

Теорія та методика професійної освіти

УДК 378.147.091.33:[004.8+5]

DOI: 10.31652/2786-5754-2025-8-133-146

Блажко О. А.

доктор педагогічних наук, професор
Вінницький державний педагогічний університет
імені Михайла Коцюбинського
ORCID ID 0000-0003-2632-9210
e-mail: blazhk.oleg@ukr.net

Коломієць А. М.

доктор педагогічних наук, професор
Вінницький державний педагогічний університет
імені Михайла Коцюбинського
ORCID ID 0000-0003-0536-0147
e-mail: alla.kolomiiets@vspu.edu.ua

Кушнір О. І.

аспірант
Вінницький державний педагогічний університет
імені Михайла Коцюбинського
ORCID ID 0009-0002-6254-6589
e-mail: Kushnir.Olexandr@vspu.edu.ua

СИНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ І STREAM-ОСВІТИ В ПІДГОТОВЦІ ВЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН

У статті продемонстровано, що впровадження STREAM-освіти, орієнтованої на дослідження, де літеру «R» визначено як «дослідження», є вирішальним для організації навчання на основі досліджень.

STREAM-освіта, орієнтована на дослідження, відкриває значні перспективи для виховання покоління людей, здатних критично мислити й розв'язувати проблеми. Надаючи пріоритет розвитку дослідницьких навичок у рамках інтегрованої та міждисциплінарної структури, вчителі природничих дисциплін можуть надати учням можливість стати активними дослідниками впродовж усього життя та ефективними членами суспільства, заснованого на знаннях.

Під час розроблення освітніх програм потрібно надавати пріоритет інтеграції дослідницьких заходів у робочі програми з навчальних дисциплін, а не розглядали дослідження як окремий або ізольований компонент. Варто враховувати, що в сучасному освітньому просторі необхідним є використання технологій штучного інтелекту для надання студентам і учням доступу до великих інформаційних ресурсів, інструментів аналізу даних для підтримки освітнього і дослідницького процесу.

У підготовці майбутніх учителів природничих дисциплін STREAM-освіта з використанням ШІ передбачає активне залучення студентів до наукової методології, проведення експериментів і досліджень.

За допомогою ШІ вчитель природничих дисциплін зможе генерувати міждисциплінарні завдання, виконання яких потребуватиме від учнів інтеграції знань із різних дисциплін. Особливо корисним є залучення учнів до виконання міждисциплінарних проєктів на основі знань з біології, хімії, фізики. Виконання таких проєктів з підказками від ШІ сприятиме формуванню культури запитів, де учні мають змогу ставити власні запитання, розробляти власні дослідження та активно будувати власне розуміння концепцій сучасного природознавства. Такий підхід узгоджується з ширшими цілями розвитку інтелектуальної допитливості, сприяє глибшому розумінню навчального матеріалу і готує учнів до ефективного розв'язування проблем навколишнього світу.

Ключові слова: вчитель природничих дисциплін, дослідницькі навички, проєктна діяльність, штучний інтелект, STREAM-освіта.

Blazhko O. A.

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi
State Pedagogical University
ORCID ID 0000-0003-2632-9210
e-mail: blazhk.oleg@ukr.net

Kolomiets A. M.

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi
State Pedagogical University
ORCID ID 0000-0003-0536-0147
e-mail: alla.kolomiets@vspu.edu.ua

Kushnir O. I.

Postgraduate
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi
State Pedagogical University
ORCID ID 0009-0002-6254-6589
e-mail: Kushnir.Olexandr@vspu.edu.ua

SYNERGETIC POTENTIAL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND STREAM EDUCATION IN THE TRAINING OF NATURAL SCIENCE TEACHERS

The article demonstrates that the implementation of STREAM-education, where the letter «R» is defined as «research», is a starting point for organizing research-based learning.

STREAM-education, focused on research, opens up significant prospects for educating a generation of people capable of critical thinking and problem solving. By providing optimal development of research skills within an integrated interdisciplinary framework, science teachers can provide students with the opportunity to become active researchers throughout life and effective members of a knowledge-based society.

When developing educational programs, priority should be given to integrating research activities into the work programs of the educational discipline, rather than considering research as a separate or isolated component. It is worth noting that in the modern educational space, it is necessary to use artificial intelligence technologies to provide students and pupils with access to large information resources, data analysis tools to support the educational and research process.

In the preparation of future teachers of natural sciences, STREAM education using AI ensures the active involvement of students in scientific methodology, conducting experiments and research.

With the help of AI, a teacher of natural sciences can generate interdisciplinary tasks, the completion of which requires students to integrate knowledge from different disciplines. It is especially useful to involve students in the implementation of interdisciplinary projects based on knowledge from biology, chemistry, physics. The implementation of such projects with prompts from AI will contribute to the formation of a culture of inquiry, where students will be able to ask their own questions, develop their own research and actively build their own understanding of the concepts of modern natural sciences. This approach is consistent with the broader goals of developing intellectual curiosity, enhances deeper understanding of the learning material, and prepares students to effectively solve problems in the world around them.

Keywords: science teacher, research skills, project-based activities, artificial intelligence, STREAM education.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Сучасний освітній ландшафт характеризується постійним пошуком інноваційних підходів, здатних підвищити якість навчання та підготувати учнів до викликів майбутнього. У цьому контексті особливої ваги набувають міждисциплінарні моделі освіти, такі як STREAM (наука, технології, дослідження, інженерія, мистецтво, математика), що забезпечують інтегрований підхід до навчання, поєднуючи різні галузі знань з акцентом на їх практичне застосування. Паралельно зі зростанням значущості STREAM-освіти, бурхливий розвиток штучного інтелекту (ШІ) відкриває нові горизонти для трансформації освітнього процесу. ШІ, проникаючи в різні сфери

нашого життя, не оминув і освіти, пропонуючи інструменти та можливості для персоналізації навчання, автоматизації рутинних завдань, створення інтерактивного навчального середовища та розвитку ключових навичок здобувачів освіти.

Дослідження багатьох науковців підтверджують, що саме дослідницькі навички є фундаментальними для розвитку критичного мислення, здатностей до розв'язання проблем та аналітичних здібностей. Саме дослідницькі навички допомагають здобувачам освіти орієнтуватися в складних інформаційних потоках та формувати обґрунтовані висновки. Ці навички надають людині можливість стати незалежною та самостійною в навчанні впродовж усього життя, здатною активно шукати та критично оцінювати різноманітні джерела інформації [24].

У сучасному світі, насиченому інформацією, здатність ефективно проводити дослідження є надзвичайно важливою. Тому вчителі мають формувати дослідницькі навички учнів під час вивчення різних шкільних предметів. Найбільший потенціал для розвитку дослідницьких навичок у здобувачів освіти мають дисципліни природничого циклу. Але розкрити такий потенціал зможе вчитель, який сам володіє дослідницькими навичками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми підготовки майбутніх учителів предметів природничого циклу є нині у фокусі уваги багатьох українських науковців (О. Блажко [2], Н. Грицай [3], В. Заболотний [4], Л. Нікітченко [9], Р. Романюк [10], А. Сільвейстр [12] та ін.). Основний акцент у їхніх дослідженнях зроблено на розвиток у студентів інноваційного мислення, креативності, професійної компетентності, здатності до проєктної діяльності, готовності до дослідницької діяльності та умінь інтегрувати навчальну інформацію із суміжних наук.

Цілком погоджуємось із висновками Л. Нікітченко, що для підвищення ефективності підготовки майбутніх учителів до організації дослідницької діяльності учнів «варто застосовувати комплексний підхід, що базується на таких дидактичних принципах як: принцип діяльнісного підходу, принцип особистісно орієнтованого підходу, принцип науковості, принцип системності та послідовності, принцип практичної спрямованості, принцип креативності, принцип співпраці, принцип рефлексії, принцип інтерактивності, принцип інтегративності навчання» [9, с. 68]. Очевидно, що дотримання усіх вказаних принципів може бути найкраще реалізоване в умовах організації STEM/STEAM/STREAM освіти.

Концепція розвитку STEM-освіти в Україні була схвалена в Україні у 2020 році [8]. У ній передбачено, що застосування навчальних методик і програм STEM-освіти буде спрямоване на формування компетентностей, актуальних на ринку праці (критичне, інженерне і алгоритмічне мислення, навички оброблення інформації й аналізу даних, цифрова грамотність, креативні якості та інноваційність, навички комунікації). Звертаємо увагу на те, що такі високі очікування від STEM-освіти потребують розширення і самої абревіатури STEM до STEAM або й STREAM.

STEM-освіта (наука, технологія, інженерія, математика) набула значної популярності як важливий підхід до навчання, спрямований на підготовку учнів до вимог сучасного світу. Першочерговий акцент на STEM був переважно зумовлений економічними потребами та попитом на кваліфіковану робочу силу в технічних галузях [16; 17; 18; 19; 20; 25].

Усвідомлення науковцями важливості творчості та інновацій, інтеграції мистецтва в STEM призвела до розвитку STEAM-освіти. Ця еволюція визнала, що художнє мислення та принципи дизайну є невід'ємними для розв'язання проблем та інновацій у галузях STEM [26]. Включення «мистецтва» в STEAM розширило цю перспективу, визнаючи важливу роль творчості в інноваціях.

На основі STEAM виникла концепція STREAM, що включає додаткову літеру «R», яка часто інтерпретується як «читання» або «дослідження», з метою створення ще більш всебічної та інклюзивної освітньої моделі, особливо в молодших класах [13].

Поширені інтерпретації включають «читання», що підкреслює важливість грамотності та комунікативних навичок як життєво важливих компонентів. У більшості проаналізованих нами публікацій STREAM-освіта (Science, Technology, Reading + Writing, Engineering, Arts, Mathematics) визначена як міждисциплінарний підхід до навчання, який інтегрує природничі науки, технології, читання та письмо, інженерію, мистецтво та математику. Основна ідея STREAM-освіти полягає в тому, щоб показати учням взаємозв'язок між цими дисциплінами та навчити їх застосовувати знання на практиці для вирішення реальних проблем [22].

Отже, прогресія від STEM до STEAM до STREAM відображає зростання розуміння різноманітних навичок і знань, необхідних для успішної діяльності в XXI столітті. Ця еволюція свідчить про перехід до більш цілісного освітнього підходу, який цінує не лише технічну майстерність, а й творчість, грамотність і здатність до проведення систематичного дослідження. Поява STREAM, де «R» представляє або «читання», або «дослідження», ще більше розширює рамки, підкреслюючи фундаментальну важливість грамотності та/або активного пошуку знань через дослідження [26]. Ця прогресія свідчить про постійне вдосконалення освітніх пріоритетів з метою кращої підготовки учнів до динамічного та інформаційно насиченого майбутнього.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. В Україні впровадження STEM-технологій намагаються здійснювати на уроках хімії в закладах загальної середньої освіти [11], STEAM – на уроках трудового навчання [6], STREAM – переважно в початковій і дошкільній освіті [1]. Загалом науковці визнають STEM-, STEAM- і STREAM-освіту як форму інтеграції знань здобувачів освіти [7; 21; 23].

Проте звертаємо увагу на те, що літера «R» у STREAM-освіті не має єдиного визначення в різних освітніх контекстах. Інколи, особливо в католицьких навчальних закладах, цю літеру трактують як «релігія», оскільки в цих закладах інтеграція віри є центральним принципом.

Є також публікації, де літера «R» у STREAM означає «робототехніка» [14], що є зрозумілим і також може бути доцільним у певному контексті. Але таке трактування перетинається з інженерією (E) або й технологіями (T). Деякі автор пропонують, щоб «R» у STREAM означала «Reflective learning» (рефлексивне навчання) [15], що також тісно пов'язано з дослідницьким процесом і критичним осмисленням.

Існування множинних інтерпретацій літери «R» у STREAM підкреслює гнучкий і еволюційний характер цієї освітньої моделі. Вибір інтерпретації часто відображає конкретні цілі та цінності навчального закладу або розробника навчальної програми, що дозволяє застосовувати індивідуальний підхід до інтегрованого навчання. Той факт, що «R» може представляти різні, але важливі аспекти освіти (грамотність, віра, дослідження), свідчить про те, що модель STREAM не є жорсткою, універсальною моделлю. Зацікавлені сторони в галузі освіти можуть адаптувати цю модель відповідно до своїх унікальних пріоритетів і конкретних потреб своїх учнів. Така адаптивність сприяє актуальності моделі та її потенціалу для широкого застосування в різноманітних освітніх середовищах.

Для застосування цієї моделі у галузі природничих наук найбільш прийнятним вважаємо інтерпретацію STREAM-освіти, де літера «R» означає «дослідження», що підкреслює важливість дослідницьких навичок у здобувачів освіти. Цей акцент відповідає потребі розвитку в учнів і майбутніх учителів навичок поставки проблем, аналізу та критичного мислення, що особливо необхідні в природничих науках.

Метою статті є всебічний аналіз потенціалу штучного інтелекту для збагачення та поліпшення STREAM-освіти, а також розробка конкретних рекомендацій щодо ефективного використання ШІ в цьому контексті.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вважаємо за необхідне акцентувати увагу на тому, що вчитель природничих дисциплін має володіти сучасними технологіями для полегшення досліджень, доступу до інформації та аналізу даних. Сучасні інформаційно-

комунікаційні технології, особливо моделі штучного інтелекту, пропонують широкий спектр інструментів і ресурсів, які можуть поліпшити дослідницький процес. Проте наразі бракує усталених методик і педагогічних підходів щодо інтеграції ІІІ в навчальний процес природничих дисциплін. Ще немає чіткого розуміння, як найкраще використовувати ІІІ для пояснення складних концепцій, проведення експериментів. Але сучасні моделі ІІІ настільки швидко розвиваються, що їх можливості для підвищення ефективності навчальної та дослідницької діяльності мають стати для майбутніх учителів ще одним із предметів дослідження.

Майбутні вчителі природничих дисциплін повинні навчитися використовувати різноманітні інструменти на основі ІІІ для підготовки до уроків, проведення експериментів, оцінювання знань учнів та індивідуалізації навчання, а також повинні вміти критично оцінювати можливості та ризики використання ІІІ в освіті, а також навчати цьому своїх учнів.

Технології штучного інтелекту мають значний потенціал для інтеграції в кожен зі складових STREAM-освіти, збагачуючи навчальний процес і надаючи нові можливості для студентів. У галузі природничих наук ІІІ може використовуватися для аналізу великих наборів даних, виявлення закономірностей і тенденцій, а також для моделювання складних наукових явищ. Віртуальні лабораторії та симуляції можуть надати студентам можливість проводити експерименти, які були б неможливі в традиційних умовах через обмеження ресурсів або міркування безпеки. Сучасні моделі ІІІ здатні генерувати не лише тексти, а й зображення і відео, а також здійснювати математичні обчислення.

Навчання на основі запитів до ІІІ і педагогічний підхід на основі STREAM-освіти значною мірою спирається на дослідницькі навички, заохочуючи учнів ставити запитання та досліджувати відповіді шляхом систематичного дослідження. Визначення «R» як «дослідження» у рамках STREAM підкреслює активний і дослідницький характер навчання. Акцент на дослідженні як основному компоненті STREAM-освіти безпосередньо відповідає критичній потребі в розвитку здатності учнів самостійно шукати, аналізувати та синтезувати інформацію. Цей акцент узгоджується з ширшими освітніми цілями сприяння навчанню впродовж усього життя, розвитку критичного мислення та підготовки учнів до активної участі в житті суспільства, заснованого на знаннях. В епоху, що визначається стрімким розвитком технологій та великою кількістю легкодоступної інформації, здатність ефективно досліджувати, оцінювати та використовувати інформацію вже стала життєвою необхідністю. Включивши дослідження на основі використання ІІІ в основу STREAM-освіти, вчителі природничих дисциплін можуть надати учням необхідні інструменти для орієнтування в складних проблемах сучасного світу, прийняття обґрунтованих рішень і формування власного розуміння складних тем.

Такий підхід допомагає вчителям розвивати в учнів критичне мислення, навички розв'язання проблем і творчі здібності, що є ключовими для успіху в сучасному світі. STREAM-освіта заохочує практичне, міждисциплінарне навчання, що робить наукові концепції більш зрозумілими та застосовними до реальних ситуацій. Загалом, поєднання можливостей ІІІ і STREAM-освіти допоможе підготувати вчителів природничих наук до виховання інноваційного та всебічно розвиненого покоління учнів.

Основними перевагами STREAM-освіти є інтеграція знань з різних дисциплін, практична спрямованість навчального матеріалу, розвиток аналітичного й критичного мислення, формування здатності до творчості й командної роботи. Особливо ефективними є STREAM-проекти, які виконуються в групах, що сприяє розвитку комунікативних навичок і вміння співпрацювати. Важливо, щоб навчання базувалось на реальних ситуаціях і проблемах, що допомагає здобувачам освіти зрозуміти важливість отриманих знань.

Перевагами STREAM-освіти є те, що вона розвиває глибоке розуміння взаємозв'язку між різними галузями знань; формує практичні навички, необхідні для успіху в сучасному світі; стимулює інтерес до навчання; розвиває важливі компетентності, такі як критичне

мислення, творчість, комунікація та співпраця; готує учнів до майбутніх професій, які вимагають міждисциплінарних знань та навичок.

За допомогою ІІІ вчитель природничих дисциплін зможе генерувати міждисциплінарні завдання, виконання яких потребуватиме від учнів інтеграції знань із різних дисциплін. Особливо корисним є залучення учнів до виконання міждисциплінарних проєктів на основі знань з біології, хімії, фізики. Виконання таких проєктів з підказками від ІІІ сприятиме формуванню культури запитів, де учні мають змогу ставити власні запитання, розробляти власні дослідження та активно будувати власне розуміння концепцій сучасного природознавства. Такий підхід узгоджується з ширшими цілями розвитку інтелектуальної допитливості, сприяє глибшому розумінню навчального матеріалу і готує учнів до ефективного розв'язування проблем навколишнього світу.

Отже, у вивченні природничих наук STREAM-освіта з використанням ІІІ є прогресивним підходом, який допомагає учням стати всебічно розвиненими, компетентними та готовими до викликів майбутнього. У підготовці майбутніх учителів природничих дисциплін STREAM-освіта з використанням ІІІ передбачає активне залучення студентів до наукової методології, проведення експериментів і досліджень.

У нашій практиці пропонуємо майбутнім учителям природничих дисциплін таке міждисциплінарне завдання – розробити, створити та оцінити ефективність простого біофільтра для очищення забрудненої води, використовуючи знання з біології, хімії та фізики.

Для його виконання майбутні вчителі природничих дисциплін мають пройти кілька етапів, зв'язок яких із компонентами STREAM продемонстровано нижче:

1. Теоретичний аналіз причин забруднення води (**Science** – біологія, хімія):
 - вивчити різні типи забруднювачів води (органічні, неорганічні, біологічні).
2. Вибір технології очищення води (**Technology** – біологія, хімія)
 - проаналізувати технології і принципи біологічного очищення води за допомогою мікроорганізмів (бактерій, грибів) і фільтруючих субстратів;
 - ознайомитися з різними матеріалами, які можуть використовуватися як фільтруючий субстрат (пісок, гравій, активоване вугілля, керамзит, рослини тощо) та їхні властивості.
3. Дослідження (**Research** – хімія):
 - визначити основні хімічні показники якості води (pH, вміст нітратів, нітритів, фосфатів, розчиненого кисню).
4. Проєктування та створення біофільтра (**Engineering** – фізика, хімія):
 - розробити схему простого біофільтра, враховуючи принцип гравітаційного потоку води;
 - вибрати відповідні матеріали для корпусу фільтра (наприклад, пластикова пляшка, контейнер) та фільтруючого субстрату (комбінація різних шарів);
 - зобразити й зібрати модель біофільтра.
5. Запуск і тестування (біологія, хімія, фізика):
 - підготувати зразок забрудненої води (наприклад, вода з додаванням невеликої кількості органічних речовин, таких як чай або кава, або ґрунту).
 - пропустити забруднену воду через створений біофільтр.
 - регулярно відбирати проби води до та після фільтрації.
 - провести дослідження основних хімічних показників води.
 - спостерігати за розвитком біоплівки на фільтруючому матеріалі (біологічний аспект).
 - виміряти швидкість фільтрації (фізичний аспект).
6. Аналіз результатів і висновки (**Mathematic** – хімія, математика):
 - порівняти результати аналізів води до та після фільтрації.
 - оцінити ефективність створеного біофільтра у видаленні забруднювачів.

- проаналізувати вплив різних матеріалів фільтруючого субстрату на якість очищення.

- зробити висновки про переваги та недоліки розробленої моделі.

- запропонувати шляхи для покращення ефективності біофільтра.

7. Презентація (**Arts** – біологія, хімія, фізика, інформатика):

- підготувати комп'ютерну презентацію про свій проєкт, включаючи мету, матеріали, методи, результати та висновки.

- представити свій біофільтр та пояснити його принцип роботи з точки зору біології, хімії та фізики.

Для виконання цього міждисциплінарного проєкту студентам необхідні знання та навички з біології (розуміння ролі мікроорганізмів у природних процесах, знання про основні види забруднювачів води та їхній вплив на живі організми), хімії (знання про склад води, основні хімічні реакції, поняття про pH, розчинені речовини, вміст певних іонів), фізики (розуміння принципів гідравліки, гравітації, фільтрації), математики (уміння вимірювання об'єму і швидкість потоку), інформатики (уміння знаходити необхідну інформацію в інтернеті, створювати комп'ютерні презентації).

Для студентів буде цікаво випробувати можливості ІІІ для створення відповідних зображень презентацій. Наприклад, на запит «Дай зображення біофільтра для очищення води» модель Copilot запропонувала яскраве, але не зовсім реалістичне зображення біофільтра (рис.1). Проте його можна використати як привабливу картинку на початку презентації.

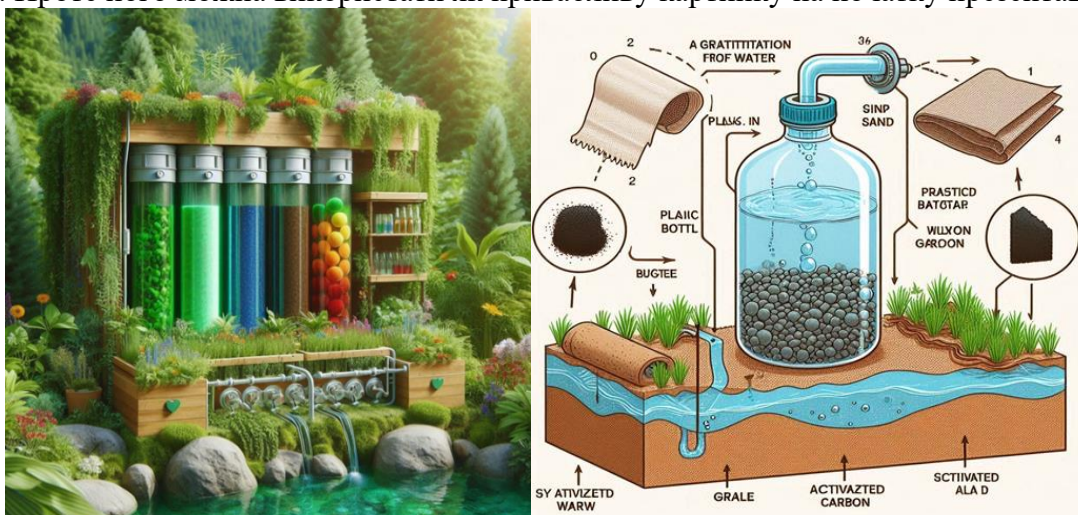


Рис. 1. Зображення біофільтрів, згенеровані моделлю Copilot

Загалом ІІІ може бути дуже ефективним помічником на кожному із етапів виконання проєкту. Але для виконання наукових досліджень учні й учителі мають знати про функціональні можливості таких інструментів різних моделей ІІІ як Deep Research (глибоке дослідження). Саме цей DR-агент здатний провести ретельне та всебічне дослідження для надання максимально точної, детальної та обґрунтованої відповіді. Він, ймовірно, буде витрачати більше часу на аналіз запиту, пошук і перевірку інформації з різних джерел, але є незамінним помічником, коли потрібне глибоке розуміння контексту, складне логічне міркування та список відповідних джерел перевіреної наукової інформації.

Наприклад, на короткий запит «Які є види біофільтрів для очищення води» модель ІІІ Gemini 2.0 Flash Thinking (Миттєве Мислення) дала відповідь, що представлена нижче курсивом.

Існує багато видів біофільтрів для очищення води, які класифікуються за різними критеріями, такими як спосіб росту мікроорганізмів, напрям потоку води, наявність кисню та тип

фільтруючого матеріалу. Ось основні види:

За способом росту мікроорганізмів:

- **Біофільтри з прикріпленням ростом (Fixed-Film Biofilters):** Мікроорганізми утворюють біоплівку, прикріплену до твердого носія (фільтруючого матеріалу). Це найпоширеніший тип біофільтрів.
- **Біофільтри зі зв'язаним ростом (Suspended Growth Biofilters):** Мікроорганізми знаходяться у зв'язаному стані у воді, що очищується. Прикладом може бути активований мул.

За напрямом потоку води:

- **Низхідні біофільтри (Downflow Biofilters):** Вода протікає зверху вниз через фільтруючий матеріал.
- **Висхідні біофільтри (Upflow Biofilters):** Вода протікає знизу вгору через фільтруючий матеріал.
- **Горизонтальні біофільтри (Horizontal Flow Biofilters):** Вода протікає горизонтально через фільтруючий матеріал.

За наявністю кисню:

- **Аеробні біофільтри:** Для функціонування мікроорганізмів потрібен кисень. Кисень може подаватися шляхом аерації води або природної вентиляції.
- **Анаеробні біофільтри:** Функціонують за відсутності кисню. Використовуються для видалення певних забруднювачів, наприклад, органічних речовин у висококонцентрованих стічних водах.
- **Аноксичні біофільтри:** Працюють при обмеженому вмісті кисню. Часто використовуються для процесу денітрифікації (видалення нітратів).

За типом фільтруючого матеріалу та конструкцією:

- **Крапельні біофільтри (Trickling Filters):** Вода розбризкується над шаром крупнозернистого фільтруючого матеріалу (каміння, пластикові елементи). Забезпечується хороший доступ кисню.
- **Біодискові реактори (Rotating Biological Contactors - RBCs):** Диски, частково занурені у стічну воду, обертаються, забезпечуючи чергування контакту біоплівки з водою та повітрям.
- **Занурені аеровані фільтри (Submerged Aerated Filters - SAFs):** Фільтруючий матеріал повністю занурений у воду, і для забезпечення кисню використовується аерація.
- **Реактори з рухомим шаром біоплівки (Moving Bed Biofilm Reactors - MBBRs):** У реакторі вільно плавають невеликі пластикові носії, на яких утворюється біоплівка. Забезпечується інтенсивне перемішування.
- **Біопіщані фільтри (BioSand Filters):** Прості та ефективні фільтри для домашнього використання, що складаються з шарів піску та гравію. Біологічне очищення відбувається у верхньому шарі піску.
- **Конструйовані водно-болотні угіддя (Constructed Wetlands):** Штучно створені екосистеми, які імітують природні водно-болотні угіддя. Очищення води відбувається за рахунок комбінації фізичних, хімічних та біологічних процесів, включаючи діяльність мікроорганізмів, рослин та ґрунту.
- **Мулові реактори з біоплівкою на носіях (Membrane Bioreactors - MBRs):** Поєднують традиційний процес активованого мулу з мембранною фільтрацією. Біоплівка утворюється на спеціальних мембранах.

Вибір конкретного типу біофільтра залежить від багатьох факторів, включаючи характеристики забрудненої води, необхідний ступінь очищення, доступність ресурсів та економічні міркування.

Таку відповідь можна вважати вичерпною для учня чи студента. Проте ми пропонуємо не бездумне використання підказок III, а спрямовуємо здобувачів освіти на критичний аналіз

одержаних відповідей. Додатковим завданням може бути пошук інформації про конкретний вид біофільтра, про його переваги та недоліки тощо. Такі завдання сприятимуть розвитку критичного мислення майбутніх учителів природничих дисциплін.

Для справжнього дослідника потрібен глибокий і детальний аналіз, який може здійснити модель Gemini з використанням інструменту Deep Research. Нижче наводимо кілька фрагментів «міркувань» цієї моделі.

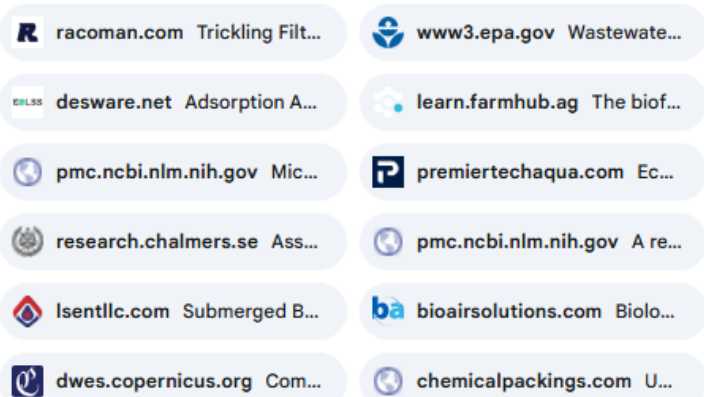
Пошук альтернативних джерел

Щоб продовжити дослідження, я вирішив зосередитися на пошуку альтернативних авторитетних джерел інформації. Мій наступний крок включатиме пошук академічних публікацій та звітів від організацій, що займаються екологічною інженерією.

Подальші дії

Я планую уточнити свої пошукові запити, щоб знайти наукову літературу та технічні звіти, де обговорюється класифікація біофільтрів на основі їхньої конструкції. Також я шукатиму інформацію про принципи роботи різних типів біофільтрів, таких як занурені, крапельні та з обертовими біологічними контакторами.

Researching websites



Після десяти хвилин аналізу кількох десятків різних сайтів модель переходить до огляду типів і принципів роботи різних біофільтрів.

Огляд типів біофільтрів

На основі останніх результатів пошуку я отримав підтвердження існування різних типів біофільтрів, які використовуються для очищення води. До них належать занурені біофільтри, крапельні фільтри, обертові біологічні контактори, реактори з рухомим шаром біоплівки (MBBR), мембранні біореактори (MBR), а також анаеробні та аеробні біофільтри. Кожен з цих типів має свої особливості в конструкції та принципі дії.

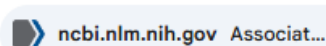
Подальший аналіз

Щоб надати вичерпну відповідь, мені потрібно детальніше вивчити ці різні типи біофільтрів. Я планую проаналізувати знайдені джерела, щоб отримати глибше розуміння їхньої конструкції, принципів роботи та класифікації.

Наступні кроки

Мої наступні кроки включатимуть перегляд отриманих результатів пошуку для збору детальної інформації про кожен згаданий тип біофільтра. Я зосереджусь на розумінні основних принципів, що лежать в основі кожної технології, та їхніх відмінностей у структурі та функціональності.

Researching websites



У результаті ми одержали глибокий і значний за обсягом науковий звіт з порівнянням характеристик різних типів біофільтрів. Така інформація містила посилання на використані джерела, а тому вона може бути використана в науковій діяльності студентів природничих факультетів.

Для студентів магістратури можна запропонувати і більш складний проєкт, розширити його завданнями з географії (врахувати географічні дані щодо наявності чинників забруднення і найкращих природних очищувачів води) або запропонувати використати ще й математичну модель очищення води, як це представлено в статті [5].

Можливі також інші варіанти ускладнення завдання, наприклад: порівняти ефективності біофільтрів з різним складом фільтруючого субстрату, дослідити вплив швидкості потоку води на якість її очищення, використати різні джерела забрудненої води (наприклад, дощова вода, вода з водойми) і здійснити більш детальні дослідження води за наявності відповідного обладнання. Це завдання є практичним, цікавим та дозволяє здобувачам освіти застосувати свої знання з різних наукових дисциплін для вирішення реальної проблеми, такої як очищення води.

Результатом виконання такого STREAM-проєкту буде не лише створення функціональної моделі простого біофільтра, а й глибше розуміння принципів біологічного очищення води, набуття практичних навичок проведення експериментів та аналізу даних, розвиток вміння застосовувати знання з різних предметів для вирішення практичного завдання, формування екологічної свідомості та вміння використовувати сучасні інструменти штучного інтелекту не лише для виконання та презентації результатів досліджень, а й для глибокого наукового аналізу та синтезу інформації з наявних джерел.

У педагогічному університеті студенти навчаються у викладачів, які активно займаються дослідженнями, та отримують можливість брати участь у дослідженнях, розвиваючи передові дослідницькі навички та сприяючи створенню нових знань.

Найбільша цінність STREAM-освіти у підготовці майбутніх учителів природничих дисциплін полягає в тому, що вона максимально спрямована на розвиток у них дослідницьких навичок. Дослідницькі навички є надзвичайно важливими саме для вчителів предметів природничого циклу, оскільки дозволяють не лише ефективно інтегрувати природничі науки з іншими шкільними предметами, а й заохочувати учнів до дослідницької діяльності. Вчителі, які володіють дослідницькими навичками, можуть краще керувати учнівськими дослідженнями, допомагати їм формулювати чіткі запитання та знаходити надійні джерела інформації.

Використовуючи природну допитливість учнів, пов'язуючи дослідження з реальними проблемами та надаючи їм можливість висловлювати власну думку у навчанні, педагоги можуть створити позитивне та мотивуюче середовище для досліджень. Розвиток допитливості гарантує, що навчання стане справою всього життя, керованою власним бажанням учнів досліджувати та розуміти.

Дослідницькі навички допомагають вчителям природничих дисциплін розвивати в учнів критичне мислення, навчаючи їх аналізувати інформацію, оцінювати докази та робити обґрунтовані висновки. Вчителі, які самі є дослідниками, краще розуміють процес наукового дослідження та можуть передати ці знання своїм учням.

У світі, що швидко змінюється, дослідницькі навички допомагають вчителям природничих наук залишатися в курсі останніх наукових досягнень і технологій. Загалом, дослідницькі навички є фундаментальними для вчителів природничих дисциплін, які прагнуть забезпечити якісну освіту.

Висновки і перспективи подальших досліджень. STREAM-проєкти набувають великої популярності в усьому світі, враховуючи їхню здатність надавати здобувачам освіти можливість розвивати навички XXI століття, необхідні для роботи в майбутньому. Підхід STREAM-освіти, орієнтований на дослідження, відкриває значні перспективи для виховання

покоління людей, здатних критично мислити й розв'язувати проблеми, тобто добре підготовлених до складних викликів і нових можливостей ХХІ століття. Надаючи пріоритет розвитку дослідницьких навичок у рамках інтегрованої та міждисциплінарної структури, вчителі природничих дисциплін можуть надати учням можливість стати активними дослідниками впродовж усього життя та ефективними членами суспільства, заснованого на знаннях.

Упровадження STREAM-освіти, орієнтованої на дослідження, де літеру «R» визначено як «дослідження», у підготовку майбутніх учителів природничих дисциплін є вирішальним для забезпечення їхньої готовності до сприяння навчанню на основі досліджень. Під час розроблення освітніх програм потрібно надавати пріоритет інтеграції дослідницьких заходів у робочі програми з навчальних дисциплін, а не розглядали дослідження як окремий або ізольований компонент. Варто враховувати, що в сучасному освітньому просторі необхідним є використання технологій ІІІ для надання студентам і учням доступу до великих інформаційних ресурсів, інструментів аналізу даних для підтримки освітнього і дослідницького процесу.

Стратегії оцінювання повинні виходити за межі традиційного тестування, включаючи методи, які оцінюють дослідницькі навички, критичне мислення, навички розв'язання проблем, що забезпечить більш цілісне вимірювання успішності навчання та розвитку.

Подальших досліджень потребують проблеми, пов'язані з готовністю вчителів природничих дисциплін до впровадження STREAM-освіти, основною перевагою якої є інтеграція і практична спрямованість знань, а також розвиток у здобувачів освіти дослідницьких навичок. Цілеспрямовано розробляючи та підтримуючи освітні програми, орієнтовані на дослідження, викладачі педагогічних університетів можуть виховати покоління педагогів, які є не лише обізнаними в конкретній науковій галузі, а й здатні самостійно досліджувати, аналізувати та робити внесок у світ, що постійно змінюється. Такий підхід зрештою готує майбутніх учителів бути адаптивними, стійкими та успішними в майбутньому, що вимагає критичного мислення та дослідницького духу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алієко О., Космік Д. Використання елементів STREAM-освіти у формуванні логіко-математичних компетенцій дошкільників. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2022. № 54(1). С. 226–230. DOI: 10.24919/2308-4863/54-1-33.
2. Блажко О. А. Теоретичні і методичні засади підготовки майбутніх учителів до профільного навчання хімії учнів загальноосвітніх навчальних закладів: дис. ... доктора пед. наук: 13.00.02. Київ, 2019. 485 с.
3. Грицай Н. Б. Система методичної підготовки майбутніх учителів біології в педагогічних університетах: дис. ... доктора пед. наук: 13.00.02. Київ, 2016. 526 с.
4. Заболотний В. Ф. Дидактичні засади застосування мультимедіа у формуванні методичної компетентності майбутніх учителів фізики: дис. ... доктора пед. наук: 13.00.02. Київ, 2010. 482 с.
5. Залозний Р. В., Заєць Н. А. Математичне моделювання процесів біофільтрації в аквапонних системах. *Наукові праці НУХТ*, 2024. 30(5), С.25-33. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-4
6. Коломієць Д. І., Бабчук Ю. М., Бірюк О. О. STEAM-проекти на уроках трудового навчання. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2017. № 49. С. 28–32.
7. Коломієць Д., Коломієць Т., Швець О. STEM-, STEAM- і STREAM-освіта як нова форма та найвищий рівень інтеграції знань. *Актуальні проблеми математики, фізики і технологій*. 2020. № 17. С. 250–254.
8. Концепція розвитку STEM-освіти до 2027 року. URL: <https://mon.gov.ua/news/uryad-ukhvaliv-kontseptsiyu-rozvitku-stem-osviti-do-2027-roku>
9. Нікітченко Л. О. Принципи навчання та особливості їх реалізації у процесі підготовки майбутніх учителів біології до організації дослідницької діяльності учнів. *Наукові записки Вінницького*

державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Теорія та методика навчання природничих наук. № 7. 2024. С.67-76. DOI: 10.31652/2786-5754-2024-7-67-76

10. Романюк Р. К. Теоретичні і методичні засади професійної підготовки вчителів біології до профільного навчання учнів: дис. ... доктора пед. наук: 13.00.04. Житомир, 2021. 453 с.

11. Сергеев О. В. Оцінка практичного стану впровадження STEM-технологій на уроках хімії в закладах загальної середньої освіти. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Теорія та методика навчання природничих наук.* № 6. 2024. С. 96-102. DOI: 10.31652/2786-5754-2024-6-96-102

12. Сільвейстр А. М. Теоретико-методичні засади навчання фізики майбутніх учителів хімії і біології : дис. ... доктора пед. наук: 13.00.02. Кропивницький, 2017. 633 с.

13. Azizah W. A., Sarwi S., Ellianawati E. Implementation of project-based learning model (PJBL) using STREAM-based approach in elementary schools. *Journal of Primary Education*, 2020. 9(3), С.238–247.

14. Badmus O., Omosewo E. Evolution of STEM, STEAM and STREAM Education in Africa: The Implication of the Knowledge Gap. *International Journal of Research in STEM Education*. 2020. Vol.2, №2. P. 99-106. URL: <https://doi.org/10.31098/ijrse.v2i2.227>

15. Colomer J., Serra L., Cañabate D., Serra T. Evaluating Knowledge and Assessment-Centered Reflective-Based Learning Approaches. *Sustainability*. 2018, 10, 3122.

16. Culver K. C., Bowman N. A., Youngerman E., Jang N., Just C. L. Promoting equitable achievement in STEM: Lab report writing and online peer review. *The Journal of Experimental Education*, 2020. 90(1), P.23–45. URL: <https://doi.org/10.1080/00220973.2020.17993>

17. Finkenstaedt-Quinn S. A., Petterson M., Gere A., Shultz G. Praxis of writing-to-learn: A model for the design and propagation of writing-to-learn in STEM. *Journal of Chemical Education*, 2021. 98(5), 1548–1555. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01482>

18. Gao X., Li P., Shen J., Sun H. Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary STEM education. *International Journal of STEM Education*, 2020. № 7, P.1–14. URL: <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00225-4>

19. Jeon A. J., Kellogg D., Khan M. A., Tucker-Kellogg G. Developing critical thinking in STEM education through inquiry-based writing in the laboratory classroom. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 2021. 49(1), C.140–150. URL: <https://doi.org/10.1002/bmb.21414>

20. Li Y., Wang K., Xiao Y., Froyd J. E. Research and trends in STEM education: A systematic review of journal publications. *International Journal of STEM Education*, 2020. 7(1), P.1–16. URL: <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00207-6>

21. Mayer E. Bilingual STREAM: Inquiry of water through science and engineering (Doctoral dissertation. UC San Diego. 2018.

22. Prommaboon T., Boonthong S., Nuangchalem P. STREAM Education Curriculum for Primary Thai Language Teachers and School Implementation. *Journal of Educational*. 2022. Volume 8, Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.5296/jei.v8i1.19465>

23. Rodenbusch S.E, Hernandez P.R, Simmons S.L, Dolan E.L. Early Engagement in Course-Based Research Increases Graduation Rates and Completion of Science, Engineering, and Mathematics Degrees. *CBE Life Sci Educ*. 2016 Summer;15(2): ar 20. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4909342/>

24. Salybekova N., Issayev G., Abdrassulova Z., Bostanova A., Dairabaev R., Erdenov M. Pupils' research skills development through project-based learning in biology. *Cypriot Journal of Educational Sciences*, 2021. 16(3), P.1106–1121. URL: <https://doi.org/10.18844/cjes.v16i3.5829>

25. Takeuchi M. A., Sengupta P., Shanahan M. C., Adams J. D., Hachem M. Transdisciplinarity in STEM education: A critical review. *Studies in Science Education*, 2020. 56(2), P.213–253. URL: <https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1755>

26. Wang S., Baichang Z. Integrating reading and writing with STEAM/STEM: A systematic review on STREAM education. *Journal of Engineering Education*. 2024. Volume 113. Issue 4. URL: <https://doi.org/10.1002/jee.20569>

REFERENCES

1. Aliieko, O., Kosmik, D. (2022). Vykorystannia elementiv STREAM-osvity u formuvanni lohiko-matematychnykh kompetentsii doshkilnykiv. *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk*, № 54(1). 226–230. DOI: 10.24919/2308-4863/54-1-33 [in Ukrainian].

2. Blazhko, O. A. (2019). Teoretychni i metodychni zasady pidhotovky maibutnikh uchyteliv do profilnoho navchannia khimii uchniv zahalnoosvitnikh navchalnykh zakladiv. *Doktor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
3. Hrytsai, N. B. (2016). Systema metodychnoi pidhotovky maibutnikh uchyteliv biolohii v pedahohichnykh universytetakh. *Doktor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
4. Zabolotnyi, V. F. (2010). Dydaktychni zasady zastosuvannia multymedia u formuvanni metodychnoi kompetentnosti maibutnikh uchyteliv fizyky. *Doktor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
5. Zaloznyi, R. V., Zaiets, N. A. (2024). Matematychni modeliuvannia protsesiv biofiltratsii v akvaponnykh systemakh. *Naukovi pratsi NUKhT*, 30(5). 25-33. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-5-4 [in Ukrainian].
6. Kolomiets, D. I., Babchuk, Yu. M., Biriuk, O. O. (2017). STEAM-proekty na urokakh trudovoho navchannia. *Suchasni informatsiini tekhnolohii ta innovatsiini metodyky navchannia v pidhotovtsi fakhivtsiv: metodolohiia, teoriia, dosvid, problemy*. № 49. 28–32 [in Ukrainian].
7. Kolomiets, D., Kolomiets, T., Shvets, O. (2020). STEM-, STEAM- i STREAM-osvita yak nova forma ta naivysshchyi riven intehtatsii znan. *Aktualni problemy matematyky, fizyky i tekhnolohii*. № 17. 250–254 [in Ukrainian].
8. Kontsepiia rozvytku STEM-osvity do 2027 roku. URL: <https://mon.gov.ua/news/uryad-ukhvaliv-kontseptsiiu-rozvitku-stem-osviti-do-2027-roku> [in Ukrainian].
9. Nikitchenko, L. O. (2024). Pryntsypy navchannia ta osoblyvosti yikh realizatsii u protsesi pidhotovky maibutnikh uchyteliv biolohii do orhanizatsii doslidnytskoi diialnosti uchniv. *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Serii: Teoriia ta metodyky navchannia pryrodnych nauk*. № 7. 67-76. DOI: 10.31652/2786-5754-2024-7-67-76 [in Ukrainian].
10. Romaniuk, R. K. (2021). Teoretychni i metodychni zasady profesiinoi pidhotovky vchyteliv biolohii do profilnoho navchannia uchniv. . *Doktor's thesis*. Zhytomyr [in Ukrainian].
11. Serheiev, O. V. (2024). Otsinka praktychnoho stanu vprovadzhennia STEM-tekhnolohii na urokakh khimii v zakladakh zahalnoi serednoi osvity. *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Serii: Teoriia ta metodyky navchannia pryrodnych nauk*. № 6. 96-102. DOI: 10.31652/2786-5754-2024-6-96-102 [in Ukrainian].
12. Silveistr, A. M. (2017). Teoretyko-metodychni zasady navchannia fizyky maibutnikh uchyteliv khimii i biolohii. *Doktor's thesis*. Kropyvnytskyi. [in Ukrainian].
13. Azizah, W. A., Sarwi, S., Ellianawati, E. (2020). Implementation of project-based learning model (PJBL) using STREAM-based approach in elementary schools. *Journal of Primary Education*, 9(3), 238–247.
14. Badmus, O., Omosewo, E. (2020). Evolution of STEM, STEAM and STREAM Education in Africa: The Implication of the Knowledge Gap. *International Journal of Research in STEM Education*. Vol.2, №2. 99-106. URL: <https://doi.org/10.31098/ijrse.v2i2.227>
15. Colomer, J., Serra, L., Cañabate, D., Serra, T. (2018). Evaluating Knowledge and Assessment-Centered Reflective-Based Learning Approaches. *Sustainability*. 10, 3122.
16. Culver, K. C., Bowman, N. A., Youngerman, E., Jang, N., Just, C. L. (2020). Promoting equitable achievement in STEM: Lab report writing and online peer review. *The Journal of Experimental Education*, 90(1), .23–45. URL: <https://doi.org/10.1080/00220973.2020.17993>
17. Finkensaedt-Quinn, S. A., Petterson, M., Gere, A., Shultz, G. (2021). Praxis of writing-to-learn: A model for the design and propagation of writing-to-learn in STEM. *Journal of Chemical Education*, 98(5), 1548–1555. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01482>
18. Gao, X., Li P., Shen, J., Sun, H. (2020). Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary STEM education. *International Journal of STEM Education*, № 7, 1–14. URL: <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00225-4>
19. Jeon, A. J., Kellogg, D., Khan, M. A., Tucker-Kellogg, G. (2021). Developing critical thinking in STEM education through inquiry-based writing in the laboratory classroom. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 49(1), 140–150. URL: <https://doi.org/10.1002/bmb.21414>
20. Li, Y., Wang, K., Xiao, Y., Froyd, J. E. (2020). Research and trends in STEM education: A systematic review of journal publications. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 1–16. URL: <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00207-6>
21. Mayer, E. (2018). Bilingual STREAM: Inquiry of water through science and engineering (Doctoral

dissertation. UC San Diego.

22. Prommaboon, T., Boongthong, S., Nuangchalem, P. (2022). STREAM Education Curriculum for Primary Thai Language Teachers and School Implementation. *Journal of Educational. Volume 8, Issue 1*. URL: DOI: <https://doi.org/10.5296/jei.v8i1.19465>

23. Rodenbusch, S.E, Hernandez, P.R, Simmons, S.L, Dolan, E.L. (2016). Early Engagement in Course-Based Research Increases Graduation Rates and Completion of Science, Engineering, and Mathematics Degrees. *CBE Life Sci Educ. 15(2). 20*. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4909342/>

24. Salybekova, N., Issayev, G., Abdrassulova, Z., Bostanova, A., Dairabaev, R., Erdenov, M. (2021). Pupils' research skills development through project-based learning in biology. *Cypriot Journal of Educational Sciences, 16(3), 1106–1121*. URL: <https://doi.org/10.18844/cjes.v16i3.5829>

25. Takeuchi, M. A., Sengupta, P., Shanahan, M. C., Adams, J. D., Hachem, M. (2020). Transdisciplinarity in STEM education: A critical review. *Studies in Science Education, 56(2), 213–253*. URL: <https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1755>

26. Wang, S., Baichang, Z. (2024). Integrating reading and writing with STEAM/STEM: A systematic review on STREAM education. *Journal of Engineering Education. Volume 113. Issue 4*. URL: <https://doi.org/10.1002/jee.20569>

Статтю надіслано до редколегії 05.03.2025 р.

Статтю рекомендовано до друку 07.04.2025 р.