



УДК 354:328.185

[https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-2\(32\)-1191-1201](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-2(32)-1191-1201)

Михайлова Тетяна Федорівна кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувачка кафедри фізики та прикладної математики, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, тел.: (067) 927-78-00, <https://orcid.org/0000-0003-4609-7744>

Максименкова Юлія Анатоліївна старший викладач, кафедра фізики та прикладної математики, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, тел.: (096) 370-02-33, <https://orcid.org/0000-0002-3949-9553>

Нечай Ігор Вікторович кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та прикладної математики, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, тел.: (050)340-10-14, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7794>

РОЗВИТОК КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ У СТУДЕНТІВ ЧЕРЕЗ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНЕ НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ В КОНТЕКСТІ STEM

Анотація. У сучасних умовах швидкого розвитку науки і техніки особливої актуальності набуває підготовка студентів, здатних критично мислити, аналізувати інформацію та знаходити ефективні рішення у складних ситуаціях. У статті зазначено, що одним із найбільш ефективних підходів до формування таких компетентностей є проблемно-орієнтоване навчання. Встановлено, що застосування проблемно-орієнтованого підходу у викладанні математики сприяє не лише глибокому засвоєнню теоретичних знань, а й розвитку навичок аналізу, синтезу та критичної оцінки інформації, що є ключовими складовими критичного мислення. Проблемно-орієнтоване навчання математики обумовлює залучення студентів до процесу вирішення реальних або наближених до реальності задач, що мають практичне значення. Такий підхід стимулює студентів до самостійного пошуку інформації, аналізу різних варіантів рішень та аргументованого обґрунтування обраного методу. У контексті STEM-освіти це дозволяє інтегрувати математичні знання з іншими галузями, такими як фізика, інженерія чи інформаційні технології, що сприяє формуванню системного бачення проблем і навичок міждисциплінарного аналізу.



Автор наголошує, що критичне мислення у процесі проблемно-орієнтованого навчання розвивається через постійне зіткнення студентів із новими викликами, які вимагають не лише відтворення вивченого матеріалу, а й творчого підходу до пошуку рішень. Студенти вчаться формулювати гіпотези, перевіряти їх, аналізувати результати та робити висновки, що базуються на логічних міркуваннях та фактичних даних. Важливим елементом такого підходу є робота в групах, що сприяє розвитку комунікативних навичок, уміння аргументовано відстоювати свою точку зору та враховувати альтернативні думки. Інтеграція STEM-підходів у навчання математики дозволяє створювати навчальні середовища, де студенти можуть застосовувати математичні моделі для вирішення інженерних завдань або аналізу технологічних процесів. У висновку узагальнено, що використання проблемно-орієнтованого навчання математики в контексті STEM є ефективним засобом розвитку критичного мислення у студентів.

Ключові слова: критичне мислення, математика, STEM-освіта, цифрові технології, критичне мислення.

Mykhaylova Tetyana Fedorivna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Head of the Department of Physics and Applied Mathematics, Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, tel.: (067)927-78-00, <https://orcid.org/0000-0003-4609-7744>

Maksymenkova Yulia Anatoliivna Senior Teacher, Department of Physics and Applied Mathematics, Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, tel.: (096)370-02-33, <https://orcid.org/0000-0002-3949-9553>

Nechai Igor Viktorovich Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Department of Physics and Applied Mathematics, Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, tel.: (050)340-10-14, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7794>

DEVELOPMENT OF CRITICAL THINKING IN STUDENTS THROUGH PROBLEM-BASED LEARNING OF MATHEMATICS IN THE CONTEXT OF STEM

Abstract. In today's conditions of rapid development of science and technology, training students who are able to think critically, analyze information and find effective solutions in difficult situations is of particular relevance. The article notes that one of the most effective approaches to the formation of such



competencies is problem-based learning. It is established that the use of a problem-based approach in teaching mathematics contributes not only to the deep learning of theoretical knowledge, but also to the development of skills in analyzing, synthesizing and critically evaluating information, which are key components of critical thinking. Problem-based learning in mathematics involves students in the process of solving real or close-to-real problems of practical importance. This approach encourages students to search for information on their own, analyze different solutions, and provide reasoned justification for the chosen method. In the context of STEM education, this allows for the integration of mathematical knowledge with other fields, such as physics, engineering, or information technology, which contributes to the formation of a systematic vision of problems and interdisciplinary analysis skills.

The author emphasizes that critical thinking in the process of problem-based learning is developed through the constant confrontation of students with new challenges that require not only reproduction of the material learned but also a creative approach to finding solutions. Students learn how to formulate hypotheses, test them, analyze the results, and draw conclusions based on logical reasoning and evidence. An important element of this approach is group work, which promotes the development of communication skills, the ability to defend one's point of view with reason and take into account alternative opinions. Integration of STEM approaches into mathematics teaching allows creating learning environments where students can apply mathematical models to solve engineering problems or analyze technological processes. In conclusion, it is summarized that the use of problem-based learning in mathematics in the context of STEM is an effective means of developing critical thinking in students.

Keywords: critical thinking, mathematics, STEM education, digital technologies, critical thinking.

Постановка проблеми. У сучасному світі стрімких технологічних змін і зростання інформаційного потоку, розвиток критичного мислення стає однією з ключових компетентностей, необхідних для успішної самореалізації особистості. Особливо це актуально для студентів, які готуються до професійної діяльності в умовах складних і динамічних викликів XXI ст. Проблемно-орієнтоване навчання математики в контексті STEM (наука, технології, інженерія та математика) є ефективним інструментом для формування та розвитку цієї важливої навички.

Глобалізація й інтеграція новітніх технологій вимагають від сучасних фахівців не лише глибоких знань у своїй галузі, але й уміння аналізувати інформацію, ставити під сумнів усталені підходи, шукати альтернативні рішення та робити обґрунтовані висновки. Критичне мислення дозволяє

студентам не лише засвоювати матеріал, а й осмислювати його, оперуючи реальними життєвими ситуаціями, адаптуватися до нових умов. У цьому контексті математика (як універсальна мова науки) відіграє важливу роль, оскільки вона формує основи логічного мислення, аналізу та синтезу інформації.

Крім того, критичне мислення є важливим фактором розвитку особистої відповідальності за власне навчання та професійне зростання. Студенти, які володіють подібною навичкою, здатні самостійно визначати свої освітні потреби, критично оцінювати отриману інформацію та ухвалювати обґрунтовані рішення щодо подальшого навчання. Проблемно-орієнтоване навчання сприяє розвитку цих якостей, оскільки потребує активної участі студентів в ході освітнього процесу, стимулює їх до самостійного пошуку інформації та формулювання власних висновків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На зазначеному наголошують у своїх дослідженнях Н. Балик, Г. Шмигер, Я. Василенко, які в рамках колективної праці надають низку важливих рекомендацій викладачам відносно впровадження STEM-підходу як базового для викладацької діяльності [1]. Аналогічним шляхом, але через призму викладання географії, йде О. Галичук [2]. У праці О. Топузов, Л. Калініна, В. Рогоза комплексно проаналізовано тенденції змін в успішності українських учнів між циклами PISA 2018 р. та 2022 р., причини погіршення результатів сформованості природничо-наукової грамотності учнів за результатами дослідження «Українські підручники з предметів природничо-наукового циклу і математики в ракурсі цілей PISA: бачення вчителів», окреслено напрями застосування концептуальних підходів до впровадження STEM-освіти й прогнозування проявів синергетичного й алокаційного ефектів від їх застосування [3]. Про те, яким саме чином функціонує STEM-освіта у європейських навчальних закладах та інших прогресивних країнах світу, веде мову В. Рогоза [4].

Метою статті – визначити педагогічні умови та методичні підходи, що сприяють розвитку критичного мислення у студентів під час застосування проблемно-орієнтованого навчання математики в інтеграції зі STEM-освітою.

Виклад основного матеріалу. Як показує світовий досвід на сучасному етапі розвитку держави, суспільство з Індустрією 4.0 хоче кардинально змінити систему освіти. Ця трансформація ставить перед освітою складні завдання: підготовка підростаючого покоління до життя в майбутньому суспільстві (суспільство 4.0), що вимагає від нього основних компетенцій і навичок, сформованих у XXI ст., унікальних інтелектуальних здібностей, необхідних для фахівців високотехнологічного виробництва.



На сьогодні вчителі дедалі частіше використовують STEM-освітню методика, яка дає переваги в процесі навчання. Однак єдиного підходу до визначення поняття «STEM-освіта» немає.

В українській сфері освіти до останніх років переважало профільне навчання в школах природничо-математичного та суспільно-гуманітарного напрямів. Інженерний і технологічний напрями розглядалися в окремих дисциплінах. З урахуванням того, що застосування інноваційних технологій є основою якісного перетворення навчального процесу, впровадження інноваційних технологій, інтеграції інноваційних проєктів, ефективного управління ним, STEM-освіті стало можливим знайти свій шлях розвитку, створити власну методичну систему для кожного вчителя [1, с. 16–17]. Тому на сучасному етапі активне впровадження інноваційних технологій навчання в практику навчальних закладів – вимога суспільства. Зростає важливість реструктуризації змісту середньої освіти на основі STEM-технологій.

Наразі США, Англія, Китай, Корея, Сінгапур, Туреччина та інші розвинені країни систематично впроваджують STEM-освіту на основі прийнятих державних програм. У ФРН реалізується програма MINT (математика, інформатика, наука, технологія) під керівництвом канцлера країни. У Малайзії та Австралії ухвалено державні програми з розвитку STEM-освіти. Аналогічним шляхом йде і Україна.

Основними завданнями є підготовка вчителів, підвищення інтересу учнів, забезпечення взаємодії навчальних закладів з бізнесом і промисловістю. Учні часто не розуміють, навіщо їм потрібно вивчати певну формулу чи закони і як це допомагає їм у житті. Завдяки впровадженню STEM-технологій в освіту, школярі й студенти стали не лише вивчати теорію, а й апробувати її в реальних проєктах. Це підвищило інтерес учнів і зміцнило отримані знання, адже STEM гармонійно взаємодіє з технологіями, сучасними інтерактивними методами ІКТ. Основна мета принципів інтегрованого вивчення предметів – розвиток критичного мислення учнів. Побудова інтеграції навчального процесу, що дає змогу якісно вирішувати завдання навчання та виховання учнів, веде від внутрішньо-предметних зв'язків до багатопредметних.

Інколи STEM-освіту помилково ототожнюють із методикою STEAM. У останньому випадку йдеться про модель освіти, яка об'єднує чотири дисципліни: науку, технологію, інженерію та математику. Тому STEAM – це аббревіатура цих чотирьох дисциплін. STEM-освіта робить акцент на міждисциплінарному покращенні при інтеграції знань. Вона спрямована на розвиток у студентів інноваційного мислення, критичного мислення та навичок розв'язання реальних проблем.



На відміну від традиційного навчання одного предмета, STEM-освіта підвищує загальну грамотність учнів, даючи їм змогу застосовувати отримані знання в реальних життєвих ситуаціях за допомогою проєктного навчання та практики [2, с. 75]. Цей вид освіти здобув визнання в усьому світі і розглядається як важливий спосіб вирішення майбутніх технологічних проблем і соціальних завдань.

За всього різноманіття наявних підходів дослідники відзначають, що STEM-навчання – це феномен сучасної освіти, який передбачає підвищення якості розуміння учнями дисциплін, пов'язаних із наукою, технологією, інженерією та математикою. Деякі стверджують, що його метою є підготовка учнів до більш ефективного використання отриманих знань для вирішення професійних завдань, поліпшення навичок високоорганізованого мислення. Другі зупиняються на розвитку компетентностей у STEM в бік вдосконалення STEM-грамотності. Дискусії щодо STEM-освіти здебільшого спрямовані на демонстрацію необхідності поліпшення викладання окремих предметів і роботи з міжнародного тестування учнів, особливо в сфері прикладних наук, математики.

Беручи до уваги практичні навички, студенти розвивають свою силу волі, творчі здібності, гнучкість і вчаться співпрацювати з іншими. Переваги STEM-освіти:

- інтегроване навчання та прикладні науково-технічні знання в реальному житті;
- розвиток навичок критичного мислення та розв'язання задач;
- формування впевненості у своїх силах;
- активне спілкування та колективна робота;
- розвиток інтересу до технічних дисциплін;
- творчі та інноваційні підходи до проєктів;
- розвиток мотивації до технічної творчості через діяльність з урахуванням вікових та індивідуальних особливостей кожного студента;
- профорієнтація на ранніх етапах;
- підготовка до технологічних нововведень;
- STEAM, як доповнення до обов'язкової частини основної освітньої програми [5].

Математика є універсальною мовою, яка дозволяє описувати, аналізувати та моделювати явища у світі навколо нас. Вона лежить в основі всіх STEM-дисциплін: від фізики та хімії до інженерії, програмування та біотехнологій. Без ґрунтовних знань у математиці неможливо ефективно працювати з алгоритмами, аналізувати великі масиви даних, створювати математичні моделі чи прогнозувати поведінку складних систем. У STEM-контексті математика набуває прикладного характеру. Наприклад, для



інженера важливо вміти розраховувати навантаження на конструкції, для програміста – оптимізувати алгоритми, використовуючи математичні підходи, а для дослідника в галузі біології – застосовувати статистичні методи для аналізу експериментальних даних. Таким чином, математика є не лише інструментом розрахунків, а й засобом критичного мислення та вирішення проблем.

Попри очевидну важливість математики, багато студентів стикаються з труднощами в її вивченні. Основними викликами є:

– абстрактність матеріалу (математичні концепції часто здаються відірваними від реального життя, що ускладнює розуміння їхньої практичної цінності);

– нестача міждисциплінарних зв'язків (традиційна система навчання не завжди підкреслює взаємозв'язок між математикою та іншими STEM-дисциплінами);

– невміння застосовувати теорію на практиці (студенти можуть добре розуміти теоретичний матеріал, але не знати, як використовувати його для розв'язання реальних задач);

– психологічний бар'єр (страх перед складністю математики або невдачами може знижувати мотивацію до навчання).

З метою подолання цих викликів необхідно застосовувати сучасні підходи до навчання, що сприяють глибшому розумінню матеріалу та його практичному застосуванню. В першу чергу, ми вбачаємо сенс у пошуку реальних прикладів застосування. Для того, щоб подолати абстрактність математики, важливо знаходити реальні приклади її використання у вибраній галузі. Наприклад, вивчаючи диференціальні рівняння, можна розглядати їхнє застосування у моделюванні популяційних динамік або електричних кіл. Аналізуючи статистику, корисно працювати з реальними наборами даних з біології чи соціології. Слід ввести в практику систематичне застосування ресурсів, що пропонують прикладні завдання, наприклад, Coursera чи Khan Academy, де можна знайти курси, орієнтовані на STEM-дисципліни.

Інтеграція цифрових інструментів у процес навчання допомагає краще зрозуміти математичні концепції. Програми, такі як MATLAB, GeoGebra, Wolfram Alpha або Python (з бібліотеками NumPy, SciPy), дозволяють візуалізувати складні обчислення та моделювати реальні процеси. Слід розпочати із простих проєктів, наприклад, створення графіків функцій чи моделювання фізичних процесів, і поступово переходити до складніших завдань.

Робота над міждисциплінарними проєктами дозволяє закріпити математичні знання на практиці. Наприклад, створення робототехнічного



пристрою потребує не лише програмування, але й розрахунків траєкторій руху, аналізу сигналів тощо. Активна участь у хакатонах або студентських наукових конференціях, де можна застосувати математичні знання для розв'язання практичних кейсів. Досить ефективні результати показує групове навчання та обговорення. Дискусія на рівні складних тем з однокласниками чи участь у навчальних групах дає змогу краще засвоїти матеріал. Пояснення матеріалу іншим сприяє глибшому розумінню, а також дозволяє поглянути на проблему з різних точок зору. Організуйте регулярні зустрічі для обговорення складних тем або створіть онлайн-групу для обміну знаннями.

Математика – це не лише обчислення, але й логічне мислення. Важливо не просто вивчати формули, а розуміти їхнє походження та логіку. Це допоможе знаходити нестандартні рішення в складних ситуаціях. Вирішуйте логічні задачі та головоломки, що розвивають аналітичне мислення. Наприклад, завдання з теорії ймовірностей чи комбінаторики. Навчання на помилках – ефективний метод засвоєння знань. Важливо не просто виправляти помилки, аналізувати їх причини, щоб уникнути повторення в майбутньому. Після кожного тесту чи завдання доцільно проводити самоаналіз: які теми викликали труднощі, чому саме і як можна покращити розуміння. Математика потребує постійної практики. Регулярне повторення та закріплення матеріалу допомагає тримати знання в активному стані. Рекомендовано виділяти щодня хоча б 20–30 хвилин для вирішення математичних задач або перегляду матеріалів.

Із власної практики зазначимо на ефективності використання методів математичного моделювання. Так, у відповідності до більш широкого трактування даного поняття, під математичним моделюванням розуміють ідеальне наукове знакове формальне моделювання, в якому опис об'єкта є мовою математики, а дослідження моделі відбувається з використанням тих чи інших математичних методів [6]. Порівняно з реальним об'єктом, модель є менш складною одиницею в розрізі її аналізу, проте часто видається більш інформативною. Необхідно відзначити, що безпосереднє дослідження значної кількості об'єктів і явищ, особливо в розрізі природничих наук, є неможливим. Наприклад, детальне вивчення питань розвитку окремих видів мікроорганізмів, опрацювання ядерно реактивних процесів, проведення експериментів з економікою країни або зі здоров'ям населення.

Математичною моделлю називається сукупність рівнянь або інших математичних співвідношень, що відображають основні властивості об'єкта, котрий вивчається, або явища в рамках прийнятої фізичної моделі та особливості його взаємодії з навколишнім середовищем на просторово часових межах його локалізації [7, с. 16]. Моделювання має на меті досягнення таких цілей:



– розуміння структури та внутрішніх зв'язків конкретного об'єкта, його основних властивостей, законів розвитку, саморозвитку та взаємодії з оточуючим світом;

– здобуття навичок у керуванні об'єктом або процесом, визначення найкращих методів управління за встановленими цілями та критеріями;

– прогнозування прямих та непрямих наслідків реалізації визначених методів й форм впливу на об'єкт.

Процес побудови математичної моделі проходить через кілька стадій, першою з яких є спостереження. У результаті спостереження властивостей реального об'єкта, які нас цікавлять, ми формулюємо їх мовою тієї галузі науки, яка вивчає ці властивості – будемо механічну, фізичну, хімічну, біологічну, економічну чи іншу модель об'єкта. Така модель називається змістовною. Під час побудови змістовної моделі формулюються і використовуються відповідні гіпотези (або постулати) [8]. При цьому несуттєве для опису властивостей, що не цікавить дослідника, відкидається.

За тим, доречно максимально чітко сформулювати задачі, котрі мають бути реалізованими в рамках проекту. До остаточної постановки завдання дії дослідника мають бути зосереджені на аналізі постановки задачі дослідження; обґрунтуванні параметрів об'єкта; припущеннях, які приймає студент; вивченні процесів, що протікають в об'єкті; вибору методу їхнього опису і на підставі цього розроблення адекватної моделі об'єкта. На цих етапах юний науковець повинен максимально мобілізувати свої розумові здібності та усвідомити, що комп'ютер дає змогу тільки прискорити процес ухвалення рішення за тією програмою, яку закладе в нього дослідник. Черговий висновок, який можна зробити, полягає в тому, що постановка завдання однозначно визначає структуру математичної моделі та область її визначення. Іншими словами, постановка задачі є технічним завданням на розроблення математичної моделі об'єкта.

Іноді на цьому етапі студенту потрібні додаткові експериментальні дані, результати досліджень інших авторів, статистична інформація, які на початковому етапі постановки задачі були неочевидні. Слід зазначити, що більшість статистичних даних є не що інше, як результати експерименту на реальному, фізично існуючому об'єкті за певних умов проведення експерименту. Процес постановки завдання дослідження завершується тоді, коли можна в остаточному варіанті здійснити запис розв'язуваної задачі у формалізованому вигляді, тобто у формі математичних виразів.

Ми солідарні із іншими теоретиками і практиками, що ідея використання STEM як основного інструменту підвищення якості освіти має дискусійний характер і потребує подальшого опрацювання, що і стане предметом наших наступних досліджень. Принциповими проблемами розвитку STEM-освіти визначено брак системного підходу щодо методик її

практичної реалізації, відсутність концептуальних рішень щодо імплементації STEM-підходу, досягнення цілей і завдань STEM-освіти й відповідних програмних результатів навчання [4]. Концептуальний підхід до розвитку STEM-освіти передбачає звернення до такого педагогічного феномену й специфічного навчально-методичного засобу, як розвивальне освітнє цифрове середовище [3, с. 253].

Висновки. Математика є невід’ємною частиною STEM-освіти, що відкриває широкі можливості для розв’язання складних міждисциплінарних завдань. Однак для ефективного навчання необхідно не лише опанувати теоретичні знання, але й активно застосовувати їх на практиці. Використання сучасних технологій, участь у проєктній діяльності, розвиток критичного мислення та постійна практика допоможуть студентам подолати труднощі у вивченні математики та досягти успіху в обраній сфері. Навчання має бути цікавим і корисним, а математика – інструментом, що відкриває нові горизонти для особистісного і професійного розвитку.

Література:

1. Балик Н. Р., Шмигер Г. П., Василенко Я. П. Формування STEM-компетентностей у процесі підготовки майбутніх учителів до впровадження STEM-освіти. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи*. 2017. Вип. № 1. С. 15-18.
2. Галичук О. В. Використання STEM-методики на уроках географії. *Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції / укладачі: Н. А. Поліщук, В. В. Камінська*. Луцьк: Волинський ІІПО, 2021. 208 с.
3. Топузов О., Калініна Л., Рогоза В. Реалізація STEM-освіти й модернізація українського шкільного куррикулуму, як чинники покращання природничо-наукової грамотності учнів у ракурсі досягнення цілей PISA. *Проблеми сучасного підручника*. 2024. Вип. № 31. С. 241–257. DOI: <https://doi.org/10.32405/2411-1309-2023-31-241-257>
4. Рогоза В. В. Європейська практика підтримки ідей STEM-освіти. *Наука і техніка сьогодні*. Серія «Право». 2023. 13(27). С. 601–611.
5. Інтегративний та компетентісний підхід до викладання предметів: методичний альманах / за ред. Плясецької С.О. Таврійськ: ЗОІІ №5, 2017. 109 с.
6. Лебедев О. М. Моделювання у науково-технічних дослідженнях. Київ: «Вища школа», 2019. 224 с.
7. Балтовський О. О., Форос Г. В, Сіфоров О. І. Основи математичного моделювання / за заг. ред. д.т.н., доц. О.А. Балтовського. Одеса: Одеський держ. ун-т внутр. довідок, 2023. 125 с.
8. Муртазієв Е., Сюсюкан Ю. Математичне моделювання: основні етапи та класифікація моделей. *Сучасні проблеми моделювання*. 2022. Вип. 24. С. 140-146. DOI: <https://doi.org/10.33842/2313125X-2022-24-140-146>

References:

1. Balik, N. R., Shmyger, H. P., & Vasilenko, Ya. P. (2017). Formuvannia STEM-kompetentnostei u protsesi pidhotovky maibutnix uchyteliv do vprovadzhennia STEM-osvity [Formation of STEM competencies in the process of preparing future teachers for the implementation of STEM education]. *Suchasni informatsiini tekhnolohii ta innovatsiini metodyky navchannia: dosvid, tendentsii, perspektyvy – Modern Information Technologies and Innovative Teaching Methods: Experience, Trends, Prospects*, (1), 15–18. [In Ukrainian].



2. Halychuk, O. V. (2021). Vykorystannia STEM-metodyky na urokakh heohrafiï [Application of the STEM methodology in geography lessons]. In N. A. Polishchuk & V. V. Kaminska (Eds.), *Materialy vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (p. 208). Lutsk: Volynskiy IPPO. [In Ukrainian].

3. Topuzov, O., Kalinina, L., & Rohoza, V. (2024). Realizatsiia STEM-osvity y modernizatsiia ukrainskoho shkilnoho kurrikulumu, yak chynnyky pokrashchannia pryrodnycho-naukovoï hramotnosti uchniv u rakursi dosiahnennia tsilei PISA [Implementation of STEM education and modernization of the Ukrainian school curriculum as factors for improving students' scientific literacy in the context of achieving PISA goals]. *Problemy suchasnoho pidruchnyka – Problems of the Modern Textbook*, (31), 241–257. Retrieved from <https://doi.org/10.32405/2411-1309-2023-31-241-257> [In Ukrainian].

4. Rohoza, V. V. (2023). Yevropeiska praktyka pidtrymky idei STEM-osvity [European practice of supporting STEM education ideas]. *Nauka i tekhnika sohodni. Seriia «Pravo» – Science and Technology Today. Law Series*, 13(27), 601–611. [In Ukrainian].

5. Pliassetska, S. O. (Ed.). (2017). Intehratyvnyi ta kompetentisnyi pidkhid do vykladannia predmetiv: metodychnyi almanakh [Integrative and competency-based approach to teaching subjects: Methodical almanac]. Tavriisk: ZOSH №5. [In Ukrainian].

6. Lebedev, O. M. (2019). Modeliuvannia u naukovo-tekhnichnykh doslidzhenniakh [Modeling in scientific and technical research]. Kyiv: Vyshcha shkola. [In Ukrainian].

7. Baltovskiy, O. O., Foros, H. V., & Siforov, O. I. (2023). Osnovy matematychnoho modeliuvannia [Fundamentals of mathematical modeling]. In O. A. Baltovskiy (Ed.), Odesa: Odeskyi derzh. un-t vnutr. dovidok. [In Ukrainian].

8. Murtaziiev, E., & Siusiukan, Yu. (2022). Matematyчне modeliuvannia: osnovni etapy ta klasyfikatsiia modelei [Mathematical modeling: main stages and classification of models]. *Suchasni problemy modeliuvannia – Modern Problems of Modeling*, (24), 140–146. Retrieved from <https://doi.org/10.33842/2313125X-2022-24-140-146> [In Ukrainian].