

УДК 378.147:51:004

Синергетика і математичне моделювання: інтеграція фізичних задач у процес математичної підготовки технічних фахівців

Альона Коломієць¹, Михайло Лисий², Світлана Кирилашук³

¹Вінницький національний технічний університет, кафедра вищої математики,
м. Вінниця, Україна

kolomiets@vntu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-7665-6247>

²Вінницький національний технічний університет, фізики,
м. Вінниця, Україна

lisiymv@vntu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-5155-966X>

³Вінницький національний технічний університет, кафедра вищої математики,
м. Вінниця, Україна

kyrylashchuk@vntu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-8972-3541>

Анотація. Робота присвячена актуальній проблемі підвищення якості фундаментальної математичної підготовки майбутніх технічних фахівців в умовах динамічного розвитку науки і техніки. Це сприяє нелінійній взаємодії математичних та фізичних знань, формуванню цілісної системи наукового світогляду. У статті обґрунтовано теоретико-методологічні засади реалізації синергетичного підходу як ефективної стратегії модернізації освітнього процесу у вищих технічних закладах освіти. З позицій синергетики фундаментальна математична підготовка розглядається як складна, відкрита педагогічна система, що перебуває у стані нелінійної динаміки та самоорганізації. Ключовим механізмом реалізації синергетичного підходу у статті визначено інтеграцію розв'язування фізичних задач у процес вивчення вищої математики. У роботі розкрито дидактичний потенціал фізичних задач як засобу фундаменталізації математичної підготовки. Визначено теоретико-дидактичні принципи реалізації синергетичного підходу у фундаментальній математичній підготовці майбутніх технічних фахівців шляхом розв'язування фізичних задач; наведено критерії добору та конструювання фізичних задач, інтегрованих у математичний курс, що забезпечують формування не лише математичних знань, умінь та навичок, але й професійно спрямованих компетентностей, включаючи навички математичного моделювання, аналізу складних систем, проблемного мислення та міждисциплінарної інтеграції. У статті наведено приклад реалізації пропонованого підходу у математичній підготовці майбутніх технічних фахівців.

Ключові слова: синергетичний підхід, фундаментальна математична підготовка, технічні фахівці, розв'язування фізичних задач, інтеграція, педагогічна система, самоорганізація, міждисциплінарність, професійна компетентність, математичне моделювання.

1. Вступ

Розвиток наукового знання та ріст соціального замовлення щодо якості підготовки інженерних кадрів постають детермінантами, що ініціюють процеси якісної трансформації освітньої системи. На сучасному етапі трансформації освітньої системи України та з огляду на її динамічний розвиток особливої актуальності набуває синергетичний підхід. Такий підхід відображає не лише взаємозалежність і багатовимірність освітніх процесів, а й забезпечує ефективну взаємодію між їх елементами, результатом якої є поява нових якісних характеристик, що не зводяться до простої суми властивостей окремих компонентів системи. У контексті вищої технічної освіти це вимагає міждисциплінарної інтеграції та активної співпраці між усіма учасниками освітнього процесу.

Синергетичний підхід є *методологічною основою* для аналізу процесу фундаментальної математичної підготовки майбутніх фахівців технічного профілю. У контексті синергетичного підходу фундаментальна математична підготовка постає як динамічна педагогічна система, що трансформується в умовах нелінійної взаємодії внутрішніх та зовнішніх факторів.

Такі процеси в освітньому просторі обумовлюють якісну трансформацію поглядів та методології навчання у вищій технічній школі. Це проявляється в оптимізації його організаційної структури та функціональних характеристик. У межах цього оволодіння курсом вищої математики розглядається не лише як засвоєння сукупності математичних знань, а як формування інтегрованого комплексу професійно орієнтованих компетентностей. До складу цього комплексу входять когнітивний (знання), операційний (навички та вміння), мотиваційно-ціннісний (професійна спрямованість) та рефлексивний компоненти, що забезпечують необхідний фундамент для успішної професійної діяльності майбутніх технічних фахівців.

Розвитком концепції реалізації синергетичного підходу в освітньому процесі займалися Лисенко Т. І. [12], Спірін О. М. [14], Сисоєва С. О. [13] та інші.

Зокрема, Кремень В. Г. [11] розглядає філософсько-методологічні засади синергетики та її значення для розвитку освіти в Україні. Зайченко, О. І. [5], [6] досліджує процес становлення педагогічної синергетики як нової наукової парадигми в освіті.

У наукових розробках дослідників система освіти постає як нелінійна багатовекторна система, що розвивається в умовах взаємодії багатьох факторів. Реалізація синергетичного підходу в процесі підготовки майбутніх фахівців з технічного спрямування забезпечує формування гнучкої та динамічної освітньої системи, здатної до адаптації, саморозвитку та оперативного реагування на актуальні соціальні виклики та трансформації ринку праці.

Однак, попри наявність широкого спектру наукових розвідок у цьому напрямі, досі спостерігається фрагментарність у практичному впровадженні синергетичного підходу у математичну підготовку технічних фахівців. Актуальною залишається проблема узгодження традиційних методів навчання з новітніми освітніми концептами, що вимагає подальшого дослідження й методичного супроводу.

2. Постановка проблеми

Метою статті є теоретико-методичне обґрунтування та розробка моделі реалізації синергетичного підходу у фундаментальній математичній підготовці майбутніх технічних фахівців, виокремлення основних принципів її реалізації. Завданням дослідження є побудова траєкторії фундаментальної математичної підготовки, що має інтегративний та прикладний характер.

Для вирішення поставленого завдання ми пропонуємо інтегрувати розв'язування задач загальної фізики (або окремі фрагменти такого розв'язування) у процес математичної підготовки майбутніх технічних фахівців. Це зумовить посилення розуміння у студентів важливості вивчення математичних понять, формування аналітичного та критичного мислення.

Аналіз напрацювань дослідників феномену синергії та реалізації синергетичного підходу в освітньому процесі дозволив виокремити основні теоретико-дидактичні принципи реалізації синергетичного підходу у фундаментальній математичній підготовці майбутніх технічних фахівців, зокрема шляхом розв'язування фізичних задач. Основні принципи та їх обґрунтування наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Основні принципи реалізації синергетичного підходу у процесі математичної підготовки майбутніх технічних фахівців

<i>Назва принципу</i>	<i>Дослідники принципу</i>	<i>Трактування дії принципу у контексті фундаментальної математичної підготовки</i>
Принцип нелінійності	Haken, H. [2] Chernavskii, D. S. [1]	Взаємодія математичних знань та фізичних задач не є лінійною. Застосування математичних понять у процесі розв'язування фізичних завдань призводить до якісно нових рівнів розуміння обох дисциплін.
Принцип відкритості	Вознюк, О. В. [3], [4] Кремень В. Г. [11]	Освітній процес є відкритою системою, у якій відбувається обмін інформацією та ресурсами із зовнішнім середовищем (науковою літературою, практичним досвідом, вимогами професійної діяльності).
Принцип самоорганізації	Haken, H. [2]	Створення умов для активної пізнавальної діяльності студентів через розв'язування фізичних задач, викладач переважно не дає готових алгоритмів, стимулює процес самостійного пошуку знань та творчого застосування математичного апарату.

Отже, до основних принципів реалізації синергетичного підходу у фундаментальній математичній підготовці майбутніх технічних фахівців належать принципи *нелінійності, відкритості, самоорганізації*.

Розв'язування фізичних завдань або наведення елементів їх розв'язування на заняттях вищої математики активізує навички аналітичного мислення, дозволяє моделювати процеси, будувати алгоритми вирішення проблем та приймати обґрунтовані рішення. Такий підхід створює точки біфуркації (критичні моменти або стани в розвитку системи, коли її подальший шлях стає невизначеним) в традиційному освітньому процесі, стимулюючи студентів до активного застосування абстрактних математичних концепцій до аналізу конкретних фізичних явищ і процесів. Наприклад, при вивченні диференціального числення функції однієї змінної без наведення практичного застосування математичних понять та теорій студенти приходять до «висновку непотрібності» вивчення матеріалу вважаючи його виключно теоретичним. Від так, у студентів може бути втрачена мотивація вивчення як поточного навчального матеріалу,

так і наступного, настає стан «нерівноваги» системи внутрішньої мотивації до навчання студентів. Точкою біфуркації в цьому випадку може бути інтеграція розв'язування фізичних завдань у структуру фундаментальної математичної підготовки студентів.

Дієвість пропонованої ідеї полягає у тому, що у процесі математичної підготовки лінійне накопичення математичних фактів замінюється формуванням у студентів нелінійних зв'язків між математичними абстракціями та конкретними фізичними явищами шляхом розв'язування фізичних задач. Ця взаємодія може призвести до виникнення нових розумінь та навичок, які не будуть сумою знань з обох дисциплін, а створять передумови для розуміння математичних знань, як потужного інструменту для дослідження світу, а не просто самоціллю. Саме тому розв'язування фізичних задач або наведення фрагментів розв'язування є ефективним інструментом до фундаментальної математичної підготовки майбутніх технічних фахівців.

3. Основний результат

При доборі фізичних задач у процесі фундаментальної математичної підготовки майбутніх технічних фахівців доцільно дотримуватися критеріїв, що сприятимуть оптимальному засвоєнню математичних знань та формування математичних умінь. Основними критеріями добору фізичних задач для посилення синергії математичної підготовки є

- ✓ **фундаментальність фізичного змісту.** Задачі повинні охоплювати ключові, фундаментальні поняття та закони фізики, які мають широке застосування в різних галузях техніки. Це забезпечує розуміння студентами універсальності фізичних принципів, що корелюють з універсальністю математичних методів;
- ✓ **значущість математичного апарату для розв'язання.** Розв'язання задач повинно зумовлювати застосування значного та різноманітного спектру математичних методів і концепцій, що вивчаються в курсі вищої математики (наприклад, диференціальне та інтегральне числення, векторний аналіз, диференціальні рівняння, лінійна алгебра, комплексні числа, теорія ймовірностей та математична статистика тощо). Це демонструє практичну необхідність математичних знань для аналізу фізичних явищ;
- ✓ **модельний характер.** Задачі повинні передбачати побудову математичної моделі фізичної ситуації, що розвиває у студентів навички формалізації реальних процесів математичною мовою, тобто вміння математично (формулою) описати фізичну ситуацію; важливо, щоб студенти розуміли етапи моделювання: від виділення ключових параметрів до інтерпретації математичних результатів у фізичному контексті.
- ✓ **професійна орієнтованість.** Бажано, щоб фізичні задачі мали зв'язок з майбутньою професійною діяльністю технічних фахівців у різних галузях. Це підвищує мотивацію студентів до вивчення як математики, так і фізики, демонструючи їхню практичну цінність для розв'язання інженерних, технічних завдань.
- ✓ **різноманітність рівнів складності.** Доцільно використовувати задачі різних рівнів складності – від простих ілюстративних прикладів до складних проблем, що вимагають творчого застосування знань та навичок. Це дозволяє враховувати індивідуальні особливості студентів та забезпечувати поступове зростання їхньої математичної та фізичної компетентності;
- ✓ **візуалізація та наочність.** Задачі, що піддаються наочній інтерпретації або можуть бути візуалізовані (графічно, схематично), сприяють кращому розумінню фізичної сутності проблеми та її математичної моделі;
- ✓ **можливість для міждисциплінарних зв'язків.** Задачі повинні створювати можливості для встановлення зв'язків не лише між математикою та фізикою, але й з

іншими технічними дисциплінами, що вивчаються студентами. Це сприяє формуванню цілісного наукового світогляду та розумінню системності знань.

Дотримання цих критеріїв при відборі фізичних задач дозволить максимально посилити синергію математичної підготовки майбутніх технічних фахівців, що сприятиме глибшому розумінню математичних концепцій.

Наведемо приклад реалізації пропонованого підходу - розв'язування фізичних задач та методологічним обґрунтуванням важливості дій, що виконуються під час цього процесу.

Задача. Посудина з водою висотою h знаходиться у вертикальному положенні. На якій висоті H потрібно зробити отвір, щоб дальність витікання води з отвору була максимальною (рис 1.)

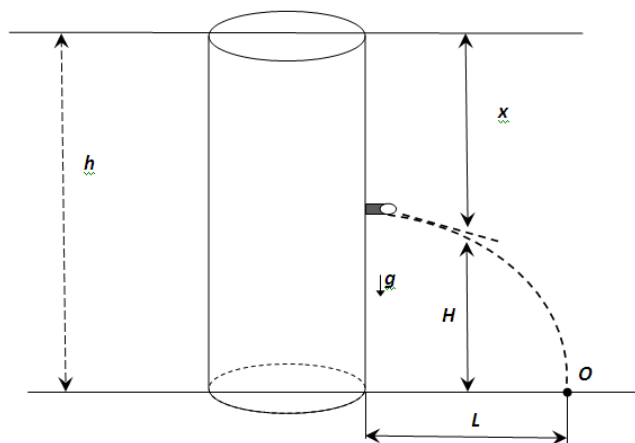


Рисунок 1.

H - висота отвору від горизонтальної поверхні;

h - висота посудини,

L - відстань на яку витікає вода.

Розв'язування

Складаємо функцію $L=L(x)$, яка показує залежність витікання води з отвору від висоти x .

Відомо:

$$L = V \cdot t, \quad (1)$$

де t - час витікання води від отвору посудини до кінцевої точки O , V - швидкість витікання.

Для рівноприскореного руху $H = \frac{gt^2}{2}$, де g -

прискорення вільного падіння. З останньої рівності знаходимо час (дати кілька хвилин студентам для самостійного виведення формули)

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}},$$

Швидкість витікання води визначаємо за законом Торрічеллі:

Коментар

Проведення актуалізацію знань складання функціональних залежностей.

Повторення вмінь елементарних перетворень функцій, вираження одних змінних через інші.

Актуалізація вмінь встановлення

$$V = \sqrt{2gx} \quad , (2)$$

Маємо: $x=h-H$, $H=h-x$

Тоді:

$$t = \sqrt{\frac{2(h-x)}{g}} \quad , (3)$$

Підставимо швидкість (2) і час (3) в формулу (1), отримаємо:

$$L = \sqrt{2gx} \cdot \sqrt{\frac{2(h-x)}{g}} = \sqrt{4x(h-x)} = 2\sqrt{x(h-x)} \quad ,$$

де $x < 0 < h$

Отже, L є функцією від x $L = L(x) = 2\sqrt{x(h-x)}$

Досліджуємо функцію $L(x)$ на тах на відрізку $[0;h]$.

Відомо, що найбільше (найменше) значення функції на відрізку може знаходитися або у критичній точці, яка належить відрізку, або на кінцях відрізка.

Знаходимо похідну функції $L(x)$:

$$\begin{aligned} L'(x) &= \left(2\sqrt{x(h-x)} \right)' = 2 \left((x(h-x))^{\frac{1}{2}} \right)' = \\ &= 2 \cdot \frac{1}{2} (x(h-x))^{-\frac{1}{2}} \cdot (x(h-x))' = \\ &= \frac{(hx - x^2)'}{\sqrt{x(h-x)}} = \frac{h - 2x}{\sqrt{x(h-x)}} \end{aligned}$$

Знаходимо критичні точки функції $L(x)$, які належать проміжку $[0;h]$.

Похідна функції не існує в точках 0 і h (на кінцях відрізка), які не належать області визначення похідної, тому їх не розглядаємо.

Прирівнюємо похідну до нуля, розв'язавши отримаємо рівняння. Знаходимо інші критичні точки:

$$\frac{h - 2x}{\sqrt{x(h-x)}} = 0 \quad , \text{ або } h - 2x = 0$$

$$\text{Тоді: } x = \frac{h}{2}$$

Тільки одна точка, корінь, тому:

$$H = \frac{h}{2}$$

$$\text{Відповідь: } H = \frac{h}{2}$$

закономірностей та взаємозалежностей між величинами.

Проведення актуалізації знань та вмінь знаходити екстремум функції однієї змінної, встановлення мінімального та максимального значення функції на відрізку.

Систематизація знань та умінь обчислювати похідну складеної функції

Систематизація вмінь обчислення похідної функції, знаходження критичних точок, що належать проміжку функції.

Отже, розв'язування фізичних задач на заняттях вищої математики постає як потужний засіб фундаменталізації математичної підготовки майбутніх технічних фахівців.

Висновки.

1. Обґрунтовано теоретико-методологічні засади реалізації синергетичного підходу у процесі фундаментальної математичної підготовки майбутніх технічних фахівців. З позицій синергетики, фундаментальна математична підготовка розглядається як складна, відкрита педагогічна система.

2. Визначено ключовий механізм реалізації синергетичного підходу, як от, інтеграція розв'язування фізичних задач у процес вивчення вищої математики є детермінантом нелінійній взаємодії математичних та фізичних знань.

3. Розкрито дидактичний потенціал фізичних задач, як потужного засобу фундаменталізації математичної підготовки та формування цілісної системи наукового світогляду.

4. Виокремлено теоретико-дидактичні принципи реалізації синергетичного підходу у фундаментальній математичній підготовці майбутніх технічних фахівців через розв'язування фізичних задач, як-от: принципи *нелінійності, відкритості, самоорганізації*.

5. Виокремлено критерії добору фізичних задач для посилення синергії математичної підготовки: *фундаментальність фізичного змісту, значущість математичного апарату для розв'язання, модельний характер, професійна орієнтованість, різноманітність рівнів складності, візуалізація та наочність, можливість для міждисциплінарних зв'язків*.

6. Наведено приклад реалізації пропонованого синергетичного підходу – інтегрування фізичних задач у математичну підготовку технічних фахівців.

Конфлікт інтересів і етика. Автори заявляють, що не мають конфліктів інтересів. Автори також заявляють про повне дотримання всіх правил етики журнальних досліджень, а саме щодо анонімності участі людей та/або згоди на публікацію.

Подяки. Автори заявляють про відсутність спеціального фінансування цієї роботи.

Список використаних джерел

1. Chernavskii D. S. Synergetics: From Microscopic to Macroscopic Order. Springer-Verlag, 1991.
2. Haken H. Synergetics: An Introduction. Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry, and Biology. Springer-Verlag, 1983.
3. Вознюк О. В. Педагогічна синергетика: генеза, теорія і практика : монографія. Житомир : Вид-во ЖДУ імені Івана Франка, 2012. 708 с.
4. Вознюк О. В. Синергетичний підхід як метод аналізу розвитку вітчизняної педагогічної думки (друга половина XX століття) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук : 13.00.01 «Загальна педагогіка та історія педагогіки». Житомир, 2009. 22 с.
5. Зайченко І. В. Педагогіка : навч. посіб. для студ. вищ. пед. навч. закл. 2-ге вид. Київ : Освіта України ; КНТ, 2008. 528 с.
6. Зайченко О. І. Педагогічна синергетика: становлення парадигми. Черкаси : Вид-во ЧДУ ім. Б. Хмельницького, 2003.
7. Калашнікова С. А. Педагогічна синергетика: теоретико-методологічний аспект. Луганськ : Вид-во СЛУ ім. В. Даля, 2005.
8. Кирилашук С. А., Коломієць А. А. Формування графічної компетентності майбутніх фахівців технічних спеціальностей засобами штучного інтелекту. *Педагогіка безпеки*. 2024. № 1. С. 50–56.
9. Кирилашук С. А., Коломієць А. А., Хом'юк І. В., Васаженко Н. Проектна діяльність у процесі підготовки фахівців у закладах вищої освіти. *Нова педагогічна думка*. 2023. № 2. С. 49–55.
10. Коломієць А., Кашканова Г., Ковальчук М., Прозор О. Роль системного та синергетичного підходів у фундаменталізації математичної підготовки майбутніх технічних фахівців. *Педагогіка безпеки*. 2025. Вип. 10, № 1. С. 41–48.

11. Кремень В. Г. Синергетика і освіта. Інститут інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України, 2014. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/106585/1/>
12. Лисенко Т. І. Синергетичний підхід у професійній освіті: теорія і практика : монографія. Кропивницький : Видавець Лисенко В. Ф., 2019. 284 с.
13. Сисоєва С. О. Теоретико-методологічні засади педагогічної інноватики : монографія. Київ : Педагогічна думка, 2010. 280 с.
14. Спірін О. М. Синергетичний підхід у контексті інформаційного освіти. *Інформаційні технології та засоби навчання*. 2011. № 1 (21). С. 1–12.

UDC 378.147:51:004

Synergetics and mathematical modeling: integration of physical problems into the process of mathematical training of technical specialists

Alona Kolomiets, Mykhailo Lysiy, Svitlana Kyrylashchuk

Abstract. The work is devoted to the urgent problem of improving the quality of fundamental mathematical training of future technical specialists in the conditions of dynamic development of science and technology. This contributes to the nonlinear interaction of mathematical and physical knowledge, the formation of a holistic system of scientific worldview. The article substantiates the theoretical and methodological principles of implementing the synergistic approach as an effective strategy for modernizing the educational process in higher technical educational institutions. From the standpoint of synergetics, fundamental mathematical training is considered as a complex, open pedagogical system that is in a state of nonlinear dynamics and self-organization. The key mechanism for implementing the synergistic approach in the article is the integration of solving physical problems into the process of studying higher mathematics. The work reveals the didactic potential of physical problems as a means of fundamentalizing mathematical training. The theoretical and didactic principles for implementing the synergistic approach in the fundamental mathematical training of future technical specialists by solving physical problems are determined; The article presents criteria for selecting and constructing physical problems integrated into a mathematics course, which ensure the formation of not only mathematical knowledge, skills and abilities, but also professionally oriented competencies, including skills in mathematical modeling, analysis of complex systems, problem-solving thinking, and interdisciplinary integration. The article provides an example of the implementation of the proposed approach in the mathematical training of future technical specialists.

Keywords: synergetic approach, fundamental mathematical training, technical specialists, solving physical problems, integration, pedagogical system, self-organization, interdisciplinarity, professional competence, mathematical modeling.

References

1. Chernavskii, D. S. (1991). *Synergetics: From Microscopic to Macroscopic Order*. Springer-Verlag.
2. Haken, H. (1983). *Synergetics: An Introduction. Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry, and Biology*. Springer-Verlag.
3. Vozniuk, O. V. (2012). *Pedagogical Synergetics: Genesis, Theory and Practice: Monograph*. Vyd-vo ZhDU imeni Ivana Franka, Zhytomyr. [in Ukrainian]
4. Vozniuk, O. V. (2009). Synergetic Approach as a Method of Analysis of the Development of Domestic Pedagogical Thought (Second Half of the 20th Century) : Abstr. of Ph.D. diss. : 13.00.01 «General Pedagogy and History of Pedagogy». Zhytomyr. [in Ukrainian]
5. Zaichenko, I. V. (2008). *Pedagogy : Textbook for Students of Higher Pedagogical Educational Institutions*, 2nd ed. Osvita Ukrainy ; KNT, Kyiv. [in Ukrainian]
6. Zaichenko, O. I. (2003). *Pedagogical Synergetics: Paradigm Formation*. Vyd-vo ChDU im. B. Khmelnytskoho, Cherkasy. [in Ukrainian]
7. Kalashnikova, S. A. (2005). *Pedagogical Synergetics: Theoretical and Methodological Aspect*. Vyd-vo SNU im. V. Dalya, Luhansk. [in Ukrainian]
8. Kyrylashchuk, S. A., Kolomiets, A. A. (2024). Forming the Graphic Competence of Future Technical Specialists by Means of Artificial Intelligence, *Pedagogika Bezpeky*, 1, 50–56. [in Ukrainian]
9. Kyrylashchuk, S. A., Kolomiets, A. A., Khomiuk, I. V., Vasazhenko, N. (2023). Project Activity in the Process of Training Specialists in Higher Education Institutions, *Nova Pedagogichna Dumka*, 2, 49–55. [in Ukrainian]

10. Kolomiets, A., Kashkanova, H., Kovalchuk, M., Prozor, O. (2025). *The Role of Systemic and Synergetic Approaches in the Fundamentalization of Mathematical Training for Future Technical Specialists*, Pedagogika Bezpeky, **10** (1), 41–48. [in Ukrainian]
11. Kremin, V. G. (2014). *Synergetics and Education*. Institute of Information Technologies and Learning Tools, NAPS of Ukraine. [in Ukrainian]. <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/106585/1/>
12. Lysenko, T. I. (2019). *Synergetic Approach in Vocational Education: Theory and Practice: Monograph*. Vydavets Lysenko V. F., Kropyvnytskyi. [in Ukrainian]
13. Sisoieva, S. O. (2010). *Theoretical and Methodological Principles of Pedagogical Innovations: Monograph*. Pedahohichna Dumka, Kyiv. [in Ukrainian]
14. Spirin, O. M. (2011). *Synergetic Approach in the Context of Information Education*, Information Technologies and Learning Tools, 1 (21), 1–12. [in Ukrainian]

Про авторів / About the authors

Альона Коломієць, доктор педагогічних наук, професор, кафедра вищої математики, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна;

Alona Kolomiets, Doctor of Sciences in Pedagogy, Professor, Department of Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, 95 Khmelnytske Shosse Str., Vinnytsia 21021, Ukraine;

Михайло Лисий, кандидат фізико-математичних наук, доцент, кафедра фізики, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна;

Mykhailo Lysiy, Candidate of Science in Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Physics, Vinnytsia National Technical University, 95 Khmelnytske Shosse Str., Vinnytsia 21021, Ukraine;

Світлана Кирилащук, кандидат педагогічних наук, доцент, кафедра вищої математики, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна;

Svitlana Kyrylashchuk, Candidate of Science in Pedagogy, Associate Professor, Department of Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, 95 Khmelnytske Shosse Str., Vinnytsia 21021, Ukraine.

Отримано / Received 21.10.2025

Прийнято до друку / Accepted 13.11.2025

Опубліковано / Published 26.11.2025