displays: Spontaneous Eye Blink Rate and Saccades. figshare. URL: https://hammer.figshare.com/articles/Computer_Vision_Syndrome_in_HeadMounted_Displays_Spontaneous_Eye_Blink_Rate_and_Saccades/11309177/1.

2. Díaz, J.E.M. (2020). Virtual world as a complement to hybrid and mobile learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 15(22), 267–274. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i22.14393>.
3. Doak, D.G., Denyer, G.S., Gerrard, J.A., Mackay, J.P., & Allison, J.R. (2020). Peppy: A virtual reality environment for exploring the principles of polypeptide structure. *Protein Science*, 29(1), 157–168. <https://doi.org/10.1002/pro.3752>.
4. Dużmańska, N., Strojny, P., & Strojny, A. (2018). Can Simulator Sickness Be Avoided? A Review on Temporal Aspects of Simulator Sickness. *Frontiers in psychology*, 9, 2132. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02132>.
5. Hirota, M., Kanda, H., Endo, T., Miyoshi, T., Miyagawa, S., Hirohara, Y., Yamaguchi, T., Saika, M., Morimoto, T., & Fujikado, T. (2019). Comparison of visual fatigue caused by head-mounted display for virtual reality and two-dimensional display using objective and subjective evaluation. *Ergonomics*, 62(6), 759–766. <https://doi.org/10.1080/00140139.2019.1582805>.
6. Kuhail, M.A., ElSayary, A., Farooq, S., & Alghamdi, A. (2022). Exploring Immersive Learning Experiences: A Survey. *Informatics*, 9(4), 75. <https://doi.org/10.3390/informatics9040075>.
7. Lee, S. H., Kim, M., Kim, H., & Park, C. Y. (2021). Visual fatigue induced by watching virtual reality device and the effect of anisometropia. *Ergonomics*, 64(12), 1522–1531. <https://doi.org/10.1080/00140139.2021.1957158>.
8. Mukasheva, M., Kornilov, Iu., Beisembayev, G., Soroko, N., Sarsimbayeva, S., & Omirzakova, A. (2023). Contextual structure as an approach to the study of virtual reality learning environment, *Cogent Education*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2165788>.
9. Oh, H., & Lee, G. (2021). Feasibility of full immersive virtual reality video game on balance and cybersickness of healthy adolescents. *Neuroscience letters*, 760, 136063. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2021.136063>.
10. Perkins Coie LLP and the XR Association (2021). URL: <https://www.perkinscoie.com/content/designinteractive/xr2021/>
11. Potane, Joel & Bayeta, Rodolfo (2018). Virtual Learning Through PhET Interactive Simulation: A Proactive Approach in Improving Student's Academic Achievement in Science. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3166565>.
12. Scavarelli, A., Arya, A., & Teather, R.J. (2021). Virtual reality and augmented reality in social learning spaces: a literature review. *Virtual Reality*, 25, 257–277. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00444-8>.
13. Soroko, N.V., & Lytvynova, S.H. (2021). The Benefits of Using Immersive Technologies at General School. In: , et al. ICTERI 2021 Workshops. *ICTERI 2021. Communications in Computer and Information Science*, 1635. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14841-5_16.
14. Turnbull, P. R. K., & Phillips, J. R. (2017). Ocular effects of virtual reality headset wear in young adults. *Scientific reports*, 7(1), 16172. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16320-6>.
15. Xiao, X., & Wang, J. (2017). Understanding and detecting divided attention in mobile mooc learning. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Denver, CO, USA, 6–11 May 2017, 2411–2415. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025552>.
16. Yuen, S., Yaoynonyong, G., & Johnson, E. (2011). Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 4, 119–140.
17. Биков, В.Ю., & Жук, Ю.О. (2003). Теоретико-методологічні засади моделювання навчального середовища сучасних педагогічних систем. *Проблеми та перспективи формування національної гуманітарно-технічної еліти* : зб. наук. пр., 1(5), 64–76.
18. Велитченко, Л.К. (2006). Психологічні основи педагогічної взаємодії. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора психологічних наук за спеціальністю 19.00.07 – педагогічна та вікова психологія. Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова, Київ.
19. Гриб'юк, О.О. (2022). Педагогічне проектування компонентів віртуальної і доповненої реальності КОМСДН у процесі дослідницького навчання учнів предметів природничо-математичного циклу у закладах загальної середньої освіти. Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах : зб. наук. пр. / редкол.: А.В. Сущенко (голов. ред.) та ін.. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 83, 78–94.
20. Ковальчук, Л.О. (2005). Педагогічна взаємодія викладачів і студентів під час використання нових інформаційних технологій навчання у процесі вивчення педагогічних дисциплін. *Вісник Львівського університету. Серія педагогічна*, 19, 17–25.
21. Литвинова, С.Г. (2022). Готовність учнів закладів загальної середньої освіти до використання віртуальної реальності в освітньому процесі. Перспективи та інновації науки. Педагогіка, психологія, медицина, 4(9), 218–230. [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-4\(9\)](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-4(9)).
22. Литвинова, С.Г., Буров, О.Ю., & Семеріков, С.О. (2021). Концептуальні підходи до використання засобів доповненої реальності в освітньому процесі, *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 55, 46–62. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2020-55-46-62>.
23. Слободяник, О.В. (2023). Особливості роботи гуртка “Створення доповненої реальності” у дистанційному форматі. *Фізико-математична освіта*, 38(1), 60–65. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-1-009>.
24. Соколюк, О.М., & Слободяник, О.В. (2022). Застосування технології доповненої реальності у процесі навчання фізики. Матеріали всеукраїнської вебконференції “Теорія і практика цифрового навчання в сучасних закладах освіти” (присвячується 110-річчю Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського) Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, м. Вінниця, Україна. URL: https://ito.vspu.net/konferenc/konf_digital_education/2022/digital_education-2022.htm.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Bannister, N.A. (2019). Computer Vision Syndrome in Head-Mounted Displays: Spontaneous Eye Blink Rate and Saccades. figshare. URL: https://hammer.figshare.com/articles/Computer_Vision_Syndrome_in_HeadMounted_Displays_Spontaneous_Eye_Blink_Rate_and_Saccades/11309177/1.
2. Díaz, J.E.M. (2020). Virtual world as a complement to hybrid and mobile learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 15(22), 267–274. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i22.14393>.
3. Doak, D.G., Denyer, G.S., Gerrard, J.A., Mackay, J.P., & Allison, J.R. (2020). Peppy: A virtual reality environment for exploring the principles of polypeptide structure. *Protein Science*, 29(1), 157–168. <https://doi.org/10.1002/pro.3752>.
4. Dużmańska, N., Strojny, P., & Strojny, A. (2018). Can Simulator Sickness Be Avoided? A Review on Temporal Aspects of Simulator Sickness. *Frontiers in psychology*, 9, 2132. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02132>.
5. Hirota, M., Kanda, H., Endo, T., Miyoshi, T., Miyagawa, S., Hirohara, Y., Yamaguchi, T., Saika, M., Morimoto, T., & Fujikado, T. (2019). Comparison of visual fatigue caused by head-mounted display for virtual reality and two-dimensional display using objective and subjective evaluation. *Ergonomics*, 62(6), 759–766. <https://doi.org/10.1080/00140139.2019.1582805>.
6. Kuhail, M.A., ElSayary, A., Farooq, S., & Alghamdi, A. (2022). Exploring Immersive Learning Experiences: A Survey. *Informatics*, 9(4), 75. <https://doi.org/10.3390/informatics9040075>.
7. Lee, S. H., Kim, M., Kim, H., & Park, C. Y. (2021). Visual fatigue induced by watching virtual reality device and the effect of anisometropia. *Ergonomics*, 64(12), 1522–1531. <https://doi.org/10.1080/00140139.2021.1957158>.

8. Mukasheva, M., Kornilov, Iu., Beisembayev, G., Soroko, N., Sarsimbayeva, S., & Omirzakova, A. (2023). Contextual structure as an approach to the study of virtual reality learning environment, *Cogent Education*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2165788>.
9. Oh, H., & Lee, G. (2021). Feasibility of full immersive virtual reality video game on balance and cybersickness of healthy adolescents. *Neuroscience letters*, 760, 136063. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2021.136063>
10. Perkins Coie LLP and the XR Association (2021). URL: <https://www.perkinscoie.com/content/designinteractive/xr2021/>
11. Potane, Joel & Bayeta, Rodolfo (2018). Virtual Learning Through PhET Interactive Simulation: A Proactive Approach in Improving Students Academic Achievement in Science. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3166565>.
12. Scavarelli, A., Arya, A., & Teather, R.J. (2021). Virtual reality and augmented reality in social learning spaces: a literature review. *Virtual Reality*, 25, 257–277. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00444-8>.
13. Soroko, N.V., & Lytvynova, S.H. (2021). The Benefits of Using Immersive Technologies at General School. In: , et al. ICTERI 2021 Workshops. *ICTERI 2021. Communications in Computer and Information Science*, 1635. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14841-5_16.
14. Turnbull, P. R. K., & Phillips, J. R. (2017). Ocular effects of virtual reality headset wear in young adults. *Scientific reports*, 7(1), 16172. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16320-6>.
15. Xiao, X., & Wang, J. (2017). Understanding and detecting divided attention in mobile mooc learning. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Denver, CO, USA, 6–11 May 2017, 2411–2415. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025552>.
16. Yuen, S., Yaoyuneyong, G., & Johnson, E. (2011). Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 4, 119-140.
17. Bykov, V. Yu. & Zhuk, Yu. O. (2003). Teoretyko-metodolohichni zasady modeliuвання navchalnoho seredovyscha suchasnykh pedahohichnykh system [Theoretical and methodological principles of modeling the educational environment of modern pedagogical systems]. *Problemy ta perspektyvy formuvannya natsionalnoi humanitarno-tekhnichnoi elity – Problems and prospects of the formation of the national humanitarian and technical elite*, 1(5), 64–76.
18. Velytchenko L.K. (2006). Psykholohichni osnovy pedahohichnoi vzaємodії [Psychological foundations of pedagogical interaction]. Dysertatsiia na здобuttia naukovoho stupenia doktora psykholohichnykh nauk za spetsialnistiu 19.00.07 – pedahohichna ta vikova psykholohiia. – Natsionalnyi pedahohichnyi universytet imeni M.P.Drahomanova, Kyiv.
19. Hrybiuk, O.O. (2022). Pedahohichne proektuvannya komponentiv virtualnoi i dopovненоi realnosti KOMSDN u protsesi doslidnytskoho navchannia uchniv predmetiv pryrodnycho-matematychnoho tsyklu u zakladakh zahalnoi serednoi osvity [Pedagogical design of components of virtual and augmented reality of KOMSDN in the process of research training of students in subjects of the natural and mathematical cycle in institutions of general secondary education]. *Pedahohika formuvannya tvorchoi osobystosti u vyshchii i zahalnoosvitnii shkolakh – Pedagogy of creative personality formation in higher and secondary schools*, 83, 78-94.
20. Kovalchuk, L.O. (2005). Pedahohichna vzaємodіia vykladachiv i studentiv pid chas vykorystannia novykh informatsiinykh tekhnolohii navchannia u protsesi vyvchennia pedahohichnykh dysyplin [Pedagogical interaction of teachers and students during the use of new educational information technologies in the process of studying pedagogical disciplines]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia pedahohichna – Bulletin of Lviv University. Pedagogical series*, 19, 17–25.
21. Lytvynova, S.H. (2022). Hotovnist uchniv zakladiv zahalnoi serednoi osvity do vykorystannia virtualnoi realnosti v osvitnomu protsesi. Perspektyvy ta innovatsii nauky [Readiness of students of general secondary education institutions to use virtual reality in the educational process]. *Pedahohika, psykholohiia, medytsyna – Perspectives and innovations of science. Pedagogy, psychology, medicine*, 4(9), 218-230. [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-4\(9\)](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-4(9)).
22. Lytvynova, S. H., Burov, O. Yu., & Semerikov, S. O. (2021). Kontseptualni pidkhody do vykorystannia zasobiv dopovненоi realnosti v osvitnomu protsesi [Conceptual approaches to the use of augmented reality in the educational process], *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 55, 46-62. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2020-55-46-62>.
23. Slobodianyuk, O. (2023). Osoblyvosti roboty hurtka «Stvorennia dopovненоi realnosti» u dystantsiinomu formati [Peculiarities of the work of the group "Creating augmented reality" in a remote format]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(1), 60-65. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-1-009>.
24. Sokoliuk, O.M., & Slobodianyuk, O.V. (2022). Zastosuvannya tekhnolohii dopovненоi realnosti u protsesi navchannia fizyky [Application of augmented reality technology in the process of teaching physics]. *Materialy vseukrainskoi vebkonferentsii "Teoriia i praktyka tsyfrovoho navchannia v suchasnykh zakladakh osvity" – Materials of the all-Ukrainian web conference "Theory and practice of digital learning in modern educational institutions"*. Vinnytskyi derzhavnyi pedahohichnyi universytet imeni Mykhaila Kotsiubynskoho, m. Vinnytsia, Ukraina. URL: https://ito.vspu.net/konferenc/konf_digital_education/2022/digital_education-2022.htm.



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 10.31110/2413-1571-2023-038-3-010

УДК 538.9

МЕТОДИ ФРАКТАЛЬНОГО ПІДХОДУ В ОСВІТІ: ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОНЦЕПЦІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Наталія ЮРКОВИЧ

Ужгородський національний університет, Україна
nataliya.yurkovych@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-7686-9667>

Михайло МАР'ЯН

Ужгородський національний університет, Україна
mykhaylo.maryan@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-1667-4945>

Магдаліна ОПАЧКО ✉

Ужгородський національний університет, Україна
magdalena.opachko@uzhnu.edu.ua
<http://orcid.org/0000-0003-0494-6883>

Владімір ШЕБЕНЬ

Пряшівський університет, Словаччина
vladimir.seben@unipo.sk
<http://orcid.org/0000-0002-7836-4125>

METHODS OF THE FRACTAL APPROACH IN SCIENCE EDUCATION: INNOVATIVE TECHNOLOGY AND CONCEPTS OF COMPUTER MODELING

Nataliya YURKOVYCH

Uzhhorod National University, Ukraine
nataliya.yurkovych@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-7686-9667>

Mykhaylo MAR'YAN

Uzhhorod National University, Ukraine
mykhaylo.maryan@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-1667-4945>

Magdalena OPACHKO ✉

Uzhhorod National University, Ukraine
magdalena.opachko@uzhnu.edu.ua
<http://orcid.org/0000-0003-0494-6883>

Vladimir SEBEN

University of Presov, Slovakia
vladimir.seben@unipo.sk
<http://orcid.org/0000-0002-7836-4125>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. На сучасному етапі розвитку наукової освіти та інформаційних технологій важливою є їх інтеграція, взаємодоповнюваність і реалізація. Тому пошук методики навчання природничих дисциплін, заснованої на принципах самоорганізації та комп'ютерного моделювання, відповідає безпосереднім завданням сучасності.

Матеріали і методи. Використовуються методи порівняльного аналізу, комп'ютерного моделювання та стратегії узагальнення. В основу дослідження покладено зміст курсу фізики та використання мови програмування.

Результати. Запропоновано інноваційний фрактальний підхід до викладання фізико-математичних дисциплін як метод вдосконалення самостійного та творчого комп'ютерного моделювання природних явищ. Фундаментальні принципи об'єктно-орієнтованого програмування (інкапсуляція, успадкування, поліморфізм) виявилися впливовими у формуванні фізико-математичних аспектів інформаційної архітектури сприйняття навчальних дисциплін. Продемонстровано можливість використання цього підходу в інших розділах фізики. Розроблені ітерації фрактальної структури представлені на прикладі вивчення розділів фізики «Геометрична оптика» та «Хвильова оптика». Показано, що кожна ітерація характеризується синергією: додавання нової ітерації забезпечує якісне та поглиблене сприйняття нової інформації.

Висновки. Формування зазначеної цілісної фрактальної структури зумовлює цілісність сприйняття інформації, а її формування відбувається інтуїтивно. Аналіз проведених досліджень підтвердив інноваційність та ефективність фрактального підходу. Цей підхід може бути використаний для розробки систем обробки та передачі інформації, інтелектуальних інформаційних матеріалів, штучного інтелекту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: комп'ютерне моделювання; фрактальний підхід; процеси самоорганізації; синергетика; фізико-математична освіта; штучний інтелект.

ABSTRACT

Formulation of the problem. At the present stage of the development of science education and information technology, their integration, complementarity, and implementation are essential. Therefore, the search for methods of teaching natural sciences, based on the principles of self-organization and computer modeling, corresponds to the immediate tasks of the present.

Materials and methods. Methods of comparative analysis, computer modeling, and generalization strategy are used. The study is based on the physics course content and the use of the programming language.

Results. An innovative fractal approach to the teaching of physical and mathematical disciplines is proposed as a method of improving independent and creative computer modeling of natural phenomena. The fundamental principles of object-oriented programming (encapsulation, inheritance, polymorphism) have proven to be influential in shaping the physical and mathematical aspects of the information architecture of the perception of educational disciplines. The possibility of using this approach in other sections of physics is demonstrated. The developed iterations of the fractal structure are presented in the example of the study of the "Geometric Optics" and "Wave Optics" sections of physics. It is shown that each iteration is characterized by synergy: the addition of a new iteration provides a high-quality and in-depth perception of new information.

Conclusions. The formation of the specified integrated fractal structure conditions the integrity of information perception and its formation happens intuitively. The analysis of the conducted studies confirmed the innovativeness and effectiveness of the fractal approach. This approach can be used to develop systems for the processing and transmission of information, intelligent information materials, and artificial intelligence.

KEYWORDS: computer modeling; fractal approach; self-organizing processes; synergetics; physical and mathematical education; artificial intelligence.

Для цитування:

Yurkovych N., Mar'yan M., Opachko M., Seben V. Methods of the fractal approach in science education: innovative technology and concepts of computer modeling. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 3. С. 73-78. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-3-010
Yurkovych, N., Mar'yan, M., Opachko, M., & Seben, V. (2023). Methods of the fractal approach in science education: innovative technology and concepts of computer modeling. *Фізико-математична освіта*, 38(3), 73-78. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-010>

For citation:

Yurkovych, N., Mar'yan, M., Opachko, M., & Seben, V. (2023). Methods of the fractal approach in science education: innovative technology and concepts of computer modeling. *Physical and Mathematical Education*, 38(3), 73-78. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-010>
Yurkovych, N., Mar'yan, M., Opachko, M., & Seben, V. (2023). Methods of the fractal approach in science education: innovative technology and concepts of computer modeling. *Fizyko-matematichna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(3), 73-78. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-010>

✉ Corresponding author

© N. Yurkovych, M. Mar'yan, M. Opachko, V. Seben, 2023

INTRODUCTION

Formulation of the problem. Innovative methods of teaching natural and physical-mathematical disciplines in higher education institutions involving computer modeling, as well as their use by teachers, are the object of special attention in scientific pedagogical literature (Hodson, 2014; Kafyulilo et al., 2015; Mar'yan et al., 2020). However, special training of future teachers in digital information processing and computer modeling of natural phenomena is not widespread enough and needs additional attention. This is evidenced both by the analysis of the bibliography of scientific and pedagogical research, and by the analysis of the curricula of educational programs for the training of natural science teachers. For example, the curriculum for training future physics teachers in Slovak universities does not include this subject (Yurkovych et al., 2017). Students – future teachers can familiarize themselves with the content of computer modeling of natural phenomena, in particular, in the process of studying special disciplines: "Digital technologies in teaching physics", "Computer information technologies in physics", "Computing technology in physics". Unfortunately, a similar situation with mastering the content of these disciplines is observed in other universities in Slovakia and Ukraine (Sladek et al., 2011; Mar'yan et al., 2020).

The analysis of current research. In the process of teaching natural sciences, attention is mostly focused on the large amount of material and its unstructured nature. Insufficiently developed are: interconnection and correlation with other disciplines; practical application of modern information technologies. It is worth emphasizing the essential role of intuitive thinking in the implementation of the fractal approach to teaching natural sciences. Intuitive perception is directly related to the use of visualization tools, modern advances in programming and artificial intelligence, namely object-oriented programming (Sugden, 2009; Yurkovych et al., 2017; Mar'yan et al., 2020). We note that the implementation of the fundamental principles of object-oriented programming (encapsulation, inheritance, polymorphism) ensures the efficiency of complex assimilation of information (Yurkovych et al., 2017). They define the concept of the information architecture of the perception of physical-mathematical/natural sciences educational disciplines. Therefore, their use in the field of physical and mathematical/science education is extremely relevant.

The purpose of the article. The purpose of the study is to substantiate the possibility of applying the fractal approach in science education using computer modeling. The subject of the study is the introduction of an innovative fractal approach, which enables future teachers to independently and creatively conduct computer modeling of natural phenomena (Luft, 2001; Yurkovych et al., 2017).

METHODS OF THE RESEARCH

Significant volumes of information and their unstructuredness are not positive aspects of modern physical and mathematical education. There is an internal natural interrelationship and structuredness between various fields of education, science, information technologies, which is manifested and can be demonstrated using the fractal approach (Yurkovych et al., 2017). Features of the fractal approach in teaching natural sciences reproduce the unique functioning of fractals in the natural environment. Namely, it is the implementation of a "simple" algorithm, self-similarity on spatial and temporal scales, self-sufficiency due to the reproduction of the minimum of energy dissipation (Frame & Mandelbrot, 2002; Mar'yan et al., 2020). At the same time, this algorithm implements extremely complex structures. With regard to physical and mathematical education, this means that when teaching one of the sections (subsections) of the discipline, a conjugate algorithm can be defined, which is developed and implemented in subsequent sections. And, in this way, a complex structure is formed while preserving the integrity of the perception of the material. In this case, the use of computer modeling is essential (Yurkovych et al., 2017). It is important to note that during the formation of this and subsequent iterations, the "algorithm" of the fractal structure, laid down at the level of the previous iteration, is preserved. This ensures self-sufficiency and localization of perception. Computer modeling and features of modern object-oriented programming languages, developed on the principles of artificial intelligence (encapsulation, inheritance and polymorphism), determine the thoroughness and spontaneity of teaching the material. In this regard, each subsequent iteration uses the properties of the previous one, and at the same time, it should contain new information (property, method) (Mar'yan et al., 2020) and realize the spontaneity of the educational process.

Fractal, in the context of the application of physical and mathematical education, is an information branched structure, the spatial dimension of which is described by a fractional number (Frame & Mandelbrot, 2002). It is this aspect of fractality that ensures the integrity and completeness of information flows when forming complex structures. However, the complexity is achieved through minimum energy dissipation and energy-informational self-similarity (Mar'yan et al., 2020). This testifies to the expediency and adequacy of their application in the teaching of science pedagogical disciplines, which at the current stage are insufficiently developed and argued (Windschitl, 2004; Kuo et al., 2013; Kafyulilo et al., 2015). Aspects of geometric, algebraic and stochastic fractals (Fig. 1) can appear as attributes of the functioning of the educational process.

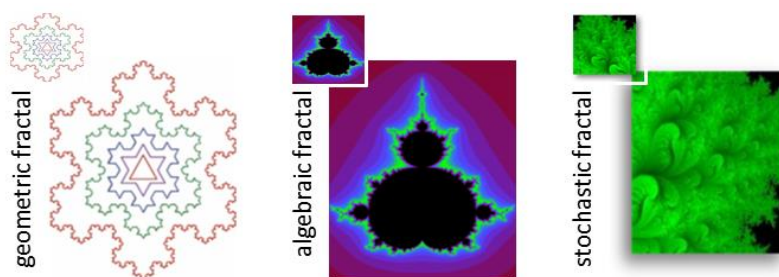


Fig.1. The example of fractal structures (geometrical fractal — Koch's snowflake, algebraic fractal — Mandelbrot's set, stochastic fractal — flow of bubbles) (Frame & Mandelbrot, 2002)

To implement the approach, the visual programming environment Delphi and the algorithmic programming language Object Pascal, which is built on the principles of object-oriented programming and the latest modern information technologies, are used (Lotter et al., 2007; Mar'yan et al., 2020). Along with using Object Pascal, other object-oriented languages such as C++, Java, and Python can be recommended. Students of two universities participated in the educational experiment: Uzhhorod National University (Uzhhorod, Ukraine) and University of Preshov (Preshov, Slovakia). Control groups consisted of 10-18 students. After completion of certain stages of students' training, a test control was conducted, which was supposed to reveal the effectiveness of the proposed approach. Part of the control questions is aimed specifically at identifying students' creative interest in further study and application of computer modeling of natural phenomena.

RESULTS OF RESEARCH

Iterations of the fractal structure were developed on the example of studying the sections of physics "Geometric Optics" and "Wave Optics" with the complex use of features of geometric, algebraic and stochastic fractals. The development and principles of the branches of the fractal structure are shown in Fig. 2-4. It should be noted that the concepts used in computer modeling are also based on the principles of object-oriented programming: encapsulation, inheritance and polymorphism. That is, it is object-oriented modeling.

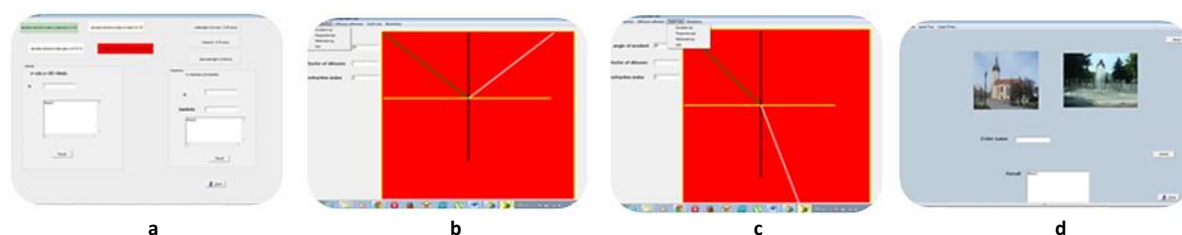


Fig. 2. An example of a branch fractal structure: computer modeling of the Snell's laws

An example of the laws of reflection and refraction of light, the Snell's law is shown in Fig. 2. The branch contains numerical calculations and computing of optical parameters (Fig. 2, *a*), 2th and 3th steps of computer modeling with the visual interface in the environment Delphi (Fig. 2, *b-c*), testing of perception of information (Fig. 2, *d*). The algorithm includes the features of computer modeling of the light propagation process at the interface of two environments, and is further used for the following phenomena (steps), forming a more complex but internally self-sufficient fractal structure. During of the lecture students consider the basic laws of geometrical optics and types of light reflection: mirror (parallel light rays remain parallel after reflection (smooth even surfaces) and diffuse (parallel rays after reflection are scattered in all directions (rough uneven surfaces) with the immediate and spontaneous transition to computer modeling. After consideration of these laws in the environment of visual programming Delphi, the students create the own interface (Fig. 2): students have the opportunity to directly modify the parameters of the optical system (the factors of reflectivity and diffuseness, angle of incidence, refractive index), means of visualization of the rays in Delphi environment (types of lines, colors of the incident and reflected rays) and become active self-sufficient participants in conducting computer experiment. It is important to develop the algorithm of information perception by students on the intuitive level that will be used and developed further in later iterations (lectures).

Similarly, the following branches of the physics section "Geometric optics" and "Wave Optics" are considered:

- The total internal light reflection (Fig. 3).

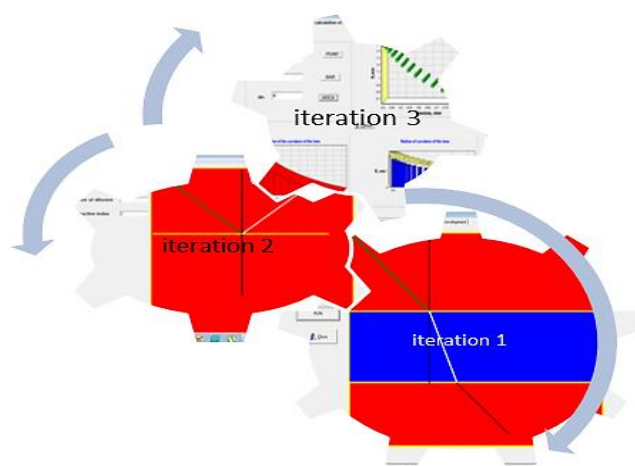


Fig. 3. The visual interface of modeling optical parameters and iteration procedure.

- Determination of light transmittance of a thin film taking into account multiple reflections and using the methods of approximation and computing (Figs. 3, 4).
- Wave Optics.
- Organic use of the Internet, development of web pages on the topics "Geometric optics" and "Wave Optics", interactive access to computer modeling and mobility of students from different educational institutions.

- Organic use and combination of distance learning, means and innovative communication technologies of Google Meet and Zoom.
- Other subsequent branches (sections of physics).

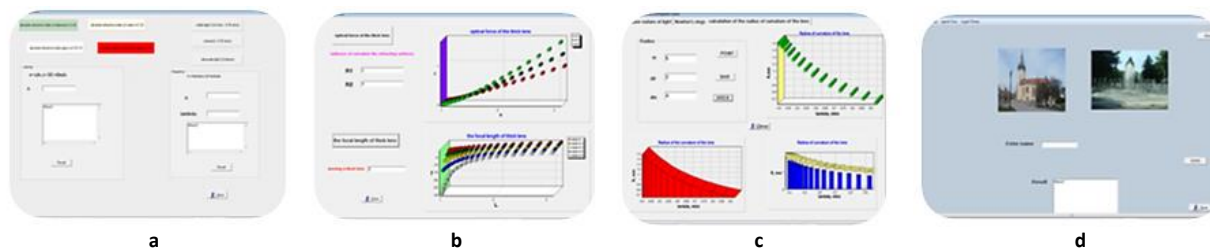


Fig. 4. The branch of a fractal structure: visual interface of the modeling optical power and focal distance of a thick lens (a is numerical calculations of optical parameters, b-c are the modeling of optical parameters, d is testing of perception of information).

Each iteration (section of physics) is characterized by a synergy – adding new iteration provides a qualitative perception of the information (without a mechanical and artificial outside introduction of the division according to themes), the formation of the whole in which the student becomes an active participant. This synergy creates a unique fractal structure, capable of development and functioning. The iterations discussed above can be complemented and developed, in particular by involvement of learning using the testing tools, the exchange of information using the Internet. That is, the process generates and allows an infinite spontaneous number of steps, which is essential for fractal structures (Sherin, 2006; Mar'yan et al., 2020).

Based on the presented approach of the joint and synchronized synergetic usage of lectures on physics and computer modeling, the fractal structure is formed on an intuitive level (Table 1). Functioning of this structure is manifested in the transition to the presence of students' self-sufficiency, involving the use of creative approach, increased the hyper sensibility to the radically new, and the desire to apply the obtained information in cardinally new areas. For example, the phenomenon of total internal reflection along with the classical perception of physics as a process of dissemination of light are also transistor and diode effects of dissemination information, cellular communication, cloud technologies (Informational and Technological Sciences), preparing a hamburger, croissant, cupcake (Technological and Culinary Sciences), the Belousov-Zhabotinsky reaction with the formation of dancing rhythms Latin Dance, Greek Syrtaki, Slovakian Folk Chardash, German Folk Dances (Humanities Sciences), and so similar. An example of the formation of a integrated fractal structure in the teaching of sections of physics "Geometric optics", "Wave optics" is given in Table 1. It should be noted that this approach can be combined and synchronized with other subject areas, for example, mathematics, economics, geography, society, etc.

Table 1.

Steps and ramifications the formation of the fractal structure on information perception.

STEPS	LEVELS OF INFORMATION PERCEPTION
THE FIRST STEP	Physics ("Geometric optics", "Wave optics")
THE SECOND STEP	Physics and Computer Modeling using object-oriented programming
THE THIRD STEP	The intuitive level perception of information by students and the formation of the fractal structure
THE FOURTH STEP	The hyper sensibility and spontaneous distribution of fractal structure in the integrated environment
THE FIVE STEP	The formation of an integrated fractal structure

DISCUSSION

Thus, a fractal structure in teaching one of the sections of physics, "Geometric optics," is formed (it can be easily and spontaneous spread to other branches of physics). The advantages of the proposed approach are obvious: the corresponding physics section is perceived as a single unit without the mechanical separation into its component parts; and the possibility of forming branched structures according to a single algorithm that can be extended to other branches of physics, while maintaining the integrity (fractality) at the level of several sections. It should be noted that unlike the classical approach, which is based on the assimilation and learning of a certain amount and volume of material, the fractal connections reflect the internal structure of the sections that are assigned spontaneously (Windschitl, 2004; Sherin, 2006; Yurkovych et al., 2017).

The offered fractal approach was tested in Uzhhorod National University (Ukraine) for students at the Faculty of Physics and the University of Preshov (Slovakia) for students at the Faculty of Humanities and Natural Sciences at the Department of Physics, Mathematics and Technology. The study carried out the evaluation of the quality of training the discipline "Programming and mathematical modeling" for students according to the specializations "physics teacher", "physics" "applied physics and robotics" (Figs. 5, 6). The resulting dependencies are presented in Figs. 5, 6. They are not accidental; this naturally manifests itself thanks to the fractal approach to physics learning processes.

The research in University of Preshov was conducted in 2018/2019, 2019/2020 and 2021/2022 academic years. The experiment involved 10-15 students in the study subject "Methods of teaching physics" including computer modeling of physics sections "Geometrical optics", "Wave optics". The conducted rating control indicates the students' interest in computer simulation used in teaching physics in 88-93% of future physics teachers and the increase in their level of mastering material by 9-11%. During these classes, the activation of students, and in-depth perception of the material have been noted (Lotter et al., 2007; Özcan, 2015; Sladek et al., 2011; Mar'yan et al., 2020).

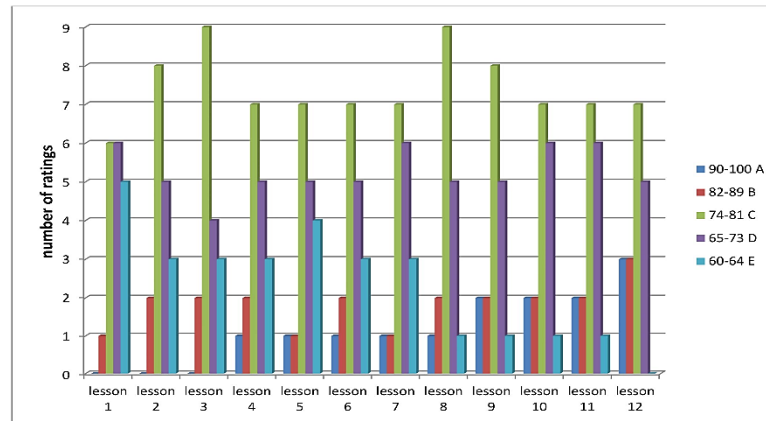


Fig. 5. The diagram of the dependence of assessment ratings of the students in 2018/2019 academic year

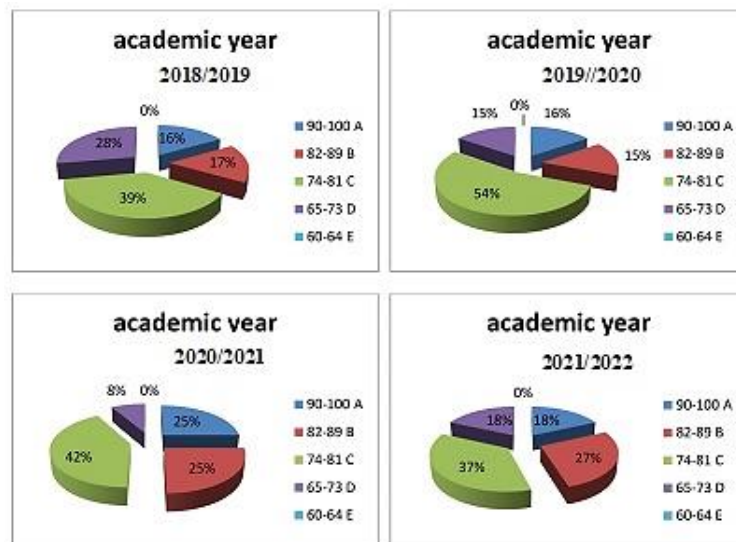


Fig. 6. The diagram of academic performance in the study discipline "Programming and mathematical modeling" for 2018/2019 - 2021/2022 academic years

In Fig. 7 shown one of the elements of the implementation for the fractal approach when studying the physics section "Wave Optics", which qualitatively demonstrated the synergy effect. The analysis of the conducted research and the obtained results confirmed the innovativeness of the technologies of the fractal approach (Yurkovych et al., 2017).

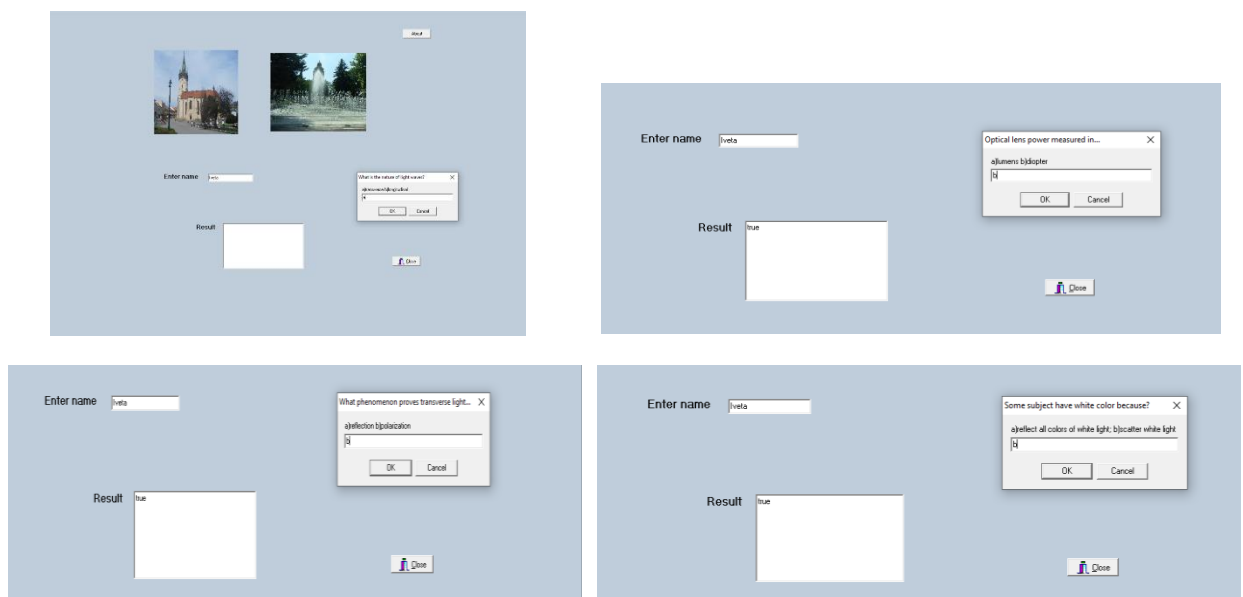


Fig. 7. The interface of the program for intermediate assessment of the knowledge level of students of the physics section "Wave Optics"

CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES FOR A FURTHER RESEARCH

The implementation of the fractal approach to the teaching of physical and mathematical disciplines using computer modeling in the object-oriented Delphi programming environment is substantiated. The formation of a fractal structure is established and iterations are defined that reflect the integrity and spontaneity of information presentation. The involvement of students of related specialties from two universities - Uzhhorod and Preshov - demonstrates the feasibility of using the fractal approach in training future teachers of natural sciences at higher educational institutions. Scientific studies of the behavior and adaptation of self-organized fractal structures in the context of physical and mathematical education are effective and will be continued in the future. The possibility of introducing tried-and-tested aspects of the fractal approach to science teaching in higher education institutions of Central Europe will also be developed and promoted.

REFERENCES

1. Frame, M.L., & Mandelbrot, B.B. (2002). *Fractals, Graphics, and Mathematics Education*. New York: Wiley.
2. Hodson, D. (2014). Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. - *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534-2553. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.899722>
3. Kafyulilo, A.C., Fisser, P., & Voogt, J. (2015). Supporting Teachers Learning Through the Collaborative Design of Technology-Enhanced Science Lessons. *Journal of Science Teacher Education*, 26(8), 673-694. <https://www.learntechlib.org/p/194868/>
4. Kuo, E., Hull, M.M., Gupta, A., & Elby, A. (2013). How Students Blend Conceptual and Formal Mathematical Reasoning in Solving Physics Problems. *Science Education*, 97(1), 32-57. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.21043>
5. Lotter, C., Harwood, W. S., & Bonner, J. J. (2007). The influence of core teaching conceptions on teachers' use of inquiry teaching practices. - *Journal of Research in Science Teaching*, 44(9), 1318 - 1347. <https://doi.org/10.1002/tea.20191>
6. Luft, J. A. (2001). Changing inquiry practices and beliefs: The impact of an inquiry-based professional development programme on beginning and experienced secondary science teachers. *International Journal of Science Education*, 23(5), 517-534. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690121307>
7. Mar'yan, M., Seben, V., & Yurkovych, N. (2020). *Synergetics, Fractality and Information. Application to the Self-Organized Structures and Intelligent Materials*. Presov: University of Presov in Presov Publishing.
8. Özcan, Ö. (2015). Investigating students' mental models about the nature of light in different contexts. *Eur. J. Phys.*, 36(6), 1-16. <http://dx.doi.org/10.1088/0143-0807/36/6/065042>
9. Sherin, B. (2006). Common sense clarified: The role of intuitive knowledge in physics problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(6), 535 - 555. <https://doi.org/10.1002/tea.20136>
10. Sladek, P., Pawera, L., & Valek, J. (2011). Remote laboratory - new possibility for school experiment. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 12, 164-167. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.02.023>
11. Sugden, S.J. (2009). *Problem Solving with Delphi*. New York: Nova Science Publishers.
12. Windschitl, M. (2004). Folk theories of "inquiry": How preservice teachers reproduce the discourse and practices of an atheoretical scientific method. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 481 - 512. <https://doi.org/10.1002/tea.20010>
13. Yurkovych, N., Seben, V., & Mar'yan, M. (2017). *Computer modeling and innovative approaches in physics: optics*. Presov: Prešovska univerzita v Prešove. <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/48051>
14. Yurkovych, N., Seben, V., & Mar'yan, M. (2017). Fractal approach to teaching physics and computer modeling. *Journal of Science Education*, 18(2), 117-120. <http://www.chinakxjy.com/downloads/V18-2017-2.html>



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 10.31110/2413-1571-2023-038-3-011

УДК 37.03:510.2

РЕЦЕНЗІЯ НА КНИГУ:
«БЕЗМЕЖНА СИЛА МАТЕМАТИКИ.
ЯК ЗАВДЯКИ МАТАНАЛІЗУ ВІНАЙШЛИ
СМАРТФОНИ, ТЕЛЕБАЧЕННЯ І GPS»

Таяна ДЕОРДИЦА ✉

Благодійний фонд «e-Terra», Україна
tdeorditsa@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3409-7168>

Володимир ТОЛМАЧОВ

Глухівський національний педагогічний університет
імені Олександра Довженка, Україна
V.S.Tolmachov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4674-8677>

BOOK REVIEW:
«INFINITE POWERS. HOW CALCULUS REVEALS
THE SECRETS OF THE UNIVERSE»

Taiana DIEORDITSA ✉

Charitable Foundation «e-Terra», Ukraine
tdeorditsa@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3409-7168>

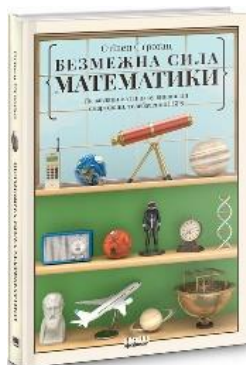
Volodimir TOLMACHOV

Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, Ukraine
V.S.Tolmachov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4674-8677>

ABSTRACT

In this book, Professor S. Strogatz explains the fundamental ideas of calculus, highlights the history of the emergence of these ideas, and demonstrates their impact on the development of science and technology. He addresses thoughtful, curious, knowledgeable people with little background in advanced math. This book will help them a better feeling for what calculus is all about and why it's so enthralling to those who get it. The book's leitmotiv is an aphorism formulated by a famous physicist, R. Feynman: calculus is the language God talks. «Infinite Powers» is worth reading to discover calculus as a part of the culture.

KEYWORDS: mathematics; calculus; infinity; differential equations; culture.



Строгац, С. (2020). Безмежна сила математики. Як завдяки матаналізу винайшли смартфони, телебачення і GPS. Київ. Наш Формат.

Автор: Стівен Строгац (Steven Strogatz) (<https://www.stevenstrogatz.com/>)

Перекладач: Анастасія Дудченко

Оригінальна назва: Infinite Powers. How Calculus Reveals the Secrets of the Universe (2019)

Рік видання: 2021

Кількість сторінок: 256

Видавництво: Наш Формат (<https://nashformat.ua/>)

ISBN: 978-617-7866-21-2 (паперове видання); 978-617-7866-22-9 (електронне видання)

Ключові слова: математика; матаналіз; нескінченність; диференціальні рівняння; культура.

Науково-пізнавальна книга «Безмежна сила математики», за словами її автора, американського математика С. Строгаца, призначена для вдумливих, допитливих та обізнаних людей з невеликим досвідом математики (с. 9). Чому саме для них? А тому, що С. Строгац помітив у суспільстві явний інтерес до математики (Строгац, 2019). У цьому він переконався після публікації у 2010 р. в газеті «The New York Times» серії із 15 статей під загальною назвою «Основи математики». У відповідь на неї посипалися листи і коментарі від читачів різного віку, серед яких було багато студентів і викладачів. Писали й допитливі люди, які з тих чи інших причин «збилися зі шляху» розуміння математичної науки; тепер вони відчули, що втратили щось цінне, і хотіли б спробувати ще раз (Строгац, 2019). Із цих статей у 2012 р. виросла науково-популярна книга «The Joy of x», видана і в Україні під назвою «Експерсія математики» (2019). Мабуть, її широка популярність спонукала С. Строгаца написати нову науково-пізнавальну книгу, цього разу про математичний аналіз. Така книга під назвою «Infinite Powers» вийшла друком 2019 р. Українською під назвою «Безмежна сила математики» вона побачила світ у 2021 р. У цій книзі С. Строгац поставив собі за мету показати матаналіз як єдине ціле і дати відчуття його краси, єдності та величч (с. 301)

Для цитування:

Деордіца Т., & Толмачов В. Рецензія на книгу: «Безмежна сила математики. Як завдяки матаналізу винайшли смартфони, телебачення і GPS». *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 3. С. 79-81. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-3-011

Деордіца Т., & Толмачов, В. (2023). Рецензія на книгу: «Безмежна сила математики. Як завдяки матаналізу винайшли смартфони, телебачення і GPS». *Фізико-математична освіта*, 38(3), 79-81. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-011>

For citation:

Dieorditsa, T., & Tolmachov, V. (2023). Book review: «Infinite powers how calculus reveals the secrets of the universe». *Physical and Mathematical Education*, 38(3), 79-81. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-011>

Dieorditsa, T., & Tolmachov, V. (2023). Recenzia na knyhu: «Bezmezna sila matematyky. Yak zavdyaki matanalizu vynayshly smartfony, telebachennia i GPS». [Book review: «Infinite powers how calculus reveals the secrets of the universe». *Fiziko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(3), 79-81. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-011>

Популяризація математики хоч й улюблена, але не основне заняття С. Строґаца. Передусім він математик-практик і викладач. З 1994 р. й донині С. Строґац обіймає посаду професора на факультеті теоретичної і прикладної механіки у Корнелльському університеті (Ітака, США). На початку своєї кар'єри він працював над різними проблемами математичної біології, включно з геометрією суперскрученої ДНК, динамікою людського циклу «сон — неспання», топологією тривимірних хвиль і колективною поведінкою біологічних осциляторів. У 1990-х роках його робота була зосереджена на нелінійній динаміці у застосуванні до фізики, техніки та біології. Мабуть, найвідомішим дослідницьким внеском С. Строґаца є стаття про мережі «малого світу», написана у співавторстві з його колишнім студентом Д. Ваттсом (Watts & Strogatz, 1998). За даними Google Scholar, з моменту оприлюднення її цитували понад 50 000 разів. В одному зі своїх есе С. Строґац признався: хоч як він любить математику, найбільше йому до душі пояснювати її іншим (Strogatz, 2014). Тому не дивно, що він є майстерним викладачем і пристрасним популяризатором математики (Strogatz, 2004).

У «Безмежній силі математики» С. Строґац розповідає про те, як виник матаналіз, як він працює, у чому полягає його користь і куди він прямує далі. Лейтмотивом книги виступає афористичний вислів лауреата Нобелівської премії з фізики Р. Фейнмана (R. Feynman): «Матаналіз — Божя мова» («Calculus is the language God talks»). Зазначимо, що україномовним відповідником терміна «Calculus» є термін «матаналіз». Для того, щоб читачі усвідомили смисл цієї парадоксальної думки, С. Строґац по-різному витлумачує її протягом усієї книги. Ось, наприклад, так: «... ніхто не розуміє чому, але Всесвіт — глибоко математична річ. Може, таким його задумав Бог. <...> У кожному разі, сам факт, що Всесвіт підвладний законам природи, які завжди можна виразити мовою матаналізу — з реченнями у вигляді диференціальних рівнянь — загадковий і неймовірний». <...> Люди випадково відкрили цю дивну мову — спочатку як частинку геометрії, потім як частину коду Всесвіту. Згодом навчились вільно нею говорити й розшифровувати її ідіоми й нюанси. І нарешті вони оволоділи її можливостями прогнозувати майбутнє та почали за її допомогою змінювати світ» (с. 7-8). Утім, С. Строґац наголошує, що матаналіз, як і всі інші форми математики, — це не просто мова. Це неймовірно потужна система аргументації. За її допомогою можна перетворювати одне рівняння на інше, використовуючи символічні операції, на які поширюється дія певних правил. Якщо математику не забракне везіння й умінь, рівняння можуть показати свої приховані потенціальні наслідки. Так, Максвеллу вдалося вивести рівняння електромагнітної хвилі (с. 12-13).

Книга «Безмежна сила математики» складається зі вступу, одинадцяти розділів і підсумків. У вступі автор готує читачів до розуміння основної концепції матаналізу — «принципу нескінченності». У першій главі «Нескінченність» він деталізує це поняття і наочно ілюструє однойменний принцип на прикладі доказу «Піца» У другій главі «Людина, що приборкала нескінченність» він знайомить читачів з Архімедом і тим, як він обчислював число π і площу параболічного сегмента. Схожі ідеї сьогодні застосовують у комп'ютерній анімації та лицьовій хірургії. Третя глава «Відкриваємо закони руху» присвячена обговоренню загадки руху шляхом зіставлення життя і діяльності двох великих дослідників Всесвіту: схильного до містики Й. Кеплера і раціонального Г. Галілея. Далі С. Строґац терпляче вибудовує математичне поняття змін, досліджуючи розвиток диференціальної геометрії (глава 4 «Світанок диференціального числення»), функцій (глава 5 «Перехрестя») і похідних (глава 6 «Словник змін»), щоб потім обміркувати прорив І. Ньютона і Г. Лейбніца у матаналізі (глава 7 «Таємничий фонтан», глава 8 «Фікції»). Три останні глави демонструють еволюцію матаналізу з часів цих геніїв математики до наших днів. Дев'яту главу «Логічний Всесвіт» присвячено ньютонівським ідеям, від законів природи до проблеми двох тіл і до їх впливу на Просвітництво. У цій главі С. Строґац також запроваджує поняття рівнянь із частинними похідними і наводить приклад їх використання у процесі проектування Boeing 787. У десятій главі «Як з'являються хвилі» йдеться про хвильову теорію та аналіз Фур'є. Кінцева, одинадцята глава «Майбутнє матаналізу» присвячена нелінійності, теорії хаосу та міркуванням про майбутнє матаналізу в епоху комп'ютерів і штучного інтелекту. На завершення С. Строґац показує на прикладах, наскільки моторшно ефективним буває матаналіз.

Для того, щоб не відлякувати читачів, С. Строґац розповідає про ідеї матаналізу захопливо і доступно. Ось, наприклад, як прозоро він висвітлює принцип нескінченності: «...Таємниця успіху матаналізу криється в тому, що він розбиває складні задачі на менші і простіші підзадачі. Звісно, так робить не тільки матаналіз. <...> Але що вирізняє матаналіз, чому в його випадку це дуже радикальний підхід? Він доводить стратегію «розділай і володарюй» до межі, тобто до нескінченності. Він не ділить велику задачу на кілька невеликих частин — він невтомно розбиває і розбиває, дробить задачу на найменші з можливих частинки, яких нескінченна кількість. Закінчивши з цим, він вирішує проблему кожної окремої частинки. <...> Лишається тільки скласти всі мінівідповіді до купи. <...> Отже, матаналіз складається з двох етапів: розбити й перебудувати. Якщо сказати математичною мовою, під час першого етапу існує нескінченно мале віднімання, за допомогою якого можна виразити різницю між частинками. Відповідно ця половина роботи називається *диференціальним численням*. Коли частинки складають назад, застосовують нескінченне додавання — частинки об'єднуються назад у ціле. Ця половина роботи називається *інтегральним численням*» (с. 15-16). Цю розповідь С. Строґац доповнює завданням, на якому можна «помацати» нескінченність. Це знаходження площі ідеально круглої піци шляхом її нарізання на нескінченну кількість шматочків. На нашу думку, таке моделювання нескінченності є дієвим способом наблизитися до її розуміння.

Під час читання «Безмежної сили математики» нас не залишало питання: чому у школі основи матаналізу даються учням так важко? Вичерпну відповідь на нього ми знайшли в есе «Плач математика» авторства П. Локхарда (P. Lockhart), американського математика-дослідника, який присвятив свою кар'єру викладанню математики у школі. Вважаючи математику формою творчого мистецтва нарівні з музикою і живописом, він викриває вади стандартних методів навчання, які використовують сьогодні у більшості шкіл. Приймаючи ідею навчання школярів математичних технік розв'язання різноманітних математичних задач, П. Локхард водночас переконаний, що їх опанування не є метою шкільної математичної освіти. Він впевнений, що техніка в математиці, як і в будь-якому мистецтві, має вивчатися в контексті. І цей контекст — фундаментальні ідеї, їхня історія, творчий процес (Локхард, 2002). На наш погляд, книга «Безмежна сила математики» є вдалим описом найважливіших складників цього контексту. А приклади практичного втілення ідей матаналізу в сучасних технологіях, що їх ретельно підібрав С. Строґац, вважаємо цінним його доповненням. Адже, якщо

учні почнуть бачити математичне «начиння» природних і рукотворних феноменів, то питання «навіщо потрібна математика?» не виникатиме.

У виші ми вивчали матаналіз як інструмент. Цьому ж ми навчаємо і наших учнів. Тож нам варто було прочитати «Безмежну силу математики», аби відкрити для себе матаналіз як частину культури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Strogatz, S. (2004). The science of sync. *TED*. https://www.ted.com/talks/steven_strogatz_the_science_of_sync.
2. Strogatz, S. (2014). Writing about Math for the Perplexed and the Traumatized. *Notices of the AMS*, 3(61), 286-291. <http://dx.doi.org/10.1090/noti1086>.
3. Watts, D., & Strogatz, S. (1998). Collective dynamics of "small-world" networks. *Nature* 393 (6684), 440–442. <https://doi.org/10.1038/30918>.
4. Локхард, П (2002). *Плач математика*. <https://matematika-v-shkoli.blogspot.com/2018/12/blog-post.html>.
5. Строгац С. (2019). *Екскурсія математикою. Як через готелі, риб, камінці і пасажирів зрозуміти цю науку*. Наш Формат.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Strogatz, S. (2004). The science of sync. *TED*. https://www.ted.com/talks/steven_strogatz_the_science_of_sync.
2. Strogatz, S. (2014). Writing about Math for the Perplexed and the Traumatized. *Notices of the AMS*, 3(61), 286-291. <http://dx.doi.org/10.1090/noti1086>.
3. Watts, D., & Strogatz, S. (1998). Collective dynamics of "small-world" networks. *Nature* 393(6684), 440–442. <https://doi.org/10.1038/30918>.
4. Lockhart, P. (2002). *Плач математика (A Mathematician's Lament)*. <https://matematika-v-shkoli.blogspot.com/2018/12/blog-post.html>. (In Russian).
5. Strogatz, S. (2019). *Екскурсія математикою. Як через готелі, риб, камінці і пасажирів зрозуміти цю науку (A Guided Tour of Math. How to understand this science through hotels, fish, pebbles and passengers)*. Nash Format (in Ukrainian).



АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Д

Деордіца Т.	79
Друшляк М.	29

Є

Єрмакова-Черченко Н.	7
---------------------------	---

І

Івашина Ю.	7
Ільніцька К.	20

К

Коваленко В.	12
Краснобокий Ю.	20

Л

Лукашова Т.	29
Лупаренко Л.	36

М

Мар'єнко М.	36
Мар'ян М.	73
Матвійчук О.	50
Матяш О.	43

О

Опачко М.	73
----------------	----

П

Подласов С.	50
------------------	----

Р

Риндюк В.	43
Руфаїда С.	57

С

Самад С.	57
Свердліченко Д.	50
Сороко Н.	63
Сям Н.	57

Т

Ткаченко В.	63
Ткаченко І.	20
Толмачов В.	79

Х

Хворостіна Ю.	29
--------------------	----

Ш

Шебень В.	73
Шишкіна М.	36

Ю

Юркович Н.	73
-----------------	----

Наукове видання

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА

Науковий журнал

Key title: Fiziko-matematična osvita

Abbreviated key title: Fiz.-mat. osv.

Том 38, № 3

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/>