

РОЗДІЛ 3 ВІТЧИЗНЯНИЙ І ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД РОЗВИТКУ ОСВІТИ

УДК 378.091.3:378.011.3-051]:004

DOI 10.58407/visnik.263938

Бордюк Олександр

<https://orcid.org/0000-0003-1247-2895>

Кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри професійної освіти,
УДУ імені Михайла Драгоманова
(Київ, Україна) E-mail: o.m.bordyuk@udu.edu.ua

Братанич Андрій

<https://orcid.org/0000-0003-0551-8602>

Кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри професійної освіти,
УДУ імені Михайла Драгоманова
(Київ, Україна) E-mail: a.a.bratanych@udu.edu.ua

Дзус Сергій

<https://orcid.org/0000-0002-3251-1863>

Кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри професійної освіти,
УДУ імені Михайла Драгоманова
(Київ, Україна) E-mail: s.b.dzus@udu.edu.ua

МОДЕЛЬ ПЕДАГОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИКЛАДАЧА ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У КОНТЕКСТІ ІНДУСТРІЇ 4.0

Стаття присвячена теоретичному обґрунтуванню та розробці моделі педагогічної підготовки викладача цифрових технологій у контексті Індустрії 4.0.

Мета роботи: розробити науково обґрунтовану модель педагогічної підготовки викладача цифрових технологій, адекватну вимогам Індустрії 4.0 та Освіти 4.0.

Методологія: застосовано загальнонаукові методи дослідження: теоретичний аналіз, синтез, порівняння, узагальнення, системний підхід, моделювання. Теоретичною основою дослідження стали концепції К. Швабса щодо Четвертої промислової революції, рамка ТРАСК Мішри та Келера, модель цифрових компетенцій викладача DigCompEdi, Рамка UNESCO ICT-CFT.

Наукова новизна: запропоновано структурно-функціональну модель педагогічної підготовки викладача цифрових технологій, яка інтегрує технологічні, педагогічні та змістові знання (адаптована ТРАСК-м одель) з урахуванням вимог Індустрії 4.0; виокремлено п'ять взаємопов'язаних компонентів моделі: концептуальний, змістовий, технологічно-методичний, організаційно-діяльнісний та результативний; визначено ключові цифрові компетентності викладача в умовах цифрової трансформації освіти.

Висновки: запропонована модель може слугувати теоретичною основою для проектування освітніх програм підготовки викладачів цифрових технологій, а також практичним інструментом для оцінювання та розвитку їхніх професійних компетентностей. Модель акцентує на необхідності формування у викладачів не лише технічних навичок роботи з цифровими інструментами, а й педагогічної майстерності їхнього застосування в освітньому процесі. Результати дослідження є актуальними для розвитку системи вищої педагогічної освіти в Україні в контексті євроінтеграційних процесів та цифрової трансформації суспільства.

Ключові слова: викладач цифрових технологій, педагогічна підготовка. Індустрія 4.0, TRACK, цифрові компетентності, освітня модель.

Сучасний етап розвитку людської цивілізації характеризується стрімким поширенням цифрових технологій, що охоплюють усі сфери суспільного життя. Четверта промислова революція, визначена Клаусом Швабсом як «фундаментальна зміна способу нашого життя, роботи та взаємовідносин, спричинена появою нових технологій» [7], ставить нові вимоги до системи освіти. Індустрія 4.0, базована на технологіях штучного інтелекту, Інтернету речей, великих даних, хмарних обчислень та кіберфізичних систем, потребує фахівців з принципово новими компетентностями [23]. За прогнозами Всесвітнього економічного форуму, до 2030 року 39% ключових навичок працівників зміняться, а штучний інтелект трансформує 86% бізнес-процесів [23]. У цьому контексті особливої актуальності набуває підготовка викладачів цифрових технологій, які покликані формувати професійні компетентності майбутніх фахівців.

Відповідно до положень Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки, система освіти має забезпечити «належну підготовку та кваліфікацію науково-педагогічного персоналу, формування в нього умінь і навичок для ефективного використання інформаційних технологій в освітньому процесі» [2]. Згідно з Концепцією розвитку цифрових компетентностей, схваленою у 2021 році, цифрова компетентність визнається ключовою компетентністю в умовах четвертої промислової революції, яка охоплює інформаційну грамотність, комунікацію, створення цифрового контенту, безпеку та розв'язання проблем [1].

Проблема підготовки викладачів цифрових технологій досліджувалася в працях С.М. Яшанова [11], Б.В. Шевчука [8], Л.М. Петренка [4], а також зарубіжних науковців М. Мішра та М. Келера [15]. Разом з тим, комплексна модель педагогічної підготовки викладача цифрових технологій, інтегрована з вимогами Індустрії 4.0, потребує подальшого теоретичного обґрунтування.

Аналіз наукової літератури свідчить, що сучасні дослідження в галузі педагогічної освіти акцентують увагу на необхідності переходу від традиційної моделі передачі знань до компетентнісної моделі, яка передбачає формування здатності студентів до критичного мислення, творчого вирішення проблем та ефективної комунікації в цифровому середовищі [6]. Це зумовлює потребу в розробці нових моделей підготовки викладачів, адекватних вимогам епохи Індустрії 4.0.

Теоретичні засади підготовки викладачів у галузі цифрових технологій закладені в працях С.М. Яшанова, який обґрунтував методику інформатичної підготовки студентів інженерно-педагогічних спеціальностей з використанням комп'ютерно-орієнтованих засобів навчання [11]. Автор визначив систему дидактичних умов ефективності такої підготовки, зокрема: професійну спрямованість змісту, системність та послідовність формування компетентностей, інтеграцію теоретичної та практичної підготовки.

Б.В. Шевчук у своїх дослідженнях зосередився на використанні хмарних технологій у віртуальному освітньому середовищі закладу вищої освіти [18]. Разом із співавторами він розробив дистанційні курси з цифрових технологій, впроваджені в середовищі Moodle та Google Classroom, що продемонструвало ефективність інтеграції хмарних сервісів у педагогічну підготовку [18].

Л.М. Петренко у монографії «Теоретичні і методичні засади підготовки майбутнього викладача закладів вищої педагогічної освіти до професійної діяльності в умовах цифровізації суспільства» обґрунтувала систему професійно-цифрових компетентностей викладача, представивши їх як «суб'єкта забезпечення особистісного, професійного і професійно-культурного розвитку майбутніх педагогів» [4]. Автор виокремила ключові цифрові компетентності: здатність до якісного використання базового програмного забезпечення; уміння щодо використання комп'ютерних і мобільних пристроїв; здатність до пошуку та критичного оцінювання інформації; компетентність у впровадженні хмарних технологій [4].

Серед зарубіжних досліджень варто виокремити роботу М. Мішра та М. Келера, які запропонували рамку TRACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) – теоретичну модель інтеграції технологій у педагогічну практику [16]. Модель включає сім типів знань (табл. 1): технологічні (ТК), педагогічні (РК), змістові (СК), а також їх перетини ТРК, РСК, ТСК і центральний компонент TRACK [14].

Варто також зазначити внесок Європейського Союзу у розвиток цифрових компетентностей педагогів. Рамка DigCompEdu, розроблена К. Редеккер [17], визначає 22 окремі компетентності в шістьох сферах професійної діяльності педагога, від професійного залучення до оцінювання цифрових компетентностей здобувачів. ЮНЕСКО у третій версії Рамки ІКТ-компетентностей для вчителів [20] акцентує на необхідності підготовки педагогів до використання технологій штучного інтелекту, мобільних технологій та відкритих освітніх ресурсів [20].

Таблиця 1

Компоненти компетентності викладача цифрових технологій у контексті Індустрії 4.0

Компонент	Зміст	Ключові показники
Технологічні знання (ТЗ)	Знання сучасних цифрових технологій: III, IoT, хмарні технології, Big Data, VR/AR	Володіння 8-10 цифровими інструментами; сертифікація з технологій
Педагогічні знання (ПЗ)	Методика викладання цифрових дисциплін, проєктне навчання, гейміфікація	Застосування 5+ методів активного навчання; розробка онлайн-курсів
Змістові знання (ЗЗ)	Предметні знання з програмування, баз даних, мереж, кібербезпеки	Практичний досвід проєктів; участь у професійних спільнотах
Технологічно-педагогічні (ТПЗ)	Здатність інтегрувати технології в педагогічний процес	Використання LMS, цифрових оцінювань, адаптивних систем
Педагогічно-змістові (ПЗЗ)	Розуміння методології предмета та способів її викладання	Розробка методичних матеріалів; менторство
Технологічно-змістові (ТЗЗ)	Вміння використовувати технології для демонстрації предметного змісту	Створення симуляцій, візуалізацій, цифрових двійників
ТРАСК	Інтегративне володіння технологіями, педагогікою та змістом	Розробка інноваційних освітніх програм; наукові публікації

Порівняльний аналіз наукових досліджень дозволяє констатувати, що незважаючи на значний доробок вітчизняних та зарубіжних учених, питання розробки комплексної моделі педагогічної підготовки викладача цифрових технологій, яка б інтегрувала досягнення теорії ТРАСК з вимогами Індустрії 4.0, залишається недостатньо вивченим. Існує потреба в синтезі наявних теоретичних розробок у єдину структурно-функціональну модель, придатну для практичної реалізації в системі вищої педагогічної освіти.

Порівняльний аналіз рамок цифрових компетентностей (табл. 2) демонструє їхню взаємодоповнюваність: ТРАСК надає теоретичну основу для інтеграції технологій, педагогіки та змісту, DigCompEdu пропонує практичні компетентності для професійної діяльності педагога, а UNESCO ICT-CFT визначає рівні підготовки від базового до творчого [20]. Існує потреба в синтезі наявних теоретичних розробок у єдину структурно-функціональну модель, придатну для практичної реалізації в системі вищої педагогічної освіти України.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз рамок цифрових компетентностей викладача

Критерій	ТРАСК	DigCompEdu	UNESCO ICT-CFT
Рік створення	2006	2017	2018 (версія 3)
Фокус	Інтеграція технологій, педагогіки та змісту	Цифрові компетентності педагога	ІКТ-компетентності для вчителів
Ключові компоненти	ТК, РК, СК, ТРК, РСК, ТСК, ТРАСК	6 сфер: професійне залучення, цифрові ресурси, навчання тощо	3 рівні: здобуття, поглиблення, створення знань
Релевантність Індустрії 4.0	Висока (теоретична основа)	Висока (практичні компетенції)	Середня (загальні ІКТ-навички)
Застосування в дослідженні	Структурна основа моделі	Визначення змісту компетентностей	Орієнтир для рівнів підготовки

Індустрія 4.0 зумовлює кардинальні зміни в економіці, технологіях та соціальній сфері, що потребує адекватної трансформації освіти – так званої Освіти 4.0. Ця концепція передбачає перехід від традиційної моделі навчання до персоналізованої, технологічно збагаченої освіти, інтегрованої з реальними виробничими процесами [23].

На підставі аналізу наукових джерел ми визначили, що ефективна підготовка викладача цифрових технологій у контексті Індустрії 4.0 має базуватися на синтезі трьох ключових компонентів (рис. 1): технологічних знань (ТЗ), педагогічних знань (ПЗ) та змістових знань (ЗЗ). Ця триада, запропонована в рамках ТРАСК [23], потребує адаптації до специфіки підготовки викладачів цифрових технологій.

Особливістю адаптованої моделі є розширення традиційної ТРАСК-рамки за рахунок включення компонентів, що відображають вимоги Індустрії 4.0: компетентностей у галузі штучного інтелекту та машинного навчання; навичок роботи з великими даними та їхньої візуалізації; вмінь програмування кіберфізичних систем та робототехніки; розвитку цифрового підприємництва та інноваційного мислення. Крім того, модель акцентує на формуванні педагогічної майстерності застосування цих технологій у навчальному процесі, що відрізняє її від чисто технічних програм підготовки ІТ-фахівців. Адаптована модель ТРАСК інтегрує також компетентності щодо використання технологій віртуальної та доповненої реальності (VR/AR), 3D-моделювання, роботи з хмарними платформами та застосування аналітичних інструментів для оцінювання навчальних досягнень [10].

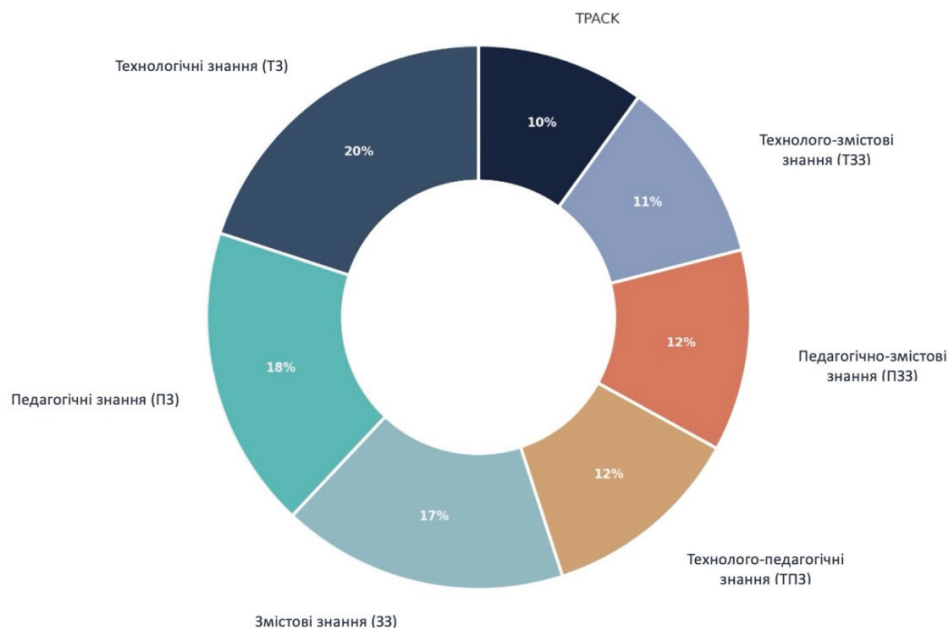


Рис. 1. Адаптована ТРАСК-модель для викладача цифрових технологій

На основі проведеного аналізу нами розроблено структурно-функціональну модель педагогічної підготовки викладача цифрових технологій у контексті Індустрії 4.0 (рис. 2). Модель складається з п'яти взаємопов'язаних компонентів.

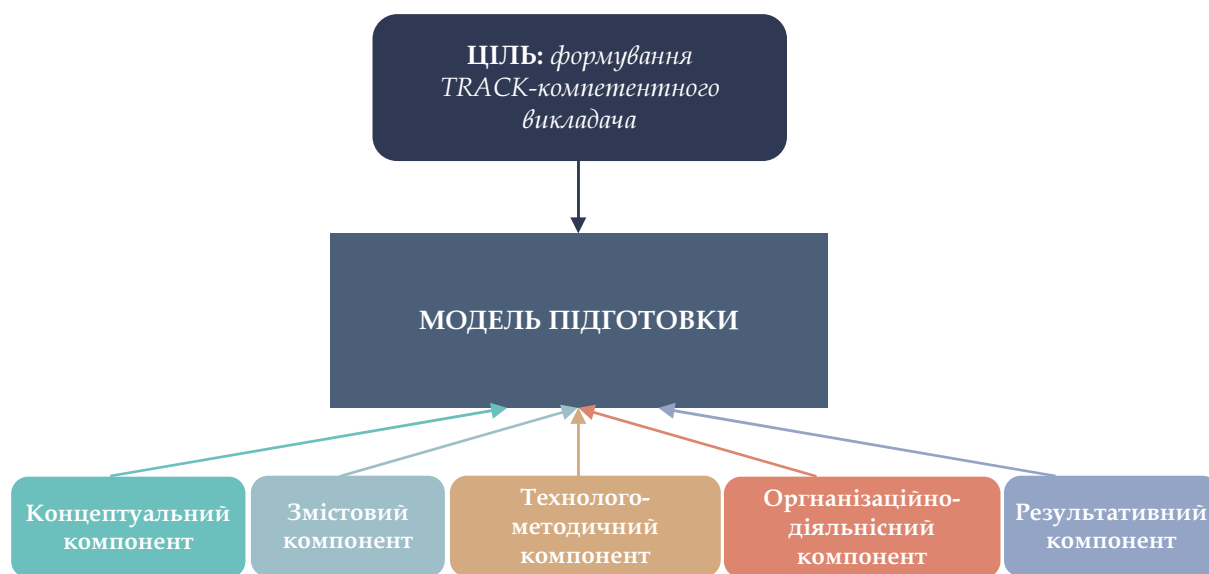


Рис. 2. Структурно-функціональна модель педагогічної підготовки викладача цифрових технологій

Концептуальний компонент визначає цілісне бачення моделі, її філософію та ціннісні засади. Він базується на концепції Освіти 4.0 [23], компетентнісній парадигмі та ідеї безперервного професійного розвитку. Центральною метою є формування ТРАСК-компетентного викладача, здатного ефективно функціонувати в умовах цифрової трансформації освіти [6]. Згідно з рамкою DigCompEdu, концептуальний компонент інтегрує шість сфер професійної діяльності: професійне залучення, цифрові ресурси, навчання та оцінювання, розвиток здобувачів, розширення доступу та оцінювання цифрових компетентностей [17].

Змістовий компонент визначає зміст підготовки, який включає: дисципліни з програмування та розробки програмного забезпечення; технології штучного інтелекту та машинного навчання; хмарні обчислення та Інтернет речей; цифрову грамотність та медіаосвіту; кібербезпеку та етику цифрового світу. Зміст підготовки має бути динамічним і адаптуватися до швидких змін технологічного ландшафту [3]. Особливу роль відіграє інтеграція STEM-підходів у професійну підготовку, що сприяє формуванню міждисциплінарного мислення та практичних навичок вирішення складних завдань [3].

Технологічно-методичний компонент охоплює методи, технології та засоби навчання. До ключових методів належать: проєктне навчання (PBL), перевернутий клас (flipped classroom), гейміфікація, мікронавчання, використання віртуальної та доповненої реальності [21]. Технологічні засоби включають: системи управління навчанням (LMS), хмарні сервіси, платформи для спільної роботи, інструменти ШІ [19]. Важливим є використання відкритих освітніх ресурсів (OER), які сприяють демонстрації доступу до якісних навчальних матеріалів [21]. Згідно з Рекомендацією ЮНЕСКО щодо OER 2019 року, відкриті ресурси є потужним інструментом для забезпечення інклюзивної та справедливої якості освіти [21].

Організаційно-діяльнісний компонент визначає форми організації освітнього процесу: змішане навчання (blended learning); дистанційні та онлайн-курси; стажування в ІТ-компаніях; науково-дослідна робота; участь у професійних спільнотах та хакатонах [12]. Особливу роль відіграє співпраця з ІТ-індустрією для забезпечення актуальності підготовки [12].

Результативний компонент передбачає оцінювання сформованості компетентностей за допомогою: цифрового портфоліо; сертифікаційних іспитів; практичних проєктів; наукових публікацій; зворотного зв'язку від роботодавців. Важливим є використання рамки DigCompEdu для самооцінювання цифрових компетентностей [17] (рис. 3).

Кожен з п'яти компонентів структурно-функціональної моделі є відкритою системою, здатною до адаптації під впливом змін у технологічному та освітньому середовищах. Міжкомпонентні зв'язки забезпечують цілісність моделі та її синергетичний ефект. Концептуальний компонент задає вектор розвитку всього освітнього процесу, змістовий наповнює його актуальним змістом, технологічно-методичний забезпечує ефективну реалізацію, організаційно-діяльнісний створює умови для професійного зростання, а результативний дає змогу оцінити досягнуті результати та скоригувати подальший розвиток [6].

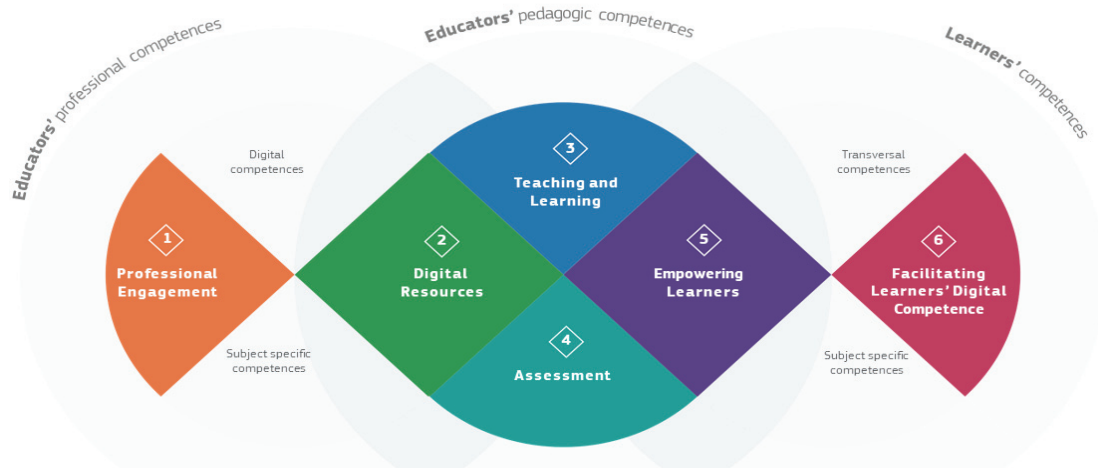


Рис. 3. Європейська рамка цифрових компетентностей педагога DigCompEdu [11]

Відповідно до аналізу рамок цифрових компетентностей DigCompEdu та UNESCO ICT-CFT, нами виокремлено ключові цифрові компетентності викладача цифрових технологій (табл. 3).

Таблиця 3

Цифрові компетентності викладача за рамкою DigCompEdu

Сфера компетентностей	Опис	Рівень (за 5-бальною шкалою)
Професійне залучення	Використання цифрових технологій для комунікації, співпраці та професійного розвитку	4,2
Цифрові ресурси	Пошук, створення, адаптація та управління цифровими освітніми ресурсами	4,0
Навчання та оцінювання	Управління та індивідуалізація навчання з використанням цифрових технологій	3,8
Розвиток здобувачів	Навчання здобувачів компетентностей цифрової грамотності	3,5
Розширення доступу	Забезпечення інклюзивного навчання через цифрові технології	3,9
Оцінювання цифрових компетентностей	Діагностика та розвиток цифрових компетентностей здобувачів	3,7

Аналіз даних свідчить, що найвищий рівень сформованості демонструють компетентності професійного залучення (4,2 бали), тоді як розвиток здобувачів потребує подальшого вдосконалення (3,5 бали). Це підтверджує необхідність цілеспрямованої роботи з формування педагогічних аспектів цифрової компетентності (рис. 4).

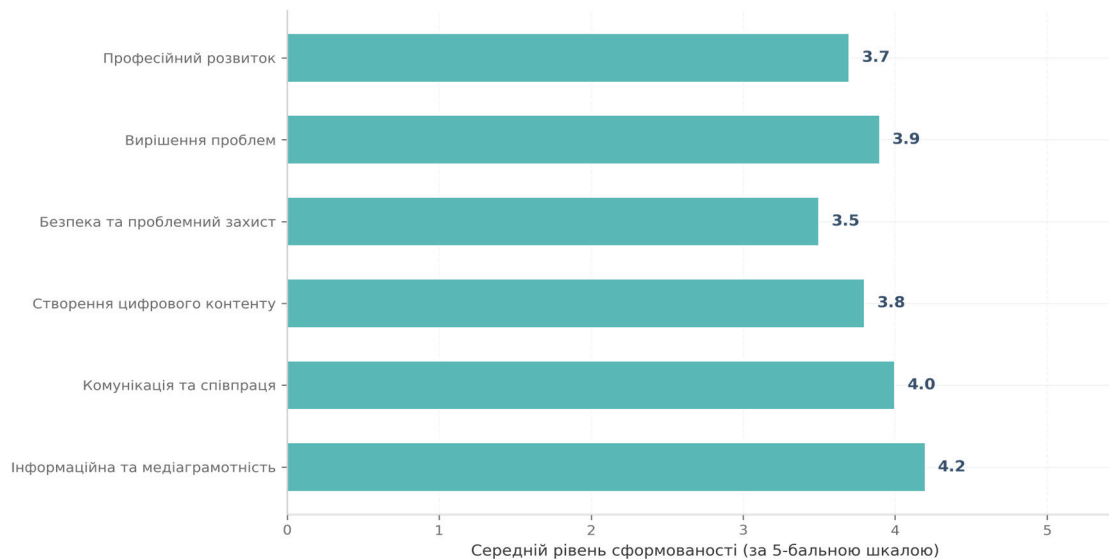


Рис. 4. Рівень сформованості цифрових компетентностей викладачів за рамкою DigCompEdu

Порівняльний аналіз сформованості цифрових компетентностей за сферами DigCompEdu дозволяє констатувати, що викладачі демонструють найвищий рівень у професійному залученні та роботі з цифровими ресурсами, тоді як педагогічні аспекти інтеграції технологій (навчання, оцінювання, розвиток здобувачів) потребують системного вдосконалення. Це свідчить про наявність «технологічного парадоксу», коли викладачі володіють інструментами, але недостатньо розвинені вміння їхнього педагогічного застосування [5]. Подолання цього парадоксу є ключовим завданням запропонованої моделі, яка акцентує на розвитку технологічно-педагогічних та педагогічно-змістових компетентностей [16].

Аналіз міжнародного досвіду свідчить про наявність низки успішних практик підготовки викладачів цифрових технологій у контексті Індустрії 4.0. Згідно з Digital Education Action Plan 2021-2027, країни ЄС активно впроваджують системи мікрокредитів та цифрових значків (digital badges) для визнання неформальних навичок педагогів [12]. Рамка ISTE Standards for Educators визначає сім ключових стандартів для педагогів, серед яких: навчання як лідерство змін, громадянин цифрової епохи, співтворчість та конструктивізм, дизайн та оцінювання, сприяння та наставництво, аналіз даних, а також глобальний співробітник [13].

Особливої уваги заслуговує досвід Фінляндії та Естонії, де впроваджено моделі пожиттєвого навчання (continuous professional development), інтегровані з національними рамками цифрових компетентностей. У Singapore Teacher Academy for the aRts впроваджено систему спеціалізованих сертифікацій з цифрових технологій, що поєднують технічні навички з педагогічною майстерністю [13]. Досвід Естонії демонструє ефективність інтеграції цифрової грамотності в усі рівні підготовки вчителів, починаючи з початкової освіти [12]. Ці практики можуть слугувати орієнтиром для адаптації запропонованої моделі в українському контексті.

Реалізація запропонованої моделі потребує створення комплексної системи підготовки, яка поєднує академічне навчання з практичним досвідом роботи в ІТ-індустрії, науково-дослідну діяльність з педагогічною практикою. Ключовим є принцип «навчання через дослідження» (learning by research), коли студенти беруть участь у реальних проєктах цифрової трансформації освіти [6]. Для практичної реалізації моделі пропонуємо такі ключові заходи: 1) розробка гнучких освітніх програм із модульною організацією навчального процесу; 2) створення лабораторій віртуальної та доповненої реальності для імітації реальних виробничих процесів [23]; 3) впровадження системи менторства з боку практиків ІТ-галузі [12]; 4) розробка цифрового портфоліо здобувача як інструменту накопичення та демонстрації професійних досягнень [17]; 5) інтеграція штучного інтелекту в освітній процес для персоналізації навчання відповідно до Пекінського консенсусу ЮНЕСКО [21], з дотриманням етичних принципів використання ШІ в освіті [22].

У результаті проведеного дослідження розроблено структурно-функціональну модель педагогічної підготовки викладача цифрових технологій у контексті Індустрії 4.0. Модель інтегрує досягнення сучасних теорій педагогічної підготовки (TPACK, DigCompEdu, UNESCO ICT-CFT) та

враховує вимоги цифрової трансформації суспільства [6]. Запропонована модель може слугувати теоретичною основою для проєктування освітніх програм підготовки викладачів цифрових технологій, а також практичним інструментом для оцінювання та розвитку їхніх професійних компетентностей. Модель акцентує на необхідності формування у викладачів не лише технічних навичок роботи з цифровими інструментами, а й педагогічної майстерності їхнього застосування в освітньому процесі.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з експериментальною перевіркою ефективності запропонованої моделі в умовах закладів вищої освіти України, розробкою конкретних освітніх програм на її основі, адаптацією моделі до специфіки різних галузей професійної освіти, а також вивченням впливу цифрової трансформації на професійну ідентичність викладача [6]. Особливої уваги потребує розробка системи індикаторів та критеріїв оцінювання сформованості цифрових компетентностей викладача, що має базуватися на національній рамці цифрових компетентностей [1] та міжнародних стандартах ISTE [13]. Таким чином, запропонована модель педагогічної підготовки викладача цифрових технологій у контексті Індустрії 4.0 відкриває нові можливості для підготовки конкурентоспроможних педагогічних кадрів, здатних забезпечити якісну професійну освіту в умовах цифрової трансформації суспільства. Її впровадження сприятиме підвищенню якості вищої педагогічної освіти в Україні та інтеграції вітчизняної освітньої системи в європейський освітній простір.

References

1. Концепція розвитку цифрових компетентностей : розпорядження Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 № 167-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/167-2021-p>
Kontseptsiiia rozvytku tsyfrovyykh kompetentnostei [Concept for the Development of Digital Competencies]: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 03.03.2021 № 167-r. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/167-2021-p> [in Ukrainian].
2. Концепція розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки : розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 січня 2018 р. № 67-р. *Офіційний вісник України*. 2018. № 16. Ст. 560. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-p>
Kontseptsiiia rozvytku tsyfrovoy ekonomiky ta suspilstva Ukrainy na 2018–2020 roky. (2018). [Concept for the Development of Ukraine's Digital Economy and Society for 2018–2020]: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 17 sichnia 2018 r. № 67-r. *Ofitsiyni visnyk Ukrainy – Official Gazette of Ukraine*. 16. 560. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-p> [in Ukrainian].
3. Кравченко Ю., Симоненко Т. Цифрові тренди STEM-освіти у системі професійної педагогіки: аналіт. огляд. Київ: ДНПБ України імені В. О. Сухомлинського, 2024. URL: <https://dnpb.gov.ua/my/ER4-Vniaso-Stem-2024.pdf>
Kravchenko, Yu., Symonenko, T. (2024). Tsyfrovi trendy STEM-osvity u systemi profesiinoi pedahohiky: analit. Ohliad [Digital Trends in STEM Education within the System of Professional Pedagogy: An Analytical Review]. Kyiv: DNPB Ukrainy imeni V.O. Sukhomlynskoho. Retrieved from: <https://dnpb.gov.ua/my/ER4-Vniaso-Stem-2024.pdf> [in Ukrainian].
4. Петренко Л. М., Кучерявий О. Г., Лавріненко О. А. Теоретичні і методичні засади підготовки майбутнього викладача закладу вищої педагогічної освіти до професійної діяльності в умовах цифровізації суспільства: монографія. Київ: ТОВ «Юрка Любченка», 2024. 246 с. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/742808/>
Petrenko, L. M., Kucheriavyyi, O. H., Lavrinenko, O. A. (2024). Teoretychni i metodychni zasady pidhotovky maibutnoho vykladacha zakladu vyshchoi pedahohichnoi osvity do profesiinoi diialnosti v umovakh tsyfrovizatsii suspilstva [Theoretical and Methodological Foundations for Preparing Future Faculty Members of Higher Education Institutions in Teacher Training for Professional Practice in the Context of Digitalization]: monohrafiia. Kyiv: TOV «Iurka Liubchenka». 246. Retrieved from: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/742808/> [in Ukrainian].
5. Петренко Л. М. Теоретичні і практичні засади підготовки майбутніх викладачів закладів вищої педагогічної освіти до професійної діяльності в умовах цифровізації суспільства. *Вісник Національної академії педагогічних наук України*. 2025. Т. 7, № 2. С. 1–11. URL: <https://doi.org/10.37472/v.naes.2025.7210>
Petrenko, L. M. (2025). Teoretychni i praktychni zasady pidhotovky maibutnikh vykladachiv zakladiv vyshchoi pedahohichnoi osvity do profesiinoi diialnosti v umovakh tsyfrovizatsii suspilstva [Theoretical and Practical Foundations for Preparing Future Teachers at Institutions of Higher Pedagogical Education for Professional Practice in the Context of Digitalization]. *Visnyk Natsionalnoi akademii pedahohichnykh nauk Ukrainy – Bulletin of the National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine*. Т. 7. 2. 1–11. Retrieved from: <https://doi.org/10.37472/v.naes.2025.7210> [in Ukrainian].
6. Цифрова трансформація освіти: теоретико-методичні засади / за заг. ред. В. П. Сергієнка; за наук. ред. Н. П. Франчук. Київ: Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2024. 382 с.
Serhiienko, V. P., & Franchuk, N. P. (Eds.). (2024). Tsyfrova transformatsiia osvity: teoretyko-metodychni zasady [The Digital Transformation of Education: Theoretical and Methodological Foundations]. Kyiv: Vyd-vo UDU imeni Mykhaila Drahomanova. 382. [in Ukrainian].

7. Шваб К. Четверта промислова революція. Женева: Всесвітній економічний форум, 2016. URL: https://law.unimelb.edu.au/__data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf
Shvab, K. (2016). Chetverta promyslova revoliutsiia [The Fourth Industrial Revolution]. Zheneva: Vsesvit-nii ekonomichnyi forum. Retrieved from: https://law.unimelb.edu.au/__data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf [in Ukrainian].
8. Шевчук Б. В. Методика інформатичної підготовки студентів інженерно-педагогічних спеціальностей з використанням комп'ютерно орієнтованих засобів навчання: дис. канд. пед. наук: 13.00.02. Київ, 2018. URL: https://npu.edu.ua/images/file/vidil_aspirant/dicer/D_26.053.19/Shevchuk.pdf
Shevchuk, B. V. (2018). Metodyka informatychnoi pidhotovky studentiv inzhenerno-pedahohichnykh spetsialnostei z vykorystanniam kompiuterno oriientovanykh zasobiv navchannia [Methods for Teaching Computer Science to Students in Engineering and Education Programs Using Computer-Based Learning Tools]: dys. kand. ped. nauk: 13.00.02. Kyiv. Retrieved from: https://npu.edu.ua/images/file/vidil_aspirant/dicer/D_26.053.19/Shevchuk.pdf [in Ukrainian].
9. Шевчук Б. В. Особливості інформаційної підготовки студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. *Наукові записки Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 2. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*. 2017. Вип. 19 (26). URL: <https://enpuirb.edu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/b99f2b33-090e-475d-9ded-659ad787f7e6/content>
Shevchuk, B. V. (2017). Osoblyvosti informatsiinoi pidhotovky studentiv inzhenerno-pedahohichnykh spetsialnostei [Features of Information Training for Students in Engineering and Education Programs]. *Naukovi zapysky Natsionalnoho pedahohichnoho uniwersytetu imeni M. P. Dragomanova. Seria 2. Kompiuterno-oriientovani systemy navchannia – Scientific Notes of the M. P. Dragomanov National Pedagogical University. Series 2. Computer-Based Learning Systems*. Vol. 19(26). Retrieved from: <https://enpuirb.edu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/b99f2b33-090e-475d-9ded-659ad787f7e6/content> [in Ukrainian].
10. Задоріна О. М., Яшанов С. М., Рендюк С. П. Адаптивні системи персоналізованого навчання на основі штучного інтелекту як механізм підвищення якості результатів здобувачів освіти в цифровому середовищі. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2026. № 27.
Zadorina, O. M., Yashanov, S. M., Rendiuk, S. P. (2026). Adaptivni systemy personalizovanoho navchannia na osnovi shtuchnoho intelektu yak mekhanizm pidvyshchennia yakosti rezultativ здobuvachiv osvity v tsyfrovomu seredovyshti [Adaptive personalized learning systems based on artificial intelligence as a mechanism for improving the quality of student outcomes in a digital environment]. *Pedahohichna Akademiia: naukovi zapysky – Pedagogical Academy: Scientific Notes*. 27. [in Ukrainian].
11. Яшанов С. М. Проблеми формування та перспективи розвитку інформаційно-освітнього середовища закладів педагогічної освіти. *Інформатика та інформаційні технології*. 2012. № 2. С. 16–23.
Yashanov, S. M. (2012). Problemy formuvannia ta perspektyvy rozvytku informatsiino-osvitnoho seredovyshta zakladiv pedahohichnoi osvity [Challenges in Developing and Future Prospects for the Information and Educational Environment in Teacher Training Institutions]. *Informatyka ta informatsiini tekhnolohii – Computer Science and Information Technology*. 2. 16–23. [in Ukrainian].
12. European Commission. (2020). European Skills Agenda for sustainable competitiveness, social fairness and resilience. Brussels. Retrieved from: <https://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=1223&langId=en>
13. ISTE. (2017). ISTE Standards for Educators. Washington: ISTE. Retrieved from: <https://www.iste.org/standards/for-educators>
14. Koehler, M. J., Mishra, P. (2008). Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPACK) for educators. New York: Routledge. Retrieved from: https://punyamishra.com/wp-content/uploads/2008/05/koehler_mishra_08.pdf
15. Koehler, M. J., Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*. Vol. 9. No. 1. 60–70 Retrieved from: <https://citejournal.org/wp-content/uploads/2016/04/v9i1general1.pdf>
16. Mishra, P. Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*. Vol. 108. No. 6. 1017–1054. Retrieved from: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ868626.pdf>
17. Redecker, C. Punie, Y. (Ed.). (2017). European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Retrieved from: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC107466/pdf_digcomedu_a4_final.pdf
18. Shchevchuk, L. D., Shevchuk, B. V., Yashanov, S. M. (2021). The Use of Network Services Based on Cloud Technologies in the Virtual Educational Environment of Higher Education Establishment. *Professional Education: Methodology, Theory and Technologies*. Vol. 14. 266–286. DOI: <https://doi.org/10.31470/2415-3729-2021-14-266-286>
19. UNESCO. (2019). Beijing Consensus on Artificial Intelligence and Education. Paris: UNESCO. Retrieved from: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368303>

20. UNESCO. (2023). ICT Competency Framework for Teachers. Paris: UNESCO. Retrieved from: <https://www.unesco.org/en/digital-competencies-skills/ict-cft>
21. UNESCO. (2019). Recommendation on Open Educational Resources (OER). Paris: UNESCO. Retrieved from: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373755>
22. UNESCO. (2021). Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. Paris: UNESCO. Retrieved from: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>
23. World Economic Forum. (2020). Schools of the Future: Defining New Models of Education for the Fourth Industrial Revolution. Retrieved from: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Schools_of_the_Future_Report_2019.pdf

Bordyuk Oleksandr

<https://orcid.org/0000-0003-1247-2895>

*Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Professional Education,
Dragomanov Ukrainian State University
(Kyiv, Ukraine) E-mail: o.m.bordyuk@udu.edu.ua*

Bratanych Andriy

<https://orcid.org/0000-0003-0551-8602>

*Candidate of Pedagogical Sciences,
Associate Professor of the Department of Professional Education,
Dragomanov Ukrainian State University
(Kyiv, Ukraine) E-mail: a.a.bratanych@udu.edu.ua*

Dzus Serhiy

<https://orcid.org/0000-0002-3251-1863>

*Candidate of Pedagogical Sciences,
Associate Professor of the Department of Professional Education,
Dragomanov Ukrainian State University
(Kyiv, Ukraine) E-mail: s.b.dzus@udu.edu.ua*

MODEL OF PEDAGOGICAL TRAINING OF DIGITAL TECHNOLOGIES TEACHERS IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0

The article is devoted to the theoretical substantiation and development of a model for pedagogical training of digital technologies teachers in the context of Industry 4.0.

Purpose of the work: *to develop a scientifically grounded model of pedagogical training of digital technologies teachers, adequate to the requirements of Industry 4.0 and Education 4.0.*

Methodology: *general scientific research methods were applied: theoretical analysis, synthesis, comparison, generalization, system approach, modeling.*

Scientific novelty: *a structural-functional model of pedagogical training of digital technologies teachers has been proposed, which integrates technological, pedagogical and content knowledge (adapted TPACK model) taking into account the requirements of Industry 4.0.*

Conclusions: *the proposed model can serve as a theoretical basis for designing educational programs for training digital technologies teachers, as well as a practical tool for assessing and developing their professional competencies.*

Key words: *digital technologies teacher; pedagogical training; Industry 4.0; TPACK; digital competencies; educational model.*

Стаття надійшла до редакції 05.04.2026

Рецензент: доктор педагогічних наук, професор Сергій Яшанов