

DOI: <https://doi.org/10.28925/2412-0774.2026.2.13>

УДК [378.091.212:37.091.12.011.3-051]:331.363:004.8

Вячеслав Осадчий

<https://orcid.org/0000-0001-5659-4774>

доктор педагогічних наук, професор,
член-кореспондент НАПН України,
декан факультету економіки та менеджменту,
Київський столичний університет
імені Бориса Грінченка,
провідний науковий співробітник,
відділ хмароорієнтованих систем
і штучного інтелекту в освіті,
Інститут цифровізації освіти НАПН України,
вул. Левка Лук'яненка, 13-Б, 04207, Київ, Україна
v.osadchyi@kubg.edu.ua

Ірина Крашеніннік

<https://orcid.org/0000-0001-6689-3209>

доктор філософії (PhD) в галузі освіти, доцент,
завідувач кафедри інформатики і кібернетики.
Мелітопольський державний педагогічний
університету імені Богдана Хмельницького,
вул. Наукового містечка, 59, 69000, Запоріжжя, Україна,
irina_kr@mdpu.org.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГРАМИ ПРОФЕСІЙНОГО РОЗВИТКУ STEM-УЧИТЕЛІВ У СФЕРІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ОСНОВІ ТРАСК-МЕТОДОЛОГІЇ

У статті обґрунтовано актуальність моделювання програми професійного розвитку STEM-учителів у сфері використання технологій штучного інтелекту на основі ТРАСК-методології. Метою дослідження є розроблення моделі програми професійного розвитку STEM-учителя, що забезпечує педагогічно доцільне, методично обґрунтоване й відповідальне застосування технологій ШІ у STEM-освіті. У процесі дослідження виконано аналіз наукових джерел з проблем професійного розвитку вчителів, використання ШІ в педагогічній діяльності та застосування моделі ТРАСК; систематизацію й узагальнення теоретичних положень; моделювання для визначення структури програми професійного розвитку; конкретизацію компонентів ТРАСК з урахуванням специфіки STEM-навчання та можливостей технологій ШІ. Уточнено зміст компонентів ТРАСК у контексті використання ШІ: предметне знання розглянуто як розуміння змісту STEM-дисциплін і наукових засад ШІ; педагогічне знання – як володіння дидактичними підходами до застосування ШІ в освітньому процесі; технологічне знання – як здатність використовувати інструменти ШІ, розуміти їхні можливості, обмеження й ризики. Визначено напрями професійного розвитку STEM-учителів, зокрема формування технологічної грамотності, розвиток умінь добирати інструменти ШІ для пояснення змісту STEM-тем, організовувати проблемне, дослідницьке й проектне навчання із застосуванням ШІ, використовувати його для оцінювання та розроблення методичних рішень. Запропонована модель відображає послідовний рух від опанування окремих технологій ШІ до цілісного проектування STEM-



навчання. Зроблено висновок, що ТРАСК-методологія є продуктивною основою для створення програм професійного розвитку STEM-вчителів, оскільки забезпечує узгодження змістових, педагогічних і технологічних аспектів використання ШІ та може бути адаптована до різних контекстів.

Ключові слова: безперервний професійний розвиток вчителів, компетентність вчителя зі штучного інтелекту, компоненти ТРАСК, технології штучного інтелекту, STEM-освіта.

ВСТУП

В сучасних умовах професійна підготовка STEM-вчителів у закладах вищої освіти є необхідною умовою допуску до педагогічної діяльності, проте недостатньою для становлення особистості фахівця. Це зумовлено багатьма причинами, серед яких зміна суспільних запитів до громадян, що призводить до оновлення вимог до випускників закладів загальної середньої освіти (ЗЗСО) і відповідно до вчителів. Ще однією причиною є інтенсивний розвиток науки та технологій, що впливає на зміст освіти загалом і окремих STEM-дисциплін, а також на вимоги до компетентностей випускників і вчителів. Зазначене зумовлює потребу в постійному професійному розвитку STEM-вчителів, який реалізується шляхом формальної, неформальної та інформальної освіти, спрямований на подолання розривів, що виникають між рівнем їхньої професійної підготовки та новими вимогами, а також запобігання появі цих розривів.

Серед технологічних викликів, що постали перед STEM-вчителями протягом останніх п'яти років, виділимо інтенсифікацію розвитку технологій штучного інтелекту (ШІ), зокрема генеративного ШІ, отримання доступу до них широкими колами фахівців та інших зацікавлених осіб, посилення впливу цих технологій на всі сфери діяльності, зокрема на освіту. Цей вплив нині мають враховувати всі вчителі, проте для STEM-освіти це є обов'язковою вимогою, оскільки штучний інтелект є частиною кожного зі STEM-напрямів.

З огляду на це професійний розвиток STEM-вчителів у сфері використання технологій штучного інтелекту є окремим напрямом їхнього цілісного безперервного професійного розвитку. Важливість цього напряму підтверджується, зокрема, тим, що ЮНЕСКО була розроблена рамка компетентності зі штучного інтелекту для вчителів (Miao, Sukurova, 2024). У цьому документі зазначено, що вчителі є основними користувачами ШІ в освіті й очікується, що вони будуть навчати за допомогою штучного інтелекту, дотримуватися безпечної та етичної практики в освітніх середовищах, багатих на ШІ, демонструвати зразки навчання в галузі штучного інтелекту протягом усього життя (Miao, Sukurova, 2024, с. 13).

У складі цієї компетентності виділено п'ять аспектів (взаємопов'язаних ключових елементів знань, навичок, цінностей та ставлень, які вчителі повинні розвивати): 1) людиноцентрований підхід – цінності та ставлення до взаємодії людини та ШІ; 2) етика ШІ – основні етичні принципи, норми, інституційні закони та практичні правила, які вчителі повинні розуміти, застосовувати та допомагати адаптувати; 3) основи та застосування ШІ – концептуальні знання та навички, якими повинні володіти вчителі для застосування інструментів ШІ в освітньому процесі; 4) педагогіка ШІ – компетентності, необхідні для цілеспрямованого та ефективного використання ШІ в процесі підготовки до занять, викладання та оцінювання; 5) ШІ для професійного розвитку – компетентності, необхідні для професійного розвитку протягом усього життя та професійної трансформації (Miao, Sukurova, 2024, с. 21).

Професійний розвиток вчителів є предметом багатьох наукових досліджень (Воротникова, Захар, 2025; Загоруйко, 2023; Захар, 2024; Квас, 2023; Коваленко та ін., 2025; Мар'єнко, 2025; Г. Мешко, О. Мешко, 2025; Олексенко, Хоменко, 2024; Фрицюк, Швець, 2025; Хоменко, 2023; Черновол-Ткаченко, 2024; Шабала, 2024; An, Sung (Eds.), 2026; Demmler et al., 2026; Gui, Omar, Harithuddin, 2026; Rehman et al., 2025; Shapira, Amzalag, 2026).

У працях Л. Загоруйко (2023) та В. Фрицюк і О. Швець (2025) представлено результати аналізу закордонного досвіду організації системи професійного розвитку вчителів. Показано, що у Фінляндії ця система характеризується чіткістю правил відбору на педагогічні спеціальності, поєднанням навчання та досліджень, практичною зорієнтованістю, розвитком мереж для професійного спілкування, акцентом на інклюзивній освіті, організацією менторської підтримки (Загоруйко, 2023, с. 322). Програми професійного розвитку вчителів передбачають ознайомлення із сучасними освітніми концепціями, інноваційними методиками навчання, розвиток умінь самостійного набуття нових знань (Фрицюк, Швець, 2025, с. 158).

У дослідженні науковців Г. Мешко та О. Мешко (2025) представлено педагогічну технологію формування акмесинергетичної позиції майбутніх учителів, а також програму оптимізації професійного розвитку вчителя (с. 112). Науковці С. Олексенко та О. Хоменко (2024) досліджували мотивацію вчителів до професійного розвитку під час війни та фактори, що ускладнюють його. Дослідниця Ю. Шабала (2024) обґрунтувала важливість індивідуальної траєкторії професійного розвитку педагогічних працівників та запропонувала структуру щоденника цього розвитку. У працях О. Квас (2023) та Л. Хоменко (2023) схарактеризовано особливості професійного розвитку вчителів в умовах цифровізації освіти, зокрема впровадження дистанційного навчання. Також у наукових дослідженнях значна увага приділяється професійному розвитку вчителів в умовах впровадження технологій штучного інтелекту (Воротникова, Захар, 2025; Захар, 2024; Коваленко та ін., 2025; Мар'єнко, 2025).

Закордонні науковці також досліджують різноманітні проблеми професійного розвитку педагогічних працівників. У праці K. Demmler et al. (2026) розглядається вплив індивідуальних характеристик та пізнавальних здібностей вчителів на їхню поведінкову та когнітивну залученість у процесі проходження онлайн-програм професійного розвитку. У праці Q. Gui, M. Omar, A. Harithuddin (2026) експериментальним шляхом підтверджено позитивний вплив професійного розвитку вчителів на вдосконалення їхньої цифрової компетентності, підвищення впевненості під час використання цифрових технологій та посилення позитивного ставлення до них. У праці N. Shapira, M. Amzalag (2026) представлено модель професійного розвитку вчителів у кризові часи шляхом онлайн-навчання. Професійному розвитку STEM-учителів присвячена праця H. An, W. Sung (2026), де запропоновано моделі, стратегії та інструменти безперервного професійного розвитку у форматі онлайн-навчання. У праці N. Rehman et al. (2025) автори на основі систематичного аналізу наукових публікацій визначили напрями та ефективні стратегії професійного розвитку STEM-учителів.

На основі огляду зазначених публікацій можна зробити висновок, що професійний розвиток вчителів, а також його окремі аспекти, як-от розвиток STEM-учителів або розвиток у сфері використання технологій ШІ, перебувають у фокусі уваги науковців і наразі вже наявні суттєві напрацювання із цих питань. Разом із тим, інтенсивний розвиток технологій зумовлює необхідність подальших досліджень у цій сфері.

Мета дослідження – розробити модель програми професійного розвитку STEM-учителя у сфері використання технологій ШІ на основі ТРАСК-методології.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

ТРАСК (англ.: Technological Pedagogical and Content Knowledge) – це одна з найбільш відомих методологічних моделей, що описує знання вчителів, необхідні для ефективного впровадження технологій в освіту (Petko, Mishra, Koehler, 2025, с. 1). У моделі розглядаються три основні компоненти цього знання: предметне (англ.: СК, Content Knowledge); педагогічне (англ.: РК, Pedagogical Knowledge); технологічне (англ.: ТК, Technological Knowledge). Важливе значення також мають знання, що утворюються на перетині базових компонентів: педагогічно-предметне (англ.: РСК, Pedagogical Content Knowledge);

технологічно-предметне (англ.: TCK, Technological Content Knowledge); технологічно-педагогічне (англ.: TRK, Technological Pedagogical Knowledge) (Koehler, Mishra, 2009).

Модель TRACK добре методологічно обґрунтована (Angeli, Valanides, 2009; Koehler, Mishra, 2009; Mishra, Warr, 2021; Petko, Mishra, Koehler, 2025) та апробована в педагогічних дослідженнях (Herold-Blasius et al., 2026; Nguyen, Nguyen, Nguyen, 2026; Sahrudin et al., 2025), тому може бути застосована до різних умов та використання різних цифрових технологій.

Інтерпретація моделі TRACK для контексту використання технологій III у процесі STEM-навчання. У межах нашого дослідження компоненти моделі TRACK розглядаємо з позицій використання технологій III з урахуванням їхнього впливу на професійний розвиток STEM-учителів (Таблиця 1).

Таблиця 1

Уточнений зміст компонентів моделі TRACK з урахуванням використання технологій III у процесі STEM-навчання

Компоненти TRACK	Сутність компоненту	Роль III
Базові компоненти		
СК	знання змісту STEM-дисциплін і наукових засад III	засіб поглиблення розуміння змісту STEM-дисциплін, аналізу складних понять, моделювання, візуалізації закономірностей, роботи з даними
РК	знання дидактичних засад використання технологій III у викладанні STEM-дисциплін	допомога у виборі методів навчання, проектуванні навчальних активностей, підтримка диференціації, персоналізації, формульовального оцінювання, організації дослідницької та проєктної діяльності учнів
ТК	знання технологій III та здатність їх використовувати на практиці	об'єкт вивчення
Комбіновані компоненти		
РСК	знання того, які методи навчання доцільно використовувати під час викладання STEM-дисциплін та окремих тем	допомога у процесі добору методів навчання конкретних STEM-дисциплін і тем, а також розроблення методичних матеріалів (прикладів, аналогій, варіативних проєктних завдань тощо)
ТСК	знання того, які технології III доцільно використовувати під час викладання STEM-дисциплін, а також як III впливає на зміст STEM-навчання	засіб безпосереднього подання змісту STEM-дисциплін, проведення досліджень, виконання навчальних проєктів
ТРК	знання того, які технології III доцільно використовувати для підтримки освітнього процесу, а також того, як III впливає на процес STEM-навчання	засіб підтримки інтерактивності, зворотного зв'язку, моніторингу прогресу учнів, їхньої спільної діяльності тощо
Інтегративний компонент		
TRACK	комплексна здатність проєктувати STEM-навчання з використанням III	засіб цілісного педагогічного проєктування STEM-навчання, у якому зміст, методика і технології узгоджені між собою

Розроблено авторами особисто

Розглянемо застосування моделі TRACK для проектування процесу виконання навчального STEM-проєкту (Таблиця 2). Завдання визначено так: на основі даних спостережень за температурою та опадами протягом 10 років визначити ризики кліматичних змін. Цей проєкт має міждисциплінарну спрямованість, але під час його виконання можна робити акцент або на змісті природничих дисциплін, або на змісті курсу інформатики. Розглянемо другий варіант, коли основна увага надається моделюванню та методам цифрового опрацювання даних. У цьому випадку модель TRACK реалізується через поєднання змістового аналізу кліматичних даних, педагогічної організації дослідницько-проєктної діяльності та цілеспрямованого використання цифрових і ШІ-інструментів, які забезпечують обробку даних, моделювання, візуалізацію, інтерпретацію результатів і методичну підтримку діяльності вчителя.

Таблиця 2

Зміст компонентів моделі TRACK у контексті виконання навчального STEM-проєкту

Компонент TRACK	Сутність компоненту	Роль ШІ	Приклади
СК	Розуміння змісту та основних понять проєкту: температура, опади, кліматична норма, тренд, аномалія, варіація, ризик кліматичних змін, прогнозування. У курсі інформатики зміст доповнюється поняттями структури даних, таблиці, змінної, типів даних, часового ряду, візуалізації, цифрового моделювання	Допомагає пояснювати складні поняття, візуалізувати закономірності, порівнювати багаторічні дані, генерувати приклади інтерпретації графіків і таблиць	Генеративний ШІ (ChatGPT, Copilot, Gemini, Claude) пояснює різницю між «погодой» і «кліматом»; формулює текстові пояснення до графіка зміни середньорічної температури
РК	Здатність вибрати доцільні методи навчання (проєктне навчання, проблемне навчання, робота з даними, дослідницький метод, групове обговорення, формувальне оцінювання тощо).	Допомагає диференціювати завдання, створювати інструкції, запитання для обговорення, критерії оцінювання, підказки різного рівня складності	Учитель за допомогою генеративного ШІ створює варіанти завдань для різних груп, рубрику для оцінювання презентацій тощо
ТК	Знання способів імпорту, очищення, обробки, фільтрації та аналізу даних. Володіння цифровими інструментами: електронними таблицями, засобами візуалізації, середовищами програмування, онлайн-інструменти аналізу даних, ШІ-сервісами	Є об'єктом вивчення і засобом навчання, за допомогою якого відбувається формування в учнів навичок аналізу даних, формулювання і представлення висновків	Доцільно використовувати такий набір цифрових технологій: для збору, збереження, опрацювання числових даних – електронні таблиці MS Excel або Google Sheets: для обробки часових рядів – Google Colab; для пояснення алгоритму аналізу числових даних – ChatGPT; для підготовки

			візуальних звітів – Canva Magic Write або Gamma
РСК	Здатність визначити способи подання змісту теми «аналіз кліматичних даних», щоб учні зрозуміли природничий і інформативний складники, з урахуванням попередніх знань учнів	Допомагає адаптувати пояснення до рівня підготовки учнів, добирати аналогії, приклади, проблемні запитання, сценарії навчального дослідження	Учитель за допомогою генеративного ШІ створює проблемні запитання для обговорення (наприклад, «Чи можна за цими даними стверджувати, що клімат у регіоні став більш ризикованим для сільського господарства?»), а також приклади типових помилок під час аналізу графіків для визначення способів їхнього виправлення.
ТСК	Розуміння, які технології доцільно використовувати під час виконання проекту	Засіб подання змісту, аналізу реальних кліматичних даних, виявлення тенденцій і побудови прогнозів	ШІ допомагає знайти тренд зміни температури, виявити роки з аномальними опадами тощо
ТРК	Здатність організувати навчання з використанням відповідних цифрових інструментів та технологій ШІ	Підтримує взаємодію між учасниками освітнього процесу, самоконтроль, швидкий зворотний зв'язок, поетапний супровід роботи учнів, перевірку результатів	Вчитель з використанням генеративного ШІ створює покрокову інструкцію для учнів, запитання для самооцінювання, коментарі до проміжних результатів груп
ТРАСК	Здатність розробити логічну послідовність виконання STEM-проекту, поєднати природничий зміст з інформативним, реалізувати методику дослідницько-проектної діяльності з використанням цифрових засобів і технологій ШІ	Інструмент роботи з даними, засіб подання результатів, асистент учителя в організації навчання	Орієнтовна послідовність проектної діяльності: учні отримують набір даних, очищують їх з використанням електронних таблиць, аналізують з використанням Python або електронних таблиць, будують графіки, пояснюють виявлені тенденції за допомогою технологій ШІ, моделюють можливі ризики, готують підсумкову презентацію або аналітичний дашборд

Розроблено авторами особисто

Наведена в Таблиці 2 інтерпретація може бути використана як базовий шаблон процесу виконання навчального проєкту, а також розширена і конкретизована шляхом створення необхідних допоміжних матеріалів.

Розглянутий підхід доцільно застосовувати для проєктування освітнього процесу в умовах формальної і неформальної освіти, зорієнтованого на різну цільову аудиторію (здобувачі освіти, дорослі, які працюють, тощо), на досягнення різних цілей та використання різних цифрових технологій, зокрема для розроблення індивідуальних програм професійного розвитку STEM-учителів у сфері використання технологій штучного інтелекту.

Професійний розвиток STEM-учителя у сфері використання технологій штучного інтелекту тлумачимо як процес формування та розвитку здатності до педагогічно виваженого, методично обґрунтованого й відповідального застосування технологій ШІ для досягнення цілей STEM-навчання.

Розглянемо напрями цього розвитку:

1. *Формування технологічної грамотності щодо інструментів ШІ.* Результатом професійного розвитку вчителя за цим напрямом є знання про генеративні моделі, системи аналізу даних, адаптивні освітні платформи, вміння орієнтуватися в сучасних технологіях ШІ, формулювати запити, порівнювати результати роботи різних сервісів, обґрунтовано обирати оптимальні інструменти для виконання професійних завдань.

2. *Формування розуміння дидактичних аспектів застосування технологій ШІ у STEM-освіті.* Цей напрям професійного розвитку передбачає розуміння впливу технологій ШІ на цілі, зміст, методи, форми та результати навчання. У STEM-освіті дидактичний потенціал ШІ виявляється в багатьох аспектах, зокрема: персоналізація навчання шляхом адаптації завдань до рівня підготовки учнів, темпу їх роботи, типових утруднень; додаткові можливості для наочності, моделювання, візуалізації; допомога в організації дослідницької діяльності тощо. Для педагогічно доцільного використання цих можливостей необхідно розуміти, що не кожна технічна функція є автоматично корисною з дидактичного погляду. Наприклад, швидке генерування готової відповіді може бути доречним для підготовки вчителя до уроку, але недоцільним у роботі з учнями, якщо воно знижує їхню пізнавальну активність.

3. *Розвиток уміння добирати інструменти ШІ для пояснення змісту конкретної STEM-теми.* Це вміння пов'язане з технологічно-предметним знанням і передбачає розуміння зв'язків між змістом навчального матеріалу та функціоналом цифрових технологій, а також здатність враховувати їх під час викладання конкретних тем.

4. *Формування здатності застосовувати технології ШІ під час проблемного, дослідницького та проєктного навчання.* У проблемному навчанні технології ШІ доцільно використовувати для створення проблемної ситуації, формулювання кількох варіантів пояснення, генерування початкових гіпотез, які потребують перевірки, формулювання альтернативних підходів до розв'язання завдання. У дослідницькому навчанні – для аналізу даних, побудови моделей, прогнозування, інтерпретації результатів експериментів, візуалізації залежностей. У проєктному навчанні – для генерації ідей, аналізу потреб, створення прототипів, оптимізації рішень, перевірки окремих параметрів, моделювання функціонування майбутнього продукту. Отже, професійний розвиток вчителя в цьому напрямі передбачає вміння створювати такі навчальні ситуації, в яких технологія ШІ підтримує командну роботу, дослідницьку активність, міждисциплінарну взаємодію, а також доносити до учнів ідею про те, що ШІ – це потужна допоміжна технологія, до застосування якої треба підходити відповідально.

5. *Розвиток уміння проєктувати завдання, у яких ШІ виступає засобом пізнання.* У ТРАСК це вміння формується на перетині компонентів РК, ТРК і ТРАСК, оскільки вчитель має поєднувати знання про когнітивні аспекти навчання, технологічні можливості ШІ та предметний зміст STEM-дисциплін. Він повинен уміти конструювати завдання так, щоб учні взаємодіяли з відповідями ШІ активно: порівнювали варіанти, знаходили помилки, перевіряли припущення, уточнювали запити, добудовували моделі, інтерпретували дані, аргументували власну позицію.

6. *Формування навичок використання ІІІ для моніторингу й оцінювання результатів навчання.* Згідно з сучасними науковими поглядами оцінювання передбачає не лише фіксацію кінцевого результату, а й відстеження динаміки розвитку, виявлення типових труднощів, надання індивідуалізованого зворотного зв'язку. У межах цього напрямку професійного розвитку в учителя має бути сформована здатність використовувати ІІІ для створення варіативних завдань різного рівня складності, рубрик оцінювання, аналізу типових помилок, групування результатів, виявлення закономірностей у виконанні робіт. Відповідно до моделі ТРАСК цей напрям пов'язаний із компонентами ТРК і ТРАСК.

7. *Розроблення власних методичних рішень.* Уміння, сформовані в межах напрямів професійного розвитку, зазначених вище, утворюють основу для формування здатності розробляти власні методичні рішення з використанням доцільних технологій ІІІ, апробувати їх на практиці, аналізувати ефективність та вдосконалювати.

8. *Аналіз ризиків, етичних аспектів і обмежень ІІІ.* Професійна діяльність вчителя завжди пов'язана з високим рівнем відповідальності, оскільки мова йде про формування особистості дитини. Отже, вчитель має розуміти виклики й можливі наслідки застосування технологій ІІІ. Цей напрям професійного розвитку охоплює такі аспекти, як-от: перевірка результатів, наданих ІІІ, співставлення їх з науковими джерелами, виявлення помилок та упереджень; дотримання принципів академічної доброчесності; забезпечення захисту даних і дотримання правил безпечної поведінки в цифровому середовищі; вміння свідомо обмежувати застосування технологій ІІІ в педагогічній діяльності тими напрямами, де це об'єктивно потрібно.

9. *Розвиток рефлексії щодо якості використання ІІІ в освітньому процесі.* У професійній діяльності вчитель має систематично аналізувати, як він використовує технології ІІІ, з якою метою, яких результатів досягає. Така рефлексія охоплює три рівні: технологічний (наскільки вдало було обрано інструмент, чи коректно він використовувався, чи відповідав поставленому завданню); дидактичний (чи сприяло використання ІІІ досягненню навчальної мети); ціннісно-етичний (чи не призвело використання ІІІ до зниження самостійності учнів, чи були дотримані принципи доброчесності та безпеки). Рефлексія відіграє важливу роль в умовах швидкої зміни технологій ІІІ, оскільки дає змогу підтримувати гнучкість, оцінювати нові можливості з урахуванням педагогічної доцільності, коригувати власну діяльність відповідно до змін.

Модель ТРАСК як методологічна основа професійного розвитку STEM-учителів у сфері ІІІ. У процесі професійного розвитку STEM-учителів у сфері використання технологій ІІІ необхідно забезпечити раціональне поєднання предметного, педагогічного та технологічного знання. Для розробки програми розвитку доцільно використовувати модель ТРАСК, сутність якої полягає в такій інтеграції, що робить її придатною для дослідження професійного розвитку STEM-учителів, виявлення наявних проблем і формування шляхів їхнього подолання.

Використання моделі ТРАСК для вирішення цього завдання зумовлено наявністю таких переваг:

- *цілісність:* здатність до використання технологій ІІІ та професійний розвиток STEM-учителів розглядаються як результат поєднання технологічного, педагогічного і предметного знання;
- *інтегративність:* аналіз окремих компонентів компетентності та способів їхнього поєднання;
- *гнучкість:* відсутність жорсткої прив'язки до конкретного набору цифрових інструментів надає вчителю свободу вибору та можливість змінювати його з урахуванням розвитку технологій ІІІ, можливостей доступу до них, об'єктивних обставин освітнього середовища;
- *практична орієнтованість:* модель призначена для розв'язання конкретних педагогічних завдань і проблем, що постають в освітньому процесі; вона допомагає визначити, як використовувати відомі методи навчання й цифрові технології для подолання

нових викликів;

- *визнання безперервності професійного розвитку вчителів*: він розглядається як постійне вдосконалення здатності використовувати цифрові технології в освітньому процесі.

У дослідженні професійного розвитку STEM-учителів модель TRACK виконує такі функції:

1) *Структурувальна*: групування та систематизація професійних характеристик і цифрових навичок учителів, необхідних для ефективного використання технологій III в освітньому процесі.

2) *Аналітична*: виділення окремих аспектів застосування засобів III (джерело інформації, аналіз даних, розроблення методичних матеріалів, індивідуальний супровід учнів тощо), а також причин професійних труднощів (відсутність доступу до інструментів III, недостатність технічних навичок, слабе розуміння доцільності використання III в межах конкретних змістових тем та / або його дидактичного потенціалу тощо).

3) *Інтерпретаційна*: пояснення позитивних і негативних результатів професійного розвитку вчителів через систему взаємозв'язків змістового, педагогічного та технологічного компонентів.

4) *Проектувальна*: визначення компетентностей STEM-учителів, необхідних для застосування технологій III, способів їхнього формування та розвитку.

5) *Прогностична*: прогнозування на індивідуальному та груповому рівнях, які компетентності STEM-учителів та їхні складові потребуватимуть найбільшої уваги в умовах подальшого розвитку III, які заходи потрібні для переходу від використання технологій III для вирішення окремих завдань до їхнього системного впровадження в освітній процес.

Одним із напрямів використання TRACK є діагностика здатності STEM-вчителів до застосування III, спрямована на оцінювання того, наскільки вчитель володіє технологічним знанням про інструменти III, чи розуміє принципи їх функціонування, чи розуміє зв'язок між можливостями III та змістом конкретних тем, чи може використовувати III як засіб навчання для організації дослідницької діяльності здобувачів освіти, створення проблемних ситуацій, надання зворотного зв'язку тощо. Оцінювання цієї здатності здійснюється на рівнях аналізу базових, комбінованих та інтегративного компонентів моделі TRACK. Для такої діагностики доцільно використовувати самооцінювання, анкетування, спостереження за педагогічною діяльністю, аналіз та експертне оцінювання уроків, аналіз рефлексивних записів учителя. За умови цілеспрямованого застосування діагностика дозволяє отримати чіткі критерії для інтерпретації отриманих результатів, зробити докладну характеристику досліджуваної здатності та визначити напрями її подальшого розвитку.

Розроблення програми професійного розвитку STEM-учителів у сфері використання технологій III на основі моделі TRACK передбачає ґрунтовний аналіз кожного з її компонентів. Це дозволяє охопити підвищення кваліфікації шляхом формальної і неформальної освіти, а також інформальне навчання впродовж життя. Наприклад, вивчати нові III інструменти та обирати способи їхнього освітнього використання вчитель може самостійно (інформальне навчання), а поглиблювати теоретичні знання та розвивати здатність чітко визначати їхній дидактичний потенціал шляхом підвищення кваліфікації в системі формальної або неформальної освіти.

Програма професійного розвитку повинна складатися зі взаємопов'язаних блоків: 1) технологічний блок (ознайомлення з інструментами III, принципами їхньої роботи, можливостями та обмеженнями); 2) блок предметно-технологічної інтеграції (визначення способів використання технологій III в межах конкретних STEM-дисциплін); 3) блок педагогічної інтеграції (розвиток здатностей використовувати засоби III під час STEM-навчання). Наприклад, після первинного вивчення нової технології III вчитель прогнозує, в межах яких STEM-тем її доцільно розглядати та які методи навчання для цього можна використати.

Для оцінювання результатів професійного розвитку STEM-учителів у сфері III та визначення змін у структурі їхньої компетентності також можна використовувати модель

ТРАСК. Можна виділити такі критерії оцінювання: 1) розвиток технологічної обізнаності (оволодіння новими інструментами, розуміння їхніх можливостей і обмежень тощо); 2) сформованість здатності обґрунтовано й доцільно поєднувати питання ІІІ зі змістом конкретних STEM-тем; 3) сформованість здатності організовувати роботу учнів із ІІІ так, щоб вона сприяла досягненню очікуваних навчальних результатів, розвитку критичного мислення, дослідницьких умінь, рефлексії, відповідального ставлення до технології; 4) сформованість здатності до педагогічного проектування.

Як і у випадку попереднього діагностування, застосування моделі ТРАСК дозволяє здійснювати оцінювання за чіткими критеріями на основі аналізу портфоліо вчителя, методичних розробок, спостереження за фрагментами занять, самоаналізу, рефлексивних звітів, порівняння вхідних і вихідних діагностичних даних.

Модель програми професійного розвитку STEM-вчителя у сфері використання технологій ІІІ. Як було показано вище, модель ТРАСК має потужний методологічний потенціал для моделювання освітнього процесу.

Розглянемо модель програми професійного розвитку вчителя інформатики профільної школи у сфері використання технологій ІІІ (Рисунок 1). Вона спирається на інтерпретацію компонентів ТРАСК з урахуванням змісту шкільного курсу інформатики профільного рівня, завдань STEM-освіти та можливостей технологій ІІІ. Приклади технологій ІІІ, які доцільно використовувати на кожному рівні моделі, наведено в Таблиці 3.

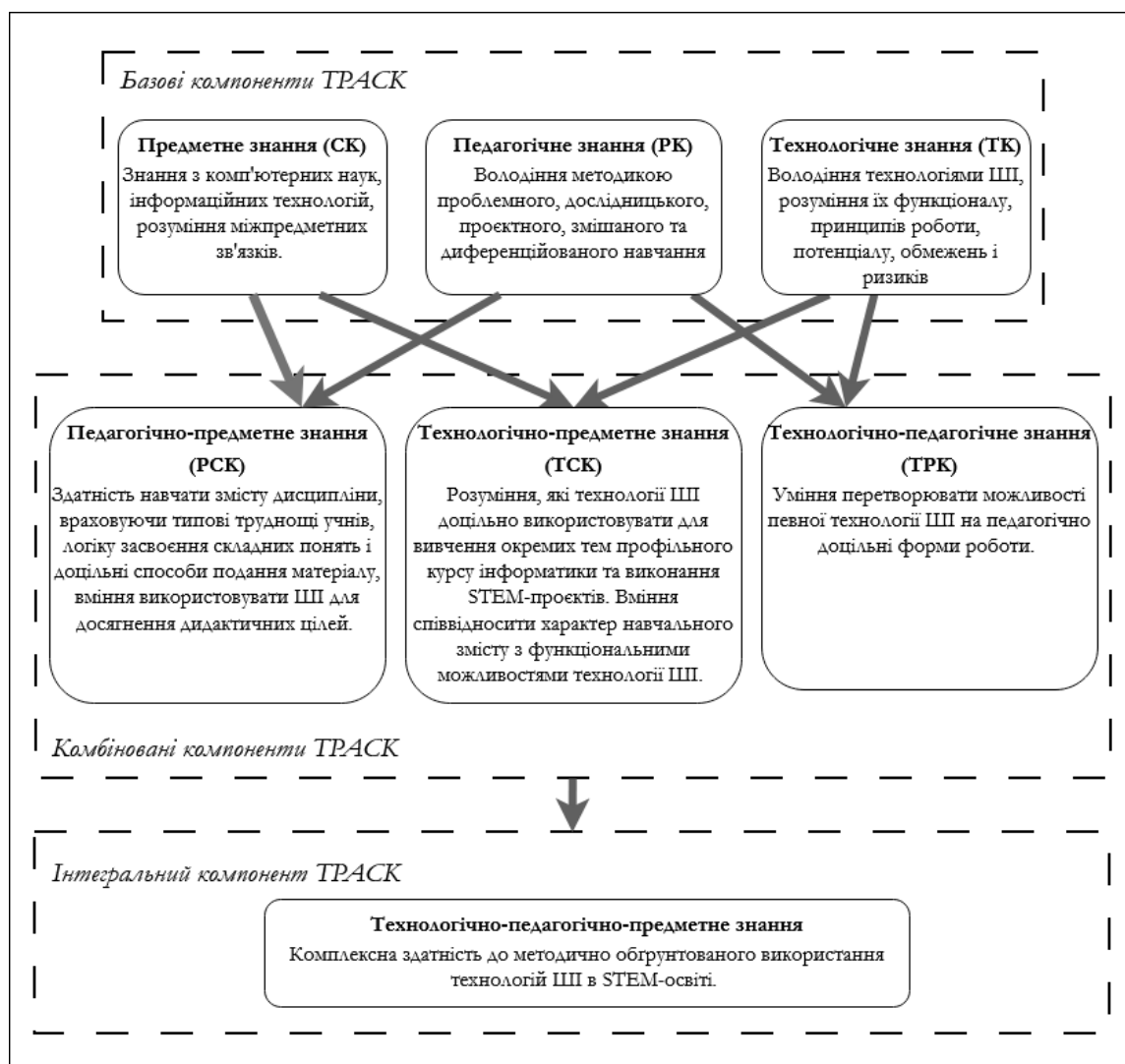


Рисунок 1. Модель програми професійного розвитку вчителя інформатики профільної школи у сфері використання технологій ІІІ

Створено авторами особисто

Перший рівень моделі утворюють базові компоненти ТРАСК:

1. *Предметне знання (СК)*. Цей компонент включає знання алгоритмізації, програмування, структур даних, баз даних, комп'ютерного моделювання, аналізу даних, інформаційних систем, основ кібербезпеки, базових принципів машинного навчання й штучного інтелекту, а також розуміння міжпредметних зв'язків з іншими дисциплінами.

2. *Педагогічне знання (ПК)*. Він охоплює розуміння закономірностей навчання, методів, форм і прийомів організації освітнього процесу, що відповідають профільному навчанню інформатики та реалізації STEM-підходу. Для вчителя інформатики це означає володіння методикою проблемного, дослідницького, проєктного, змішаного та диференційованого навчання. Розвиток ПК передбачає формування здатності бачити в ШІ не лише технічний інструмент, а й дидактичний ресурс. Відповідно, на цьому рівні доцільно розглядати адаптивні освітні платформи, інтелектуальних тьюторів, системи формувального оцінювання, аналітичні сервіси навчальних даних та генеративні моделі для створення дидактичних матеріалів.

3. *Технологічне знання (ТК)*. Його зміст пов'язаний із володінням технологіями ШІ, розумінням їх функціоналу, принципів роботи, потенціалу, обмежень і ризиків. Для вчителя інформатики профільної школи цей компонент має фундаментальне значення, оскільки цифрові технології є змістовим ядром самої дисципліни. Технологічна грамотність включає знання про генеративні мовні моделі, ШІ асистенти для кодування, системи аналізу даних, інструменти візуалізації, середовища створення симуляцій, сервіси розпізнавання тексту, мовлення й зображень, а також технології, що можуть бути використані в проєктах з робототехніки.

Другий рівень моделі утворюють комбіновані компоненти ТРАСК:

1. *Педагогічно-предметне знання (РСК)*. Цей компонент включає здатність учителя інформатики навчати змісту дисципліни, враховуючи типові труднощі учнів, логіку засвоєння складних понять і доцільні способи подання матеріалу, вміння використовувати ШІ для створення варіативних пояснень, аналогій, прикладів, тренувальних завдань, покрокових інструкцій, а також для аналізу типових помилок учнів.

2. *Технологічно-предметне знання (ТСК)*. Цей компонент відображує розуміння, які технології ШІ доцільно використовувати для вивчення окремих тем профільного курсу інформатики та виконання STEM-проєктів. Учитель має вміти співвідносити характер навчального змісту з функціональними можливостями технології. Наприклад, для тем з програмування доцільними можуть бути ШІ-асистенти з кодування, для аналізу даних – платформи інтелектуальної аналітики, для ознайомлення з машинним навчанням – навчальні середовища на кшталт Teachable Machine, для виконання STEM-проєктів з робототехніки або екологічного моніторингу – системи комп'ютерного бачення, сервіси розпізнавання образів або інструменти роботи з сенсорами.

3. *Технологічно-педагогічне знання (ТПК)*. Цей компонент передбачає, що вчитель інформатики повинен уміти перетворювати можливості певної технології на педагогічно доцільні форми роботи, використовуючи ШІ для створення проблемних ситуацій, підтримки дослідницької діяльності, формувального оцінювання, індивідуалізації завдань, стимулювання рефлексії, аналізу типових утруднень і супроводу проєктної роботи тощо.

Третій рівень моделі утворює інтегральний компонент ТРАСК – комплексна здатність учителя інформатики профільної школи до методично обґрунтованого використання технологій ШІ в STEM-освіті, вміння створювати навчальні модулі, в межах яких учні працюють з даними, аналізують моделі, програмують, використовують інтелектуальні системи для дослідження, розробляють цифрові продукти, критично оцінюють результати, отримані з використанням ШІ, та осмислюють їхні етичні й соціальні наслідки.

Таблиця 3

Приклади технологій ШІ для програми професійного розвитку вчителя інформатики профільної школи

Компонент ТРАСК	Технології ШІ та їх призначення
СК Предметне знання	<ul style="list-style-type: none"> - ChatGPT, Claude, Gemini для генерації пояснень, перевірки фактів, дослідження міждисциплінарних зв'язків; - Wolfram Alpha з AI для опрацювання математичних і природничо-наукових концепцій; - Google NotebookLM для опрацювання наукових джерел, синтезу знань на основі завантажених документів; - Perplexity AI для пошуку актуальних наукових даних із посиланнями на джерела
ПК Педагогічне знання	<ul style="list-style-type: none"> - MagicSchool AI, Eduaide.AI, Gradescope, Wayground AI для створення диференційованих завдань, рубрик оцінювання, планів STEM-уроків; - Khanmigo (Khan Academy) для дослідження прикладів адаптивного навчання та педагогічного скаффолдингу; - Twee, Diffit – для автоматичної адаптації навчальних текстів до рівня учнів
ТК Технологічне знання	<ul style="list-style-type: none"> - Google AI Studio, OpenAI Playground для практичного освоєння API, інженерії створення запитів та принципів роботи LLM; - Teachable Machine (Google), TensorBoard для створення моделей машинного навчання без кодування; - GitHub Copilot, Gemini Code Assist для навчання програмування з використанням ШІ-асистентів; - Lovable для розробки вебзастосунків та сайтів без кодування; - Runway ML, ElevenLabs, HeyGen, Canva AI, Midjourney для створення мультимедійної інформації – генерування реалістичного людського мовлення, відео, зображень, анімацій тощо; - Google Lens, Google Cloud Vision AI для аналізу зображень та відео з автоматичним розпізнаванням об'єктів, тексту, облич тощо
РСК Педагогічно- предметне знання	<ul style="list-style-type: none"> - ChatGPT, Claude для розроблення покрокових пояснень, аналогій, сценаріїв сократівських діалогів для вивчення складних STEM-понять; - Mentimeter AI, Poll Everywhere для виявлення помилкових розумінь учнів через інтерактивне опитування з ШІ-аналізом відповідей; - Curipod для створення планів інтерактивних уроків із запитаннями для виявлення прогалів у знаннях
ТСК Технологічно- предметне знання	<ul style="list-style-type: none"> - Google Vertex AI, H2O.ai для демонстрації повного циклу проекту з машинного навчання на реальних STEM-даних без глибокого кодування; - Jupyter AI, Google Colab для аналізу даних у процесі моделювання наукових задач з використанням Python; - PhET Simulations для вивчення природничо-математичних наук та наук про Землю із ШІ-інтерпретацією отриманих результатів; - MATLAB AI, GeoGebra AI для математичного моделювання і геометричних досліджень
ТРК Технологічно- педагогічне	<ul style="list-style-type: none"> - Socrative, Formative для формувального оцінювання з ШІ-аналізом результатів; - Canva AI, Beautiful.ai для створення навчальних матеріалів,

знання	інфографіки, презентацій; - Turnitin AI Detection, GPTZero для підтримки академічної доброчесності в умовах поширення ШІ; - Microsoft Copilot в Teams для організації колаборативного навчання, автоматичного резюмування обговорень
ТРАСК Технологічно-педагогічно-предметне знання	- Scratch ML, Machine Learning for Kids для проєктування уроків із розробки ШІ-додатків учнями на основі реальних STEM-задач; - AI4K12 Curriculum для комплексного впровадження ШІ-грамотності в курс інформатики профільної школи; - Notion AI для керування знаннями, ведення рефлексивного щоденника вчителя, накопичення практичних кейсів

Розроблено авторами особисто

Розроблена модель відображує логіку професійного розвитку вчителя інформатики – послідовний рух від опанування окремих технологій ШІ до їхнього предметного осмислення, далі до педагогічної інтеграції й у результаті до цілісного проєктування STEM-навчання (Рисунок 2). Така послідовність дозволяє уникнути ситуації, коли вчитель ознайомлюється з великою кількістю інструментів ШІ, але не розуміє, як саме вони пов'язані зі змістом навчання та педагогічною метою.



Рисунок 2. Логіка професійного розвитку вчителя інформатики у сфері використання технологій ШІ

Створено авторами особисто з використанням Google NotebookLM

Модель має практико-орієнтований характер і може бути використана як основа для розроблення навчальних модулів, тренінгів, програм додаткової педагогічної освіти, індивідуальних програм професійного розвитку, критеріїв діагностики здатності вчителя до застосування ШІ, засобів самооцінювання та професійної рефлексії тощо. Наприклад, на основі діагностики рівня ознайомлення вчителя з технологіями ШІ можна обрати із загального переліку, наведеного в Таблиці 3, потрібні для вивчення.

Отже, запропонована модель представляє професійний розвиток вчителя інформатики у сфері використання технологій штучного інтелекту як цілісний, структурований і поетапний процес, що дозволяє забезпечити перехід від використання окремих цифрових сервісів до здійснення STEM-освіти в умовах впровадження штучного інтелекту.

ВИСНОВКИ

Професійний розвиток STEM-учителів у сфері використання технологій штучного інтелекту є одним із важливих напрямів їхнього безперервного професійного розвитку, що

зумовлено інтенсивним розвитком ІІІ, його впливом на зміст STEM-освіти, вимоги до професійної компетентності педагогів та освітній процес загалом. Цей розвиток включає такі напрями: формування технологічної грамотності щодо інструментів ІІІ; формування розуміння дидактичних аспектів застосування технологій ІІІ в STEM-освіті; розвиток уміння добирати інструменти ІІІ для пояснення змісту конкретної STEM-теми; формування здатності застосовувати технології ІІІ під час проблемного, дослідницького та проектного навчання; розвиток уміння проектувати завдання, у яких ІІІ виступає засобом пізнання; формування навичок використання ІІІ для моніторингу й оцінювання результатів навчання; розроблення власних методичних рішень; аналіз ризиків, етичних аспектів і обмежень ІІІ; розвиток рефлексії щодо якості використання ІІІ в освітньому процесі.

Методологічною основою для моделювання програми професійного розвитку STEM-учителів у сфері використання ІІІ обрано модель ТРАСК, яка забезпечує поєднання предметного, педагогічного й технологічного знання. Зміст компонентів ТРАСК уточнено з урахуванням специфіки застосування ІІІ в STEM-освіті, зокрема, технологічне знання розглядається як володіння інструментами ІІІ та розуміння їхніх можливостей і обмежень; предметне – як здатність осмислювати зміст STEM-дисциплін з урахуванням впливу ІІІ; педагогічне – як уміння добирати доцільні методи навчання. Розроблена модель відображає рух від опанування окремих інструментів ІІІ до їхнього предметного осмислення, педагогічної інтеграції та цілісного проектування STEM-навчання. Практичне значення запропонованої моделі полягає в тому, що вона може бути використана для розроблення навчальних модулів, програм підвищення кваліфікації, індивідуальних траєкторій професійного розвитку STEM-учителів, критеріїв діагностики здатності педагогів застосовувати технології ІІІ.

Подальші дослідження спрямовані на експериментальну перевірку ефективності запропонованої моделі, розроблення діагностичного інструментарію та конкретизацію змісту навчальних модулів для різних категорій STEM-учителів.

Список використаних джерел

1. Воротникова І. П., Захар, О. Г. Професійний розвиток вчителів інформатики з використання штучного інтелекту на основі самооцінювання ІІІ компетентності. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2025. № 19. С. 31–45. DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2025.193>
2. Загоруйко Л. Особливості системи професійного розвитку вчителів у Фінляндії. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2023. № 10 (134). С. 315–324. DOI: <https://doi.org/10.24139/2312-5993/2023.10/315-324>
3. Захар О. Уплив інструментів штучного інтелекту на професійний розвиток педагогів. *Вересень*. 2024. Т. 3. № 102. С. 102–114. DOI: <https://doi.org/10.54662/veresen.3.2024.09>
4. Квас О. Неперервність професійно-особистісного розвитку вчителя в умовах дистанційного навчання. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2023. Вип. 66. Т. 2. С. 209–213. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4863/66-2-32>
5. Коваленко В., Мар'єнко М., Шишкіна М., Яцишин А. Використання засобів штучного інтелекту для професійного розвитку педагогічних кадрів. *Освітологічний дискурс*. 2025. Т. 49. № 2. С. 24–34. DOI: <https://doi.org/10.28925/2312-5829/2025.2.3>
6. Мар'єнко М. В. Методика добору сервісів штучного інтелекту на базі каталогу Aixplogia для професійного розвитку вчителів. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2025. № 217. С. 142–146. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-217-142-146>
7. Мешко Г., Мешко О. Управління професійним розвитком учителів у закладі загальної середньої освіти. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2025. № 1 (52). С. 110–114. DOI: <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2023.52.110-114>
8. Олексенко С., Хоменко О. Мотивація професійного розвитку вчителів під час війни в Україні. *SWorldJournal*. 2024. № 26-02. С. 108–115. DOI: <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-26-00-005>
9. Фрицюк В., Швець О. Неперервний професійний розвиток педагога: зарубіжний досвід.

Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми. 2025. Т. 75. С. 150–161. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2025-75-150-161>

10. Хоменко Л. Професійний розвиток вчителя-предметника в умовах цифрової трансформації освіти. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка*. 2023. № 1. С. 111–119. DOI: <https://doi.org/10.25128/2415-3605.23.1.14>

11. Черновол-Ткаченко Р. Професійний розвиток вчителя в умовах динамічних змін у суспільстві в системі післядипломної освіти. *Новий Колегіум*. 2024. Т. 4. С. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.34142/nc.2024.4.99>

12. Шабала Ю.А. Щоденник індивідуальної траєкторії професійного розвитку педагогічних працівників: сутність, структура, зміст. *Інноваційна педагогіка*. 2024. № 73. С. 228–233. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-6085/2024/73.43>

13. An H., Sung W. (Eds.). *Designing Online Continuing Professional Development for STEM Teacher Education: Models, Strategies, and Practices* (1st ed.). London: Routledge, 2026. 238 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781003530343>

14. Angeli C., Valanides N. Epistemological and methodological issues for the conceptualization, development, and assessment of ICT–TPCK: Advances in technological pedagogical content knowledge (TPCK). *Computers Education*. 2009. Vol. 52. Issue 1. P. 154–168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.07.006>

15. Demmler K., Friesen M., Holzäpfel L., Leuders T., Dreher A. Cognitive and behavioral engagement in online teacher professional development: The role of teacher characteristics and learning opportunities. *Teaching and Teacher Education*. 2026. Vol. 176. Art. 105505. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tate.2026.105505>

16. Gui Q., Omar M. K., Harithuddin A. S. M. Teachers' professional development on self-efficacy, attitudes, and digital competencies in the digital era. *Acta Psychologica*. 2026. Vol. 265. Art. 106683. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2026.106683>

17. Herold-Blasius R., Gruhn K., Kleinschmidt V., Thurm D., Tusche C. Fostering Knowledge Facets of the TPACK Framework Through Designing Digital Mathematical Escape Games – A Qualitative Content Analysis of Pre-Service Teachers' Self-Reported Learnings and Challenges. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2026. Vol. 24. Art. 12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10763-025-10625-z>

18. Koehler M. J., Mishra P. What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*. 2009. Vol. 9 (1). P. 60–70. URL: <https://citejournal.org/volume-9/issue-1-09/general/what-is-technological-pedagogical-content-knowledge/> (дата звернення: 1.05.2026).

19. Miao F., Cukurova M. AI competency framework for teachers. Paris: UNESCO, 2024. 52 p. DOI: <https://doi.org/10.54675/ZJTE2084>

20. Mishra P., Warr M. Contextualizing TPACK within systems and cultures of practice. *Computers in Human Behavior*. 2021. Vol. 117. Art. 106673. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106673>

21. Nguyen D. T., Nguyen H. V., Nguyen T. T. T. Understanding Undergraduate Students' Experiences in Blended Learning through the Integration of Two-Factor Theory and the TPACK Framework. *Trends in Higher Education*. 2026. Vol. 5 (1). Art. 11. DOI: <https://doi.org/10.3390/higheredu5010011>

22. Petko D., Mishra P., Koehler M. J. TPACK in context: An updated model. *Computers and Education Open*. 2025. Vol. 8. Art. 100244. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2025.100244>

23. Rehman N., Huang X., Mahmood A., Zafeer H. M. I., Mohammad N. K. Emerging trends and effective strategies in STEM teacher professional development: A systematic review. *Humanities And Social Sciences Communications*. 2025. Vol. 12. Art. 32. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-024-04272-y>

24. Sahrudin A., Pamungkas A. S., Pagiling S. L., Rosdianwinata E. Integration of abstraction theory and TPACK framework in geometry learning to optimize prospective mathematics teachers' spatial abilities. *Infinity Journal*. 2025. Vol. 14 (4). P. 899–918. DOI: <https://doi.org/10.22460/infinity.v14i4.p899-918>

25. Shapira N., Amzalag M. A teacher professional development program for online learning in times of crisis. *Teacher Development*. 2026. Vol. 30 (1). P. 188–210. DOI: <https://doi.org/10.1080/13664530.2025.2496441>

References

- Vorotnykova, I. P., Zakhar, O. H. (2025). Profesiiniyi rozvytok vchyteliv informatyky z vykorystannia shtuchnoho intelektu na osnovi samoosiniuvannia ShI kompetentnosti [Professional development of informatics teachers using artificial intelligence based on self-assessment of AI competence]. *Open educational e-environment of modern university*, 19, 31–45. <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2025.193>
- Zagoruiko, L. (2023). Osoblyvosti systemy profesiinoho rozvytku vchyteliv u Finliandii [Peculiarities of the Teacher Professional Development System in Finland]. *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnologii*, 10 (134), 315–324. <https://doi.org/10.24139/2312-5993/2023.10/315-324>
- Zakhar, O. (2024). Uplyv instrumentiv shtuchnoho intelektu na profesiiniyi rozvytok pedahohiv [The artificial intelligence instruments influence on the professional development of pedagogical workers]. *Veresen*, 3 (102), 102–114. <https://doi.org/10.54662/veresen.3.2024.09>
- Kvas, O. (2023). Neperervnist profesiino-osobystisnoho rozvytku vchytelia v umovakh dystantsiinoho navchannia [The continuity of the teacher's professional and personal development in the conditions of distance education]. *Current Issues of the Humanities*, 66 (2), 209–213. <https://doi.org/10.24919/2308-4863/66-2-32>
- Kovalenko, V., Marienko, M., Shyshkina, M., Yatsyshyn, A. (2025). Vykorystannia zasobiv shtuchnoho intelektu dlia profesiinoho rozvytku pedahohichnykh kadriv [Using Artificial Intelligence Tools for the Professional Development of Teaching Staf]. *Educological discourse*, 49 (2), 24–34. <https://doi.org/10.28925/2312-5829/2025.2.3>
- Marienko, M. V. (2025c). Metodyka doboru servisiv shtuchnoho intelektu na bazi katalohu Aixploria dlia profesiinoho rozvytku vchyteliv [Methodology for Selecting Artificial Intelligence Services Based on the Aixploria Catalog for Professional Development of Teachers]. *Scientific notes. Series: Pedagogical Sciences*, 217, 142–146. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-217-142-146>
- Meshko, H., Meshko, O. (2025). Upravlinnia profesiinym rozvytkom uchyteliv u zakladi zahalnoi srednoi osvity [Management of professional development of teachers in an institution of general secondary education]. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Pedagogy. Social Work*, 1 (52), 110–114. <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2023.52.110-114>
- Oleksenko, S., Khomenko, O. (2024). Motyvatsiia profesiinoho rozvytku vchyteliv pid chas viiny v Ukraini [Motivation of the professional development of teachers during the war in Ukraine]. *SWorldJournal*, 26-02, 108–115. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-26-00-005>
- Frytsiuk, V., Shwets, O. (2025). Neperervnyi profesiiniyi rozvytok pedahoha: zarubizhnyi dosvid [Continuous professional development of teachers: foreign experience]. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 75, 150–161. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2025-75-150-161>
- Khomenko, L. (2023). Profesiiniyi rozvytok vchytelia-predmetnyka v umovakh tsyfrovoi transformatsii osvity [Professional development of subject teachers in the context of digital transformation of education]. *The Scientific Issues of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: pedagogy*, 1. 111–119. <https://doi.org/10.25128/2415-3605.23.1.14>
- Chernovol-Tkachenko, R. (2024). Profesiiniyi rozvytok vchytelia v umovakh dynamichnykh zmin u suspilstvi v systemi pisliadyplomnoi osvity [Professional development of a teacher in the context of dynamic changes in society system of postgraduate education]. *New Collegium*, 4, 99–106. <https://doi.org/10.34142/nc.2024.4.99>
- Shabala, Yu. A. (2024). Shchodennyk individualnoi traiektorii profesiinoho rozvytku pedahohichnykh pratsivnykiv: sutnist, struktura, zmist [Diary of the individual trajectory of the professional development of teachers: essence, structure, content]. *Innovative pedagogy*, 73, 228–233. <https://doi.org/10.32782/2663-6085/2024/73.43>
- An, H., Sung, W. (Eds.). (2026). *Designing online continuing professional development for STEM teacher education: Models, strategies, and practices* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003530343>
- Angeli, C., Valanides, N. (2009). Epistemological and methodological issues for the conceptualization, development, and assessment of ICT–TPCK: Advances in technological pedagogical content knowledge (TPCK). *Computers Education*, 52 (1), 154–168. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.07.006>

- Demmler, K., Friesen, M., Holzäpfel, L., Leuders, T., Dreher, A. (2026). Cognitive and behavioral engagement in online teacher professional development: The role of teacher characteristics and learning opportunities. *Teaching and Teacher Education*, 176, 105505. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2026.105505>
- Gui, Q., Omar, M. K., Harithuddin, A. S. M. (2026). Teachers' professional development on self-efficacy, attitudes, and digital competencies in the digital era. *Acta Psychologica*, 265, 106683. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2026.106683>
- Herold-Blasius, R., Gruhn, K., Kleinschmidt, V., Thurm, D., Tusche, C. F. (2026). Fostering knowledge facets of the TPACK framework through designing digital mathematical escape games: A qualitative content analysis of pre-service teachers' self-reported learnings and challenges. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 24, 12. <https://doi.org/10.1007/s10763-025-10625-z>
- Koehler, M. J., Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9 (1), 60–70. <https://citejournal.org/volume-9/issue-1-09/general/what-is-technological-pedagogical-content-knowledge/>
- Miao, F., Cukurova, M. (2024). *AI competency framework for teachers*. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/ZJTE2084>
- Mishra, P., Warr, M. (2021). Contextualizing TPACK within systems and cultures of practice. *Computers in Human Behavior*, 117, 106673. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106673>
- Nguyen, D. T., Nguyen, H. V., Nguyen, T. T. T. (2026). Understanding undergraduate students' experiences in blended learning through the integration of two-factor theory and the TPACK framework. *Trends in Higher Education*, 5 (1), 11. <https://doi.org/10.3390/higheredu5010011>
- Petko, D., Mishra, P., Koehler, M. J. (2025). TPACK in context: An updated model. *Computers and Education Open*, 8, 100244. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2025.100244>
- Rehman, N., Huang, X., Mahmood, A., Zafeer, H. M. I., Mohammad, N. K. (2025). Emerging trends and effective strategies in STEM teacher professional development: A systematic review. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, 32. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-04272-y>
- Sahrudin, A., Pamungkas, A. S., Pagiling, S. L., Rosdianwinata, E. (2025). Integration of abstraction theory and TPACK framework in geometry learning to optimize prospective mathematics teachers' spatial abilities. *Infinity Journal*, 14 (4), 899–918. <https://doi.org/10.22460/infinity.v14i4.p899-918>
- Shapira, N., Amzalag, M. (2026). A teacher professional development program for online learning in times of crisis. *Teacher Development*, 30 (1), 188–210. <https://doi.org/10.1080/13664530.2025.2496441>

Стаття надійшла до редакції 6.05.2026

Прийнято до друку 18.06.2026

Опубліковано 24.06.2026

MODELING OF A STEM TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT PROGRAM IN THE FIELD OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES BASED ON TPACK METHODOLOGY

Viacheslav Osadchyi

<https://orcid.org/0000-0001-5659-4774>

Doctor of Sciences in Pedagogy, Professor,
Correspondent member Academy of Educational Sciences of Ukraine,
Dean of the Faculty of Economics and Management,
Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University,
Leading Researcher, Department of Cloud-Oriented
Systems and Artificial Intelligence in Education,
Institute for Digitalisation of Education,
National Academy of Educational Sciences of Ukraine,
13-b Levko Lukianenko Str., 04207 Kyiv, Ukraine
v.osadchyi@kubg.edu.ua

Iryna Krasheninnik

<https://orcid.org/0000-0001-6689-3209>

PhD in Education, Associate Professor,

Head of the Department of Informatics and Cybernetics,

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University,

59 Naukove Mistechko Str., 69000, Zaporizhzhia, Ukraine

irina_kr@mdpu.org.ua

The article substantiates the relevance of modeling a professional development program for STEM teachers in the field of using artificial intelligence technologies based on the TPACK methodology. The purpose of the study is to develop a model of a professional development program for STEM teachers that ensure pedagogically appropriate, methodically justified and responsible use of AI technologies in STEM education. In the process of the study, an analysis of scientific sources on the problems of professional development of teachers, the use of AI in pedagogical activities and the application of the TPACK model was performed; systematization and generalization of theoretical provisions; modeling to determine the structure of the professional development program; specification of TPACK components taking into account the specifics of STEM education and the capabilities of AI technologies. The content of TPACK components in the context of using AI was specified: subject knowledge was considered as understanding the content of STEM disciplines and the scientific principles of AI; pedagogical knowledge – as mastery of didactic approaches to the use of AI in the educational process; technological knowledge – as the ability to use AI tools, understand their capabilities, limitations and risks. The directions of professional development of STEM teachers are determined, in particular, the formation of technological literacy, the development of skills to select AI tools to explain the content of STEM topics, to organize problem-based, research and project-based learning with the use of AI, to use it for assessment and development of methodological solutions. The proposed model reflects a consistent movement from mastering individual AI technologies to the holistic design of STEM education. It is concluded that the TPACK methodology is a productive basis for creating professional development programs for STEM teachers, as it ensures the coordination of content, pedagogical and technological aspects of the use of AI and can be adapted to different contexts.

Keywords: artificial intelligence technologies, continuous professional development of teachers, STEM education, teacher competence in artificial intelligence, TPACK components.