

DOI: <https://doi.org/10.28925/2412-0774.2025.4.9>

УДК 378.046-021.68].091.3:004:51

Ірина Воротникова<https://orcid.org/0000-0003-1211-8885>

кандидат педагогічних наук, доцент,
завідувач кафедри природничо-математичної освіти і технологій
Інституту післядипломної освіти,
Київський столичний університет імені Бориса Грінченка,
проспект П. Тичини 22 а, 02102, Київ, Україна,
i.vorotnykova@kubg.edu.ua

МЕТОДИЧНА СИСТЕМА ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРОФЕСІЙНОГО РОЗВИТКУ ВЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧОЇ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ ГАЛУЗЕЙ У ПІСЛЯДИПЛОМНІЙ ОСВІТІ

Зміст статті присвячено обґрунтуванню методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку вчителів природничої та математичної галузей на основі синтезу положень цифрової педагогіки, андрагогіки, компетентнісного та системно-діяльнісного підходів. Актуальність дослідження зумовлена нагальною потребою модернізації післядипломної педагогічної освіти в умовах цифрової трансформації, воєнних викликів. У статті проаналізовано сучасні наукові дослідження із цифрової трансформації професійного розвитку педагогів та визначено ключові тенденції змін у структурі, змісті й технологічному забезпеченні підвищення кваліфікації вчителів природничо-математичної галузей. На основі узагальнення міжнародних і національних підходів визначено мету, завдання, структуру та зміст методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку вчителів природничої та математичної галузей. Методична система цифрової трансформації професійного розвитку створена на основі запитів суспільства і вчителя та містить концептуальний, структурно-функціональний, ресурсний, технологічний, організаційно-методичний та моніторингово-оцінювальний компоненти. Запропонована методична система відображає циклічність професійного розвитку вчителя та його потреби і забезпечує його персоналізацію. Важливою складовою запропонованої системи є інтеграція технологій, симуляторів, аналітики даних, штучного інтелекту в інформаційно-освітньому середовищі. У висновках обґрунтовано наукову цінність методичної системи та окреслено перспективи її емпіричної перевірки. Запропонована методична система має забезпечити формування цифрової та професійної компетентностей вчителя, підвищення якості природничо-математичної освіти та узгоджується з вимогами професійного стандарту вчителя. Результати дослідження можуть бути використані для проєктування програм підвищення кваліфікації, модернізації післядипломної освіти та побудови цифрових освітніх екосистем.

Ключові слова: цифрова трансформація, професійний розвиток вчителів, природничо-математична освіта, підвищення кваліфікації, післядипломна педагогічна освіта.

ВСТУП

Цифрова трансформація післядипломної педагогічної освіти вчителів природничої та математичної галузей є обов'язковою умовою збереження якості освіти в умовах війни, післявоєнного відновлення та переходу до цифрового суспільства. Інтеграція штучного інтелекту (надалі ШІ), віртуальних та змішаних навчальних середовищ, використання аналітики навчання в післядипломній природничо-математичній освіті вимагає не лише оновлення окремих навчальних курсів або програм, а й побудови цілісної моделі цифрової трансформації природничо-математичної післядипломної педагогічної освіти та відповідної методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку, яка поєднує технологічні інновації з предметно-орієнтованою методикою і форматами професійного

розвитку, забезпечуючи персоналізоване навчання, обмін досвідом у сучасному цифровому інформаційно-освітньому середовищі.

Цифрова трансформація є багатовимірним процесом, що має інтегрувати різноманітні моделі впровадження цифрових технологій, наприклад, модель SAMR (заміщення (Substitution), доповнення (Augmentation), модифікація (Modification), переосмислення (Redefinition), TPACK (технологічно-педагогічні предметні знання, Technological Pedagogical Content Knowledge), Європейські рамки цифрової компетентності громадян DigComp 3.0 і педагогів DigCompEdu (Cosgrove, Cachia, 2025; European Commission, JRC, 2017) та використовувати підходи дослідницького та проблемно-орієнтованого навчання, віртуальні середовища та подолати бар'єри інституційної готовності, опір змінам і дефіцит адаптації та апробації моделей в післядипломній педагогічній освіті.

Цифрова трансформація освіти змінює функції педагога і потребує оновлення професійних компетентностей вчителів та вимагає нової системи післядипломного педагогічного розвитку (Биков, 2020).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження підтверджують, що цифрова трансформація освіти є не просто технологічним оновленням, а системним перетворенням моделей навчання, управління та професійного розвитку. Цифровізація та цифрова трансформація освіти вимагає, окрім технічних ресурсів, ще й високої цифрової компетентності учасників освітнього процесу (OECD, 2017; OECD, 2022). Більшість досліджень присвячено цифровій трансформації вищої освіти, яка ґрунтується на аналітиці даних, цифрових процесах і перерозподілі ролей викладача, що може стати основою і для модернізації післядипломної освіти (Alshammari, 2023). Цифрова освіта потребує оновлених або нових моделей професійного розвитку на основі даних і цифрових технологій (Alshammari, 2023). Цифрова трансформація професійного розвитку вчителів неможлива без використання інструментів аналітики опитувань вчителів, прогнозування їх потреб та цифрової компетентності (Bethencourt-Aguilar et al., 2021).

Систематичний огляд досліджень про Освіту 4.0 демонструє зацікавленість освітян у швидкому впровадженні мобільних та імерсивних, інтелектуальних технологій педагогами, що вимагає розроблення або оновлення методичних систем (Mukul & Büyüközkan, 2023). Цифрова трансформація змінює педагогічні моделі, структуру освітнього процесу та потребує нових компетентностей вчителя та оновлені форми їх професійного розвитку (Liu, 2023).

Підвищення кваліфікації вчителів природничої і математичної галузей в умовах стрімкого розвитку цифрових технологій та ШІ неможлива без інтеграції андрагогічного та компетентнісного підходів і реалізації методу Колба, а також підходів інтеграції в освіту цифрових технологій (SAMR, TPACK) та STEM, проблемно-орієнтованого (PBL), на основі запитів (IBL) та STEM-підходів з використанням віртуальних освітніх середовищ, мобільних та інтерактивних технологій у професійний розвиток майбутніх і діючих викладачів. Більшість публікацій присвячено професійного розвитку вчителів на основі інтеграції моделей TPACK і європейських рамок цифрової компетентності як громадян (DigComp 3.0), так і вчителів (DigCompEdu) (Cosgrove, Cachia, 2025; Meletiou-Mavrotheris, Paparistodemou, 2024; Ghomi, Pinkwart, 2020; Azimkhan et al., 2025; Liu et al., 2024).

Професійна готовність учителя природничо-математичної галузі має формуватися через дослідницькі, експериментальні та моделювальні методи, що відображено в методах AR/VR, дистанційних лабораторій і симуляцій (Валько, 2020). Цифровізація трансформує підготовку та підвищення кваліфікації педагогів, зокрема в компоненті «цифрової педагогіки» та формує важливість інформаційно-освітніх середовищ (Биков, 2019). Інформаційно-освітнє середовище є платформою та інфраструктурою для цифрової трансформації освіти (Биков, 2019; 2021).

Теоретико-методичним засадам цифровізації й цифрової трансформації освіти присвячено роботи науковців Інституту цифровізації НАПН України (В. Биков, О. Спірін, О. Пінчук, С. Литвинова, М. Шишкіна, О. Овчарук). В. Кремень, С. Литвинова, О. Ляшенко

та ін. (2022) підтверджують, що цифровізація освіти неможлива без створення інформаційно-освітніх середовищ, систем підтримки дистанційного навчання та хмарних сервісів (В. Кремень, С. Литвинова, О. Ляшенко та ін., 2022). Розвиток природничо-математичної освіти в умовах цифрової трансформації та розвитку STEM для забезпечення якості, висвітлений Л. Гриневич, Н. Морзе, М. Бойко, О. Барною, потребує уточнення як нових форм цифрової педагогіки з використанням ШІ.

В. Биков визначає цифрове інформаційно-освітнє середовище як системоутворювальний чинник розвитку педагогів і основу для цифрової трансформації післядипломної освіти (Биков, 2021; Биков, Яцишин, 2019). Дослідження науковців Інституту цифровізації НАПН України В. Бикова, О. Спіріна та О. Пінчук (2020) доводять, що цифрова трансформація освіти передбачає оновлення функцій учителя і неможлива без системних програм його професійного розвитку. Учителі шкіл після карантинних обмежень і в умовах воєнного стану активно використовують цифрові інструменти, але їх цифрова компетентність потребує постійного розвитку, а наявні моделі підвищення кваліфікації не відповідають сучасним викликам цифрової трансформації (Ovcharuk et al., 2022). Якість викладання природничо-математичних дисциплін залежить від цифрової компетентності педагога, доступу до цифрових ресурсів та здатності працювати з даними (Vorotnykova, Morze, Hrynevych, 2023).

Цифрове середовище післядипломної освіти є основною платформою для професійного розвитку, тому використання систем управління навчанням (LMS), аналітичних систем і персоналізованих траєкторій є основою для нових моделей професійного розвитку (Liu, 2023). Огляд досліджень ефективного професійного розвитку вчителів (Darling-Hammond et al., 2017) підтверджує, що професійний розвиток має бути: персоналізованим, безперервним, практикоорієнтованим, технологічно підсиленим та побудованим на аналізі даних. Впровадження ШІ радикально змінює освітні процеси та вимоги до цифрових компетентностей педагога, що потребує створення нової інфраструктури професійного розвитку (Zarifis, Efthymiou, 2022).

На підставі аналізу літератури можна визначити ключові аргументи, що пояснюють необхідність створення методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку вчителів природничої та математичної галузей у післядипломній освіті: зміна професійної ролі педагога в умовах цифрової трансформації, яка оновлює вимоги до діяльності вчителя – від традиційного транслятора знань він переходить до ролі фасилітатора, аналітика даних, дизайнера цифрових освітніх середовищ (Alshammari, 2023; Liu, 2023); потреба у цифрових, STEM і ШІ-компетентностях учителів, тому що навчання природничо-математичних дисциплін потребує цифрових лабораторій, симуляцій, аналітики і моделювання (Валько, 2020; Ovcharuk et al., 2022). Треба зазначити, що наявна система післядипломної освіти не відповідає потребам цифрової епохи, швидкий розвиток цифрової і ШІ-педагогіки недостатньо враховується інститутами післядипломної освіти, є потреба стандартизації і модельності професійного розвитку з використанням міжнародних рамок, як-от DigCompEdu (European Commission, JRC, 2017), цифрові екосистеми стають новою інфраструктурою розвитку педагога. Дистанційні платформи, цифрові середовища, ШІ-асистенти – все це формує нову «архітектуру» післядипломної педагогічної освіти (Liu, 2023; Bethencourt-Aguilar et al., 2021).

В умовах цифрової трансформації освіти є необхідність побудови такої методичної системи, у центрі якої цифрові компетентності, аналітика, інноваційні технології та розвиток цифрової культури педагога, що реалізує цифрову трансформацію професійного розвитку вчителя. Професійний розвиток учителів має трансформуватись у цифрових умовах, вимагає нових інструментів, методів, компетентностей і цифрових середовищ (Vorotnykova, 2024).

Аналіз міжнародних та вітчизняних наукових розвідок засвідчив брак цілісної методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку вчителів природничо-математичної післядипломної освіти, яка б поєднувала міжнародні стандарти цифрової компетентності (DigComp 3.0, DigCompEdu) та моделі (SAMR, TPACK) з особливостями

української системи післядипломної освіти, нормативним полем і викликами воєнного та післявоєнного часу на основі андрагогічного, компетентнісного, системного і діяльнісного підходів та запровадження STEM.

Мета дослідження – обґрунтування методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку вчителів природничої та математичної галузей.

Завдання дослідження:

- аналіз останніх досліджень і публікацій з питань цифрової трансформації професійного розвитку вчителів;
- визначення мети, результатів, особливостей, завдань і структури методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку вчителів природничої та математичної галузей;
- побудова моделі методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку вчителів природничої та математичної галузей.

Методи дослідження: для розкриття теми використано теоретичні методи: аналіз і синтез наукових джерел з питань цифрової трансформації освіти, професійного розвитку педагогів, STEM-освіти, навчальної аналітики та ШІ, порівняльний аналіз міжнародних і національних моделей цифрової трансформації педагогічної діяльності та післядипломної освіти, структурно-системний метод, що застосовано для побудови структури моделі, визначення її компонентів, функцій та взаємозв'язків; моделювання – для створення моделі методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку, аналіз для виокремлення положень і принципів системи; типологізація, застосована для визначення блоків моделі (концептуального, ресурсного, технологічного тощо) та методи візуалізації та структурно-логічного представлення для створення графічної моделі методичної системи, що дозволило відобразити взаємозв'язки між блоками й забезпечити наукову цілісність розробленої системи. Для пошуку релевантних статей та визначення прогалів за темою дослідження використано інструменти ШІ (Scopus.ai).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При побудові методичної системи врахуємо аналіз сучасних моделей цифрової трансформації освіти, який показує, що успішні системи включають методологічний, технологічний, організаційний і оцінювальний блоки. Цифрова трансформація професійної освіти неможлива без чіткої моделі структурно-функціонального циклу (Liu, 2023), цифрові платформи й академічна аналітика мають бути ключовим механізмом управління післядипломною підготовкою (Bethencourt-Aguilar et al., 2021), а моделі трансформації мають включати підготовку педагогів, оновлення контенту, технологічне середовище та управління змінами (Joseph, Onwuzulike, 2024).

ЮНЕСКО (2018) визначає професійний розвиток учителя як неперервну й цілісну траєкторію, що охоплює весь період його кар'єри та життєвого досвіду, така модель створює загальний концептуальний базис для формування компетентності педагогів у цифровому середовищі, водночас залишаючи простір для національної адаптації. Відповідно до професійного стандарту вчителя закладу загальної середньої освіти, оновленого у 2024 р. та затвердженого Міністерством освіти і науки України (наказ № 1225 від 29 серпня), в Україні визначено нові орієнтири в організації освітньої діяльності: вчитель є професіоналом, здатним до рефлексії, творчої адаптації, професійного зростання та інституційного впливу в межах цілісного освітнього середовища. Професійний стандарт (МОН України, 2024) репрезентує концептуально новий підхід до визначення професійних вимог до педагогів у системі загальної середньої освіти, який приділяє особливу увагу неперервному професійному розвитку вчителя, що включає як самоосвіту, так і участь у професійних спільнотах, методичних об'єднаннях, інноваційних та дослідницьких освітніх ініціативах. Післядипломна освіта має забезпечити виконання вчителем професійного стандарту, зокрема в частині розвитку цифрової і професійної компетентності та реалізації STEM-освіти.

Післядипломна педагогічна освіта математичної та природничої галузей має врахувати як багаторічні традиції підвищення кваліфікації вчителів щодо методики викладання предметів, так і інтегрувати інноваційні процеси цифровізації та сформувати у вчителів нові компетентності впровадження галузевих підходів, в яких фізика, хімія, біологія об'єднуються в одну галузь, а математична галузь надає наскрізні компетентності для викладання всіх дисциплін.

На основі аналізу досліджень, присвячених цифровій трансформації освіти та професійному розвитку, визначимо методичну систему цифрової трансформації професійного розвитку як цілісне, науково обґрунтоване, організаційно-методичне та технологічне утворення, що забезпечує персоналізовану післядипломну освіту вчителів природничої та математичної галузей шляхом інтеграції цифрових, інноваційних, імерсивних та ШІ-технологій, яке спрямована на формування професійних, цифрових, педагогічних, дослідницьких та ШІ-компетентностей учителя, що необхідні для роботи у цифровому освітньому середовищі й реалізації STEM -підходу.

Мета методичної системи – забезпечення якісного, персоналізованого, інноваційного та технологічно насиченого професійного розвитку вчителів природничої та математичної галузей у післядипломній освіті через впровадження цифрових технологій, штучного інтелекту, навчальної аналітики, інтерактивних та імерсивних засобів навчання (Рисунок 1).

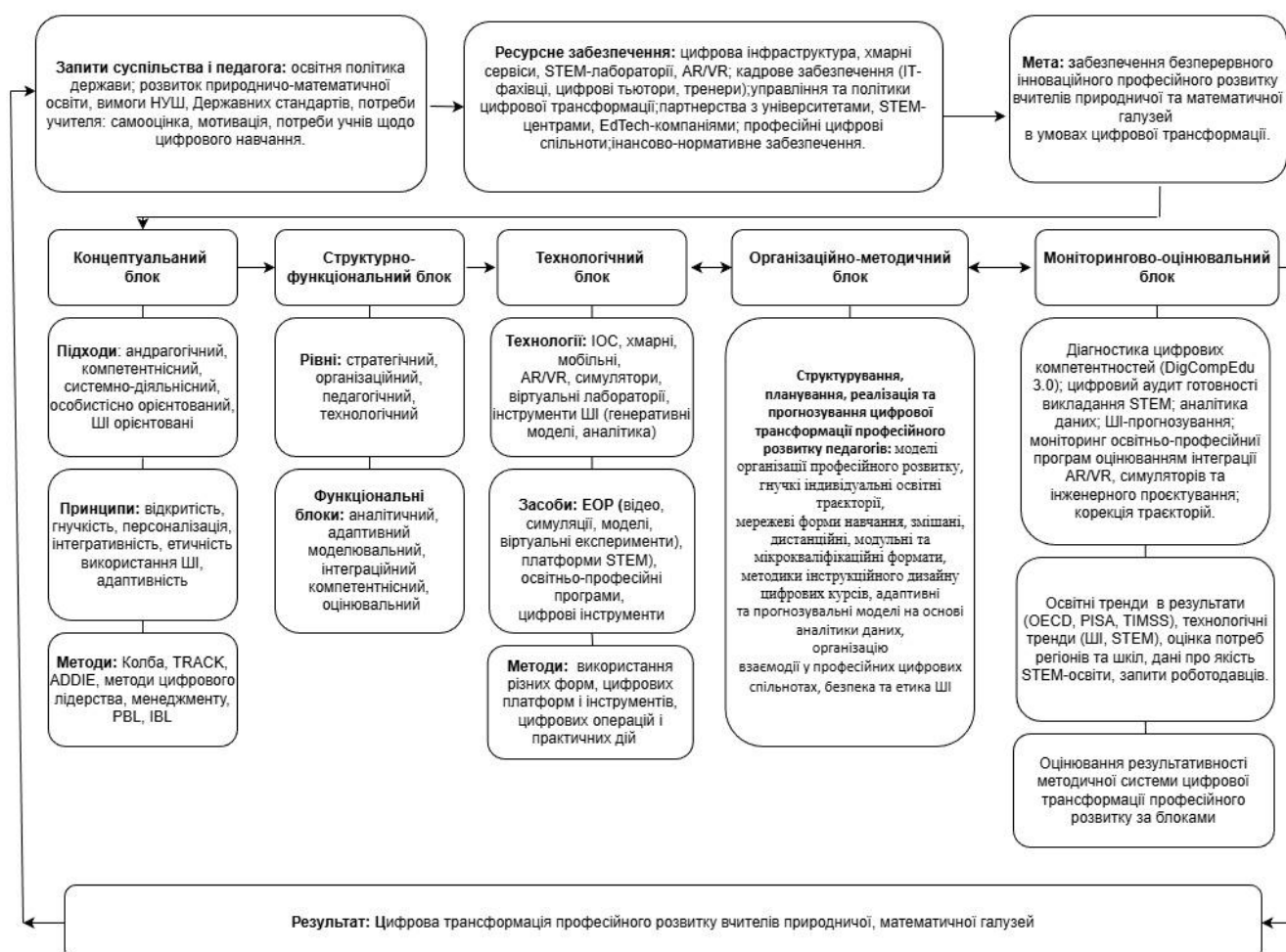


Рисунок 1. Методична система цифрової трансформації професійного розвитку вчителів природничої і математичної галузі в післядипломній освіті

Створено автором самостійно

Особливостями методичної системи для природничо-математичної галузі є: домінування експериментально-дослідницьких методів, активне застосування моделювання, симуляцій, цифрових лабораторій, інтеграція математичних, фізичних, хімічних, біологічних цифрових моделей, використання даних, аналітики, візуалізації, обчислювальних методів, TRACK, SAMR, ADDIE, Колба, пріоритет на формуванні високого рівня цифрової та ІІІ-компетентності.

Запити суспільства розвитку природничо-математичної освіти, особливо в умовах воєнного стану охоплюють вимоги державної освітньої політики, стратегій цифрової трансформації, реформ Нової української школи, стандартів природничо-математичної освіти, а також очікування громад, роботодавців та ринку праці щодо якості STEM-підготовки учнів і вчителів. Запити вчителів відображають їх професійні цілі, освітні потреби, рівень цифрової компетентності та мотивацію до розвитку, зокрема потреби в опануванні сучасних STEM-технологій, цифрових ресурсів, платформ для моделювання природничих процесів, інструментів для оцінювання та аналітики, а також у формуванні індивідуальних траєкторій професійного зростання.

Поєднання суспільних та індивідуальних запитів формує зовнішній і внутрішній вектори розвитку системи, визначає концептуальні засади, структуру блоків, вибір технологій та методів, а також забезпечує її циклічність: результати професійного розвитку генерують нові запити, що запускають наступний цикл удосконалення.

Завдання методичної системи:

- забезпечити безперервність цифрової трансформації вчителя в післядипломній освіті;
- формувати цифрові, професійні та ІІІ-компетентності вчителів відповідно до міжнародних рамок (DigCompEdu, UNESCO ICT-CFT);
- забезпечувати розвиток здатності застосовувати цифрові технології для викладання природничо-математичних дисциплін;
- створювати умови для персоналізації та адаптації професійного розвитку з використанням ІІІ орієнтованих підходів;
- інтегрувати імерсивні, мобільні та інтерактивні технології у післядипломну освіту.
- розвивати інформаційно-освітнє середовище післядипломної освіти;
- забезпечити науково-методичний супровід, експертизу, апробацію цифрових курсів і ІІІ-інструментів;
- забезпечити інформаційну безпеку, етичність використання цифрових технологій та дотримання авторських прав.

Ресурсна підтримка методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку вчителів природничо-математичної галузей забезпечує умови, за яких модель може функціонувати як цілісна цифрова екосистема: комплекс інфраструктурних, технологічних, організаційних, кадрових та соціально-партнерських ресурсів, що підтримують реалізацію концептуального, структурно-функціонального, технологічного, організаційно-методичного й моніторингово-оцінювального блоків системи.

Інфраструктурна складова ресурсного блоку включає цифрову освітню інфраструктуру (системи підтримки дистанційного навчання, хмарні сервіси, ІІІ, STEM-лабораторії, VR та AR-комплекси), необхідні для реалізації змішаного, дистанційного навчання, зокрема:

- апаратне забезпечення (комп'ютерна техніка, гаджети, STEM-обладнання) та мережеве забезпечення, що гарантують доступність цифрових освітніх сервісів і безперебійність їх функціонування;
- кадрове забезпечення для ІТ-підтримки та консалтингу (адміністратори цифрових платформ, модератори курсів, е-тьютори, е-ментори і е-супервізори з розвитку цифрових компетентностей, педагоги з високим рівнем цифрової компетентності, здатні створювати цифрові ресурси та впроваджувати інноваційні STEM-технології. Важливою частиною ресурсного блоку є також партнерства та професійні цифрові спільноти. До них належать співпраця з університетами, науковими установами, STEM-хабами, EdTech-

компаніями, громадами, міжнародними мережами (Microsoft, eTwinning) і професійними онлайн-спільнотами. Міністерство освіти і науки України створило національну платформу для професійного розвитку вчителів EdWay, яка має забезпечити партнерські зв'язки, що сприятиме можливості використання цієї цифрової інфраструктури, забезпечить доступ до інноваційних технологій, сприятиме обміну досвідом і формуванню культури професійної взаємодії;

- фінансово-нормативний компонент забезпечує функціонування системи за рахунок фінансування модернізації інфраструктури, ліцензування цифрових інструментів, закупівлю обладнання, підтримки роботи цифрової інфраструктури, забезпечення віртуальних і фізичних лабораторій, зокрема віддалених, симуляційних платформ, аналітичних модулів та ШІ-сервісів;

- організаційно-управлінське забезпечення (створення освітньої політики, стратегії цифрової трансформації, управління змінами, нормативно-правове забезпечення та системи внутрішнього забезпечення якості цифрової безпеки й етичного використання ШІ, які регулюють освітній процес і забезпечують професійний розвиток педагогів).

Методична система складається з *п'яти взаємопов'язаних блоків*.

- *Концептуальний блок* визначає теоретичні засади цифрової трансформації професійного розвитку педагогів на основі: системно-діяльнісного, компетентнісного, андрагогічного, особистісно орієнтованого, цифрово-педагогічного, STEM- та ТРАСК-підходів, ШІ-орієнтованих підходів. У цьому блоці сформульовано принципи інноваційності, відкритості, персоналізації, інтерактивності, гнучкості, безперервності, відповідальності та цифрової етики;

- *Структурно-функціональний блок* методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку вчителів природничо-математичної галузей визначає внутрішню організацію моделі та забезпечує узгодженість її елементів відповідно до цілей, запитів педагогів та викликів цифрової освіти. Він поєднує ключові рівні реалізації професійного розвитку, а також функціональні напрями, що забезпечують цілісність та ефективність цифрової трансформації.

Виділяємо 4 *рівні* структури: *стратегічний*, на якому визначаються довгострокові пріоритети цифрової трансформації, STEM-орієнтованого розвитку та формування цифрових компетентностей педагогів; *організаційний*, що передбачає планування, координацію, управління цифровими процесами, вибір форм та форматів підвищення кваліфікації; *педагогічний*, орієнтований на розроблення змісту, добір методів і засобів навчання, використання цифрових платформ, симуляторів, віртуальних лабораторій, аналітичних систем та інструментів ШІ; *технологічний*, що забезпечує використання інноваційних цифрових рішень, технічних ресурсів, навчальних аналітичних інструментів та освітніх екосистем.

П'ять ключових функцій забезпечують системність моделі:

- *аналітичну*, спрямовану на виявлення потреб педагогів, аналіз запитів суспільства та динаміки розвитку цифрових компетентностей;

- *адаптивну*, яка забезпечує персоналізацію навчання, врахування професійного досвіду та індивідуальних траєкторій учителів;

- *моделювальну*, що дозволяє проєктувати цифрові освітні середовища, навчальні сценарії, STEM-завдання та інші елементи сучасного навчання;

- *інтеграційну*, орієнтовану на поєднання цифрових технологій, педагогічних підходів і предметного змісту;

- *оцінювальну*, яка забезпечує діагностику цифрових і професійних компетентностей, моніторинг ефективності програм та аналіз результатів професійного розвитку.

Організаційно-методичний блок: моделі організації професійного розвитку в цифровому середовищі, гнучкі індивідуальні освітні траєкторії, мережеві форми навчання (онлайн-спільноти, хаби), змішані, дистанційні, модульні та мікрокваліфікаційні формати, методики інструкційного дизайну цифрових курсів, освітньо-науковий супровід цифрової

трансформації. Організаційно-методичний блок забезпечує структурування, планування та реалізацію цифрової трансформації професійного розвитку педагогів, включаючи: організацію цифрових форм навчання (онлайн, змішані, модульні, мікронавчання); розроблення освітньо-професійних програм (ОПП) з цифровими модулями, STEM і ІШ-компонентами; проектування індивідуальних траєкторій професійного розвитку, включаючи адаптивні та прогнозувальні моделі на основі аналітики даних; науково-методичний супровід педагогів (цифрові тьютори, е-менторинг, е-супервізія, ІШ-менторство); використання ІШ для рекомендацій та персоналізованого супроводу; оцінювання потреб, цифрового прогресу та компетентнісних розривів; організацію взаємодії в професійних цифрових спільнотах.

Технологічний блок є ключовим для природничо-математичної галузі, бо забезпечує можливість цифрового експерименту, моделювання, аналізу даних і візуалізації, що є базовими навичками STEM-педагога. Технологічний блок включає технології, методи й засоби, необхідні для забезпечення персоналізованого професійного розвитку вчителя. Цифрові технології: системи управління навчанням, хмарні сервіси, віртуальні та доповнені лабораторії природничо-математичних дисциплін, інтерактивні середовища (симулятори, віртуальні експерименти), STEM-лабораторії. ІШ та аналітика: чат-боти наставники, ІШ-асистенти, генеративні моделі (контент, завдання, тести), навчальна аналітика (моніторинг, персоналізація, прогнозування з ІШ).

Методи: персоналізація, STEM, SAMR, ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) моделі проектування освітніх програм і навчальних модулів, Колба, TRACK, ІШ-орієнтовані, доповненої AR (Augmented Reality), віртуальної VR (Virtual Reality) та змішаної MR (Mixed Reality) реальності, цифрового менеджменту, цифрового лідерства, педагогічна діагностика, моніторинг (Таблиця 1).

Таблиця 1

Методи методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку вчителів природничо-математичної галузі

Метод	Характеристика	Призначення
Персоналізації навчання	Е-коучинг і е-менторинг, супервізія, гейміфікація, мікронавчання	Забезпечення індивідуальних потреб вчителя в професійному розвитку
STEM/STEAM-методи	Дослідницький, проєктний, моделювальний підхід проблемно-орієнтоване навчання (PBL), навчання на основі запитів (IBL), гейміфікації, мікронавчання	Розвиток наукового мислення педагога
SAMR, ADDIE, Колба, TRACK	Інтеграція педагогічних і технологічних знань, аналіз, дизайн, розробка, впровадження, оцінювання	Створення освітньо-професійних програм підвищення кваліфікації, якісних цифрових курсів
ІШ-орієнтовані	Використання адаптивного та генеративного ІШ, аналіз цифрової взаємодії педагога	Персоналізація розвитку
AR/VR/MR	Віртуальні лабораторії, симуляції	Моделювання природничих явищ, математичних моделей
Методи цифрового менеджменту	Електронне управління, автоматизація освітнього процесу, прогнозування потреб професійного розвитку	Організація цифрової трансформації суб'єкта післядипломної освіти
Методи цифрового лідерства	Трансформаційне та розподілене лідерство	Управління цифровими змінами
Педагогічна діагностика, моніторинг	Оцінювання компетентностей DigCompEdu 3.0.	Визначення готовності вчителя, його цифрової компетентності

Створено автором самостійно

Засоби цифрового навчання: сучасні цифрові засоби, що забезпечують інтерактивність, візуалізацію та дослідницьку діяльність у навчанні, наприклад цифрові симулятори, що дозволяють моделювати реальні та абстрактні природничі процеси в безпечному й динамічному цифровому середовищі (Labster), інтерактивні платформи для моделювання, зокрема GeoGebra для візуалізації функцій, графіків і геометричних побудов, а також PhET для опанування фізики, хімії та біології через інтерактивні експерименти, інструменти створення цифрових ресурсів (Canva), системи оцінювання та тестування (Quizizz тощо).

Моніторингово-оцінювальний блок передбачає: оцінювання цифрової та професійної готовності педагогів, експертизу цифрових ресурсів, курсів, технологій та ІІІ-інструментів, моніторинг результатів професійного розвитку, валідацію методичної системи та визначення критеріїв та показників ефективності (індивідуальний, організаційний, технологічний рівні).

Впровадження методичної системи має забезпечити: підвищення цифрової, професійної та ІІІ-компетентностей учителя, готовність працювати у цифровому STEM-середовищі, здатність застосовувати імерсивні та ІІІ-технології, формування навичок цифрової педагогіки та дослідницького і критичного мислення, розвиток автономності, рефлексії, академічної доброчесності, забезпечення якості викладання природничо-математичних дисциплін.

ОБГОВОРЕННЯ

У представленій методичній системі враховано ключову роль навчальної аналітики з використанням ІІІ та супровід за допомогою цифрового моніторингу і аналізу роботи системи з можливістю її оновлення (Phuong et al., 2023) та визначається обов'язкове використання цифрових лабораторій, симуляцій, моделювання та інтерактивних середовищ у підготовці вчителів до викладання STEM на основі інтеграції можливостей технологій та природничо-математичної освіти (Валько, 2020) та використання віртуальної та доповненої реальності, віддалених лабораторій, симуляцій, цифрових моделей, аналітичних інструментів у післядипломній освіті, що дозволяє вчителю отримати вищий рівень цифрової компетентності і забезпечити тим самим якість своєї професійної діяльності.

Представлена методична система враховує те, що українські вчителі використовують цифрові засоби нерівномірно, і це потребує системної підтримки через інформаційно-освітнє середовище і запобігає загрозам, зазначеним О. Овчарук (2022). Професійний розвиток учителя неможливий без цифрової трансформації, оскільки компетентнісний профіль змінився, і розвиток цифрової компетентності вчителя можливий лише через інтеграцію педагогічних, предметних і технологічних знань (Bećirović, 2023). Ефективний професійний розвиток потребує структурованих моделей підвищення кваліфікації, ADDIE, як найбільш універсальну (Darling-Hammond et al., 2017), SAMR та інші моделі трансформації, що враховано в розробленій методичній системі і дозволяє показати результативність використання цифрових методів, які впливають на глибину навчання (Zulfiani et al., 2025). Представлена методична система узагальнює напрацювання міжнародних і вітчизняних дослідників і конкретизує для вчителів природничої і математичної галузей та інтегрує ІІІ (Zarifis & Efthymiou, 2022).

Реалізація методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку вчителів природничої та математичної галузей можлива в умовах цілісної цифрової трансформації післядипломної освіти, яка передбачає і зміну освітньої політики та розроблення стратегій післядипломної освіти щодо використання цифрових технологій та ІІІ, фінансування та розвиток цифрової інфраструктури, цифрової компетентності учасників освітнього процесу та впровадження цифрових технологій як в управлінні, освітньому процесі, так і в прогнозуванні, моніторингу та забезпечення персоналізованого навчання.

ВИСНОВКИ

Аналіз зарубіжних і вітчизняних джерел засвідчив, що цифрова трансформація професійного розвитку вчителів є ключовим напрямом модернізації освіти, пов'язаним із переходом до цифрових екосистем, навчальної аналітики, ІІІ-орієнтованих підходів та інноваційних STEM-технологій. Окремий акцент у сучасних працях зроблено на зміні компетентнісного профілю педагога та необхідності цілеспрямованого розвитку цифрових, педагогічних та STEM-компетентностей вчителів у контексті рамок DigCompEdu, моделей TRACK, SAMR та відповідних європейських і національних стратегій.

На основі аналізу наукових підходів, освітніх політик визначено мету методичної системи як забезпечення безперервного інноваційного професійного розвитку вчителів природничої та математичної галузей в умовах цифрової трансформації освіти, орієнтованої на формування високого рівня цифрових, STEM- та педагогічних компетентностей. Особливостями системи є її STEM-спрямованість, інтеграція цифрових симуляторів, віддалених та віртуальних лабораторій, інструментів навчальної аналітики й ІІІ, а також орієнтація на індивідуальні траєкторії професійного розвитку та персоналізовану підтримку педагога. Структура системи відображає взаємодію запитів суспільства та педагога, концептуального, структурно-функціонального, ресурсного, технологічного, організаційно-методичного та моніторингово-оцінювального блоків, що узгоджується з сучасними моделями цифрової трансформації освіти.

Побудована модель методичної системи цифрової трансформації професійного розвитку вчителів природничої та математичної галузей є циклічною, адаптивною, оскільки передбачає безперервний зворотний зв'язок між результатами професійного розвитку, моніторингово-оцінювальним блоком і блоком запитів суспільства й педагога. Вона інтегрує концептуальні підходи (андрагогічні, компетентнісні, STEM, TRACK, ІІІ-орієнтовані), структурно-функціональні (рівні, функції, компоненти), ресурсні (інфраструктура, управління, партнерства, професійні спільноти), технологічні (цифрові платформи, симулятори, AR/VR, інструменти оцінювання та аналітики) та організаційно-методичні (освітньо-професійні програми, цифрові форми навчання, індивідуальні траєкторії, е-менторинг, супервізію, ІІІ-супровід) складові, що дозволяє розглядати її як цілісну цифрову екосистему професійного розвитку STEM-педагога. Запропонована система поєднує ресурсно забезпечені умови, цифрові технології й механізми ІІІ-прогнозування та корекції індивідуальних траєкторій професійного розвитку.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження вбачаємо в емпіричній перевірці ефективності запропонованої методичної системи в умовах реальних програм післядипломної освіти, зокрема через педагогічні експерименти, пілотні впровадження в інститутах післядипломної педагогічної освіти та центрах професійного розвитку вчителів, а також в аналізі впливу моделі на рівень цифрових і професійних компетентностей вчителів природничої і математичної галузей і результатів навчання учнів. Перспективними є розроблення й апробація інструментів діагностики цифрової компетентності та індексів цифрової трансформації професійного розвитку вчителя.

Список використаних джерел

1. Биков В. Ю. Цифрова трансформація суспільства і розвиток комп'ютерно-технологічної платформи освіти і науки України. Матеріали методологічного семінару НАПН України «Інформаційно-цифровий освітній простір України: трансформаційні процеси і перспективи розвитку». 4 квітня 2019 р. С. 20–26. URL: <https://dspace.nau.edu.ua/handle/NAU/44333> (дата звернення: 1.12.2025).
2. Биков В. Ю., Спірін О. М., Пінчук О. А. Сучасні завдання цифрової трансформації освіти // *Вісник кафедри ЮНЕСКО «Неперервна професійна освіта XXI століття»*. 2020. № 1. С. 27–36. DOI: [https://doi.org/10.35387/ucj.1\(1\).2020.27-36](https://doi.org/10.35387/ucj.1(1).2020.27-36)
3. Биков В. Ю., Яцишин А. В. (ред.). Цифрова трансформація освіти і науки: теорія і практика. Київ: ФОП Ямчинський О. В., 2019. 123 с. URL: <https://surl.li/tbnmns> (дата звернення: 1.12.2025).

4. Бондаренко Т. С. Інтелектуальні інформаційні технології як складник цифрової трансформації освіти. *Аналітичний вісник у сфері освіти й науки*. 2024. № 19. С. 3–23. DOI: <https://doi.org/10.33407/lib.NAES.741210>
5. Валько Н. В. Система підготовки майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін до застосування STEM технологій у професійній діяльності: дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.04. Херсонський державний університет, Класичний приватний університет. Запоріжжя, 2020. 510 с. URL: http://virtuni.education.zp.ua/info_cpu/sites/default/files/!Валько_дис.pdf (дата звернення: 1.12.2025).
6. Кремень В. Г., Биков В. Ю., Ляшенко О. І., Литвинова С. Г., Лугова В. І., Малований Ю. І., Пінчук О. П., Топузов О. М. Науково-методичне забезпечення цифровізації освіти в Україні: стан, проблеми, перспективи. *Вісник Національної академії педагогічних наук України*. 2022. Т. 4. № 2. С. 1–49. DOI: <https://doi.org/10.37472/v.naes.2022.4223>
7. Професійний стандарт «Вчитель закладу загальної середньої освіти». *Міністерство освіти і науки України*. 2024. URL: <https://mon.gov.ua/npa/pro-zatverdzhennia-profesiinoho-standartu-vchytel-zakladu-zahalnoi-serednoi-osvity> (дата звернення: 1.12.2025).
8. Alshammari A. F. Digital Transformation Model to Improve Educational Processes in Higher Education Applying Big Data. *2023 International Conference on Smart Computing and Application (ICSCA)*. 2023. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSCA57840.2023.10087660>
9. Bećirović S. Fostering digital competence in teachers: A review of existing frameworks. *Digital Pedagogy. Springer Briefs in Education*. Springer, Singapore, 2023. P. 51–67. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-99-0444-0_5
10. Bethencourt-Aguilar A., Area-Moreira M., Sosa-Alonso J. J., Castellano-Nieves D. The digital transformation of postgraduate degrees: A study on academic analytics at the University of La Laguna. *2021 XI International Conference on Virtual Campus (JICV)*. 2021. P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/JICV53222.2021.9600311>
11. Bisri A., Nurtantyana R., Prasetyadi A., Putri A., Koesoema A. P., Rosmansyah Y. The Development of A Digital Transformation Model for Higher Education Using the Object-Process Methodology. *2024 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA)*. 2024. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/IC3INA64086.2024.10732551>
12. Cosgrove J., Cachia R. DigComp 3.0: European Digital Competence Framework. Fifth Edition. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2025. 123 p. DOI: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/0001149>
13. Darling-Hammond L., Hyler M. E., Gardner M. Effective Teacher Professional Development. *Learning Policy Institute*. 2017. URL: <https://learningpolicyinstitute.org/product/effective-teacher-professional-development-report> (дата звернення: 26.11.2025).
14. Education at a glance 2024: OECD indicators. Paris: OECD Publishing, 2024. 498 p. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/09/education-at-a-glance-2024_5ea68448/c00cad36-en.pdf (дата звернення: 1.12.2025).
15. The European framework for the digital competence of educators. *European Commission*. 2017. URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/digcompedu_en (date of access: 12.11.2025).
16. ICT Competency Framework for Teachers. Version 3. Paris: UNESCO, 2018. 68 p. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265721> (дата звернення: 12.11.2025).
17. Joseph O. B., Onwuzulike O. C., Shitu K. Digital transformation in education: Strategies for effective implementation. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2024. Vol. 23 (02). DOI: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.23.2.2668>
18. Liu B. An Assessment of Teaching Models and Strategic Recommendations Under the Background of Digital Transformation. *Research and Advances in Education*. 2023. № 2 (11). P. 19–22. DOI: <https://doi.org/10.56397/rae.2023.11.03>
19. Liu M., Su R. Research on the Path of Digital Transformation of Postgraduate Education in Chinese Universities under the Background of Digital Education Strategy. *Intelligent Information Management*. 2023. Vol. 15. № 5. P. 339–349. DOI: <https://doi.org/10.4236/iim.2023.155016>
20. Liu M. Exploration of Digital Transformation Schema for Professional Degree Postgraduate Training. *Journal of Software Engineering and Applications*. 2023. Vol. 16. № 12. P. 819–830. DOI: <https://doi.org/10.4236/jsea.2023.1612035>
21. Ly B. The Interplay of Digital Transformational Leadership, Organizational Agility, and Digital Transformation. *Journal of the Knowledge Economy*. 2023. Vol. 15 (1). P. 4408–4427. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01377-8>
22. Mukul E., Büyüközkan G. Digital transformation in education: A systematic review of education. *Technological Forecasting and Social Change*. 2023. Vol. 194. Art. 122664. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122664>

23. OECD handbook for internationally comparative education statistics: concepts, standards, definitions and classifications. Paris: OECD Publishing, 2017. https://www.oecd.org/en/publications/oecd-handbook-for-internationally-comparative-education-statistics_9789264279889-en.html (дата звернення: 1.12.2025).
24. Ovcharuk O. V., Gurzhiy A. M., Ivaniuk I. V., Kartashova L. A., Hrytsenchuk O. O., Vakaliuk T. A., Shyshkina M. P. The use of digital tools by secondary school teachers for the implementation of distance learning in the context of digital transformation in Ukraine. *CTE Workshop Proceedings*. 2022. Vol. 9. P. 16–27. DOI: <https://doi.org/10.55056/cte.96>
25. Phuong T. T. T., Nguyen T.-T., Danh N. N., Ngo Van D., Luong H. D., Nguyen L. V. A., Tran T. Digital transformation in education: a bibliometric analysis using Scopus. *European Science Editing*. 2023. Vol. 49. e107138. DOI: <https://doi.org/10.3897/ese.2023.e107138>
26. Vorotnykova I. Professional development of teachers in conditions of digital transformation of postgraduate pedagogical education. *Proceedings of the 3rd Workshop on Digital Transformation of Education (DigiTransfEd 2024) co-located with 19th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications*. 2024. C. 36–46. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3771> (дата звернення: 08.11.2025).
27. Vorotnykova I., Morze N., Hrynevych L. Digital transformation of secondary education of Ukraine and the quality of teaching natural and mathematical sciences in the conditions of war. *CEUR Workshop Proceedings*. 2023. Vol. 3553. P. 57–74. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper13.pdf> (дата звернення: 1.12.2025).
28. Zarifis A., Efthymiou L. The four business models for AI adoption in education: Giving leaders a destination for the digital transformation journey. *2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. 2022. P. 1868–1872. DOI: <https://doi.org/10.1109/EDUCON52537.2022.9766687>
29. Zulfiani Z., Suwarna I. P., El Islami R. A., Sari I. J. Trends in SAMR research in teaching and learning from 2019 to 2024: A systematic review. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*. 2025. Vol. 12 (4). P. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.21833/ijaas.2025.04.012>

References

- Bykov, V. Yu. (2021). Cifrova transformaciya suspilstva i rozvitok komp'yuterno-tehnologichnoyi platformi osviti i nauki Ukrayini [Digital transformation of society and the development of the computer-technological platform of education and science of Ukraine.] In *Materiali metodologichnogo seminaru NAPN Ukrayini «Informacijno-cifrovij osvitnij prostir Ukrayini: transformacijni procesi i perspektivi rozvitku»*. 4 kvitnya 2019 r. (pp. 20–26). <https://dspace.nau.edu.ua/handle/NAU/44333>
- Bykov, V. Yu., Spirin, O. M., & Pinchuk, O. A. (2020). Suchasni zavdannya cifrovoyi transformaciyi osviti [Modern tasks of digital transformation of education]. *UNESCO Chair Journal Lifelong Professional Education in the XXI Century*, 1, 27–36. [https://doi.org/10.35387/ucj.1\(1\).2020.27-36](https://doi.org/10.35387/ucj.1(1).2020.27-36)
- Bykov, V. Yu., & Yatsyshyn, A. V. (Eds.) (2019). *Cifrova transformaciya osviti i nauki: teoriya i praktika* [Digital transformation of education and science: Theory and practice]. FOP Yamchynskyi O. V. <https://surl.li/tbnmns>
- Bondarenko, T. S. (2024). Intelktualni informacijni tehnologiyi yak skladnik cifrovoyi transformaciyi osviti [Intelligent information technologies as a component of digital transformation of education]. *Analytical Herald in the Sphere of Education and Science*, 19, 3–23. <https://doi.org/10.33407/lib.NAES.741210>
- Valko, N. V. (2020). Sistema pidgotovki majbutnih uchiteliv prirodnocho-matematichnih disciplin do zastosuvannya STEM tehnologij u profesijnij diyalnosti [The system of preparation of future teachers of natural sciences and mathematical disciplines to apply STEM technologies in their professional activity]: Doctor's thesis: 13.00.04. Kherson State University, Classical Private University. http://virtuni.education.zp.ua/info_cpu/sites/default/files/!Валько_дис.pdf
- Kremen, V., Bykov, V., Liashenko, O., Lytvynova, S., Lugovyi, V., Malovanyi, Y., Pinchuk, O., Topuzov, O. (2022). Naukovo-metodichne zabezpechennya cifrovizaciyi osviti v Ukrayini: stan, problemi, perspektivi [Scientific and methodological provision of digitalisation of education in Ukraine: status, problems, prospects]. *Herald of the National Academy of Educational Sciences of Ukraine*, 4 (2), 1–49. <https://doi.org/10.37472/v.naes.2022.4223>
- Ministry of Education and Science of Ukraine (2024). *Profesijnij standart «Vchitel zakladu zagalnoyi serednoyi osviti»* [Professional standard “Teacher of a general secondary education institution”]. <https://mon.gov.ua/npa/prozatverdzhennia-profesiinoho-standartu-vchitel-zakladu-zahalnoi-serednoi-osvity/>
- Alshammari, A. F. (2023). Digital transformation model to improve educational processes in higher education applying big data. *2023 International Conference on Smart Computing and Application (ICSCA)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSCA57840.2023.10087660>
- Bećirović, S. (2023). Fostering digital competence in teachers: A review of existing frameworks. In *Digital Pedagogy. Springer Briefs in Education* (pp. 51–67). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0444-0_5
- Bethencourt-Aguilar, A., Area-Moreira, M., Sosa-Alonso, J. J., & Castellano-Nieves, D. (2021). The digital transformation of postgraduate degrees: A study on academic analytics at the University of La Laguna. *2021 XI International Conference on Virtual Campus (JICV)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/JICV53222.2021.9600311>

- Bisri, A., Nurtantyana, R., Prasetyadi, A., Putri, A., Koesoema, A. P., & Rosmansyah, Y. (2024). The development of a digital transformation model for higher education using the object-process methodology. *2024 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IC3INA64086.2024.10732551>
- Cosgrove, J., & Cachia, R. (2025). *DigComp 3.0: European Digital Competence Framework (5th ed.)*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/0001149>
- Darling-Hammond, L., Hyler, M. E., & Gardner, M. (2017). Effective teacher professional development. *Learning Policy Institute*. <https://learningpolicyinstitute.org/product/effective-teacher-professional-development-report>
- Education at a glance 2024: OECD indicators (2024). OECD Publishing. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/09/education-at-a-glance-2024_5ea68448/c00cad36-en.pdf
- European Commission (2017). *DigCompEdu: The European framework for the digital competence of educators*. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/digcompedu_en
- UNESCO (2018). *ICT competency framework for teachers (Version 3)*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265721>
- Joseph, O. B., Onwuzulike, O. C., & Shitu, K. (2024). Digital transformation in education: Strategies for effective implementation. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 23 (2). <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.23.2.2668>
- Liu, B. (2023). An assessment of teaching models and strategic recommendations under the background of digital transformation. *Research and Advances in Education*, 11, 19–22. <https://doi.org/10.56397/rae.2023.11.03>
- Liu, M., & Su, R. (2023). Research on the path of digital transformation of postgraduate education in Chinese universities under the background of digital education strategy. *Intelligent Information Management*, 15 (5), 339–349. <https://doi.org/10.4236/iim.2023.155016>
- Liu, M. (2023). Exploration of digital transformation schema for professional degree postgraduate training. *Journal of Software Engineering and Applications*, 16 (12), 819–830. <https://doi.org/10.4236/jsea.2023.1612035>
- Ly, B. (2023). The interplay of digital transformational leadership, organizational agility, and digital transformation. *Journal of the Knowledge Economy*, 15 (1), 4408–4427. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01377-8>
- Mukul, E., & Büyüközkan, G. (2023). Digital transformation in education: A systematic review of Education 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 194, 122664. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122664>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (2017). *OECD handbook for internationally comparative education statistics: Concepts, standards, definitions and classifications*. https://www.oecd.org/en/publications/oecd-handbook-for-internationally-comparative-education-statistics_9789264279889-en.html
- Ovcharuk, O. V., Gurzhi, A. M., Ivaniuk, I. V., Kartashova, L. A., Hrytsenchuk, O. O., Vakaliuk, T. A., & Shyshkina, M. P. (2022). The use of digital tools by secondary school teachers for the implementation of distance learning in the context of digital transformation in Ukraine. *CTE Workshop Proceedings*, 9, 16–27. <https://doi.org/10.55056/cte.96>
- Phuong, T. T. T., Nguyen, T.-T., Danh, N. N., Ngo Van, D., Luong, H. D., Nguyen, L. V. A., & Tran, T. (2023). Digital transformation in education: A bibliometric analysis using Scopus. *European Science Editing*, 49, e107138. <https://doi.org/10.3897/ese.2023.e107138>
- Vorotnykova, I. (2024). Professional development of teachers in conditions of digital transformation of postgraduate pedagogical education. *Proceedings of the 3rd Workshop on Digital Transformation of Education*, 36–46. <https://ceur-ws.org/Vol-3771>
- Vorotnykova, I., Morze, N., & Hrynevych, L. (2023). Digital transformation of secondary education of Ukraine and the quality of teaching natural and mathematical sciences in the conditions of war. *CEUR Workshop Proceedings*, 3553, 57–74. <https://ceur-ws.org/Vol-3553/paper13.pdf>
- Zarifis, A., & Efthymiou, L. (2022). The four business models for AI adoption in education: Giving leaders a destination for the digital transformation journey. *2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 1868–1872. <https://doi.org/10.1109/EDUCON52537.2022.9766687>
- Zulfiani, Z., Suwarna, I. P., El Islami, R. A., & Sari, I. J. (2025). Trends in SAMR research in teaching and learning from 2019 to 2024: A systematic review. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 12 (4), 99–106. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2025.04.012>

Стаття надійшла до редакції 1.12.2025

Прийнято до друку 26.12.2025

METHODICAL SYSTEM OF DIGITAL TRANSFORMATION OF PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF SCIENCE AND MATHEMATICS TEACHERS IN POSTGRADUATE EDUCATION

Iryna Vorotnykova

<https://orcid.org/0000-0003-1211-8885>

PhD in Pedagogy, Associate Professor,
Head of the Department of Science
and Mathematics Education and Technologies,
Institute In-Service Teacher's Training,
Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University,
P. Tychyny Avenue 22 a, Kyiv, 02102 Ukraine,
i.vorotnykova@kubg.edu.ua

The article is devoted to the justification of the methodological system of digital transformation of professional development of teachers of natural sciences and mathematics based on the synthesis of the provisions of digital pedagogy, andragogy, competency-based and system-activity approaches. The relevance of the study is due to the urgent need to modernise postgraduate pedagogical education in the conditions of digital transformation, military challenges. The article analyses modern scientific research on the digital transformation of professional development of teachers and identifies key trends in changes in the structure, content and technological support for advanced training of teachers of natural sciences and mathematics. Based on the generalisation of international and national approaches, the goal, objectives, structure and content of the methodological system of digital transformation of professional development of teachers of natural sciences and mathematics are determined. The methodological system of digital transformation of professional development was created based on the requests of society and teachers and contains conceptual, structural-functional, resource, technological, organizational-methodological and monitoring-evaluation components. The proposed methodological system reflects the cyclical nature of the teacher's professional development and his needs and ensures its personalization. An important component of the proposed system is the integration of technologies, simulators, data analytics, artificial intelligence in the information and educational environment. The conclusions substantiate the scientific value of the methodological system and outline the prospects for its empirical verification. The proposed methodological system should ensure the formation of digital and a professional competency of teachers improve the quality of science and mathematics education and is consistent with the requirements of the teacher's professional standard. The results of the study can be used to design advanced training programs, modernise postgraduate education and build digital educational ecosystems.

Keywords: digital transformation, natural sciences and mathematics education, postgraduate pedagogical education, professional training, teachers' professional development.