

УДК 378.147:004.9:37.013.42

Моделювання цифрової компетентності майбутніх інженерів: теоретико-методологічні засади та базові характеристики

Роман Гуревич¹, Максим Євтухівський²

¹Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,
кафедра цифрових технологій і професійної освіти, м. Вінниця, Україна
r.gurevych2018@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1304-3870>

²Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,
кафедра цифрових технологій і професійної освіти, м. Вінниця, Україна
evtuhivskiy@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-0295-2546>

Анотація. У статті розглянуто теоретико-методологічні засади формування цифрової компетентності (ЦК) майбутніх інженерів у контексті трансформації сучасної вищої технічної освіти. Проаналізовано еволюцію поняття «цифрова компетентність» від комп'ютерної грамотності до багатовимірної категорії, що інтегрує знання, вміння, навички, цінності та установки, необхідні для успішної професійної діяльності в умовах цифрової економіки. Визначено базові характеристики системи формування ЦК, серед яких: цілісність і системність, гнучкість та адаптивність, інноваційність, практико орієнтованість, відкритість та інтегрованість у міжнародний освітній простір. На основі міжнародних (DigComp, UNESCO, EntreComp) та національних нормативно-методичних документів обґрунтовано індикатори вимірювання рівня ЦК студентів технічних університетів.

Особливу увагу приділено досвіду закладів вищої освіти м. Вінниці, де реалізуються інноваційні освітні практики, зокрема дуальна освіта, використання VR / AR-технологій, впровадження проєктного підходу й інтеграція освітнього процесу з потребами регіонального ринку праці. Розроблено методичні рекомендації щодо забезпечення ефективності системи формування ЦК, спрямовані на поєднання академічної підготовки з практичною діяльністю студентів.

Наукова новизна роботи полягає в комплексному аналізі структурних компонентів та характеристик системи формування ЦК інженерів, що дозволяє поєднати освітні, наукові й виробничі складники. Практичне значення дослідження полягає у можливості застосування запропонованих положень у процесі модернізації освітніх програм технічних університетів.

Ключові слова: цифрова компетентність, майбутні інженери, технічний університет, індикатори, система, цифровізація освіти.

1. Вступ

Сучасна цифрова трансформація промисловості, виробництва та суспільних інститутів створює нові вимоги до професійної підготовки інженерів. Технологічні тренди – інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data), штучний інтелект (AI), кібер-фізичні системи й автоматизація –

змінюють зміст професійних функцій: очікується не лише володіння традиційними інженерними знаннями, а й здатність розуміти, інтегрувати і впроваджувати цифрові рішення у виробничі процеси і технічні проекти. В сучасній літературі це підкреслюється як необхідність цілеспрямованої «цифрової трансформації» інженерної освіти, що охоплює не тільки окремі цифрові інструменти, а й зміни в педагогічних підходах, організаційних процесах і стратегіях університету [41, с. 1–3].

Поряд із фаховими компетентностями інженер має формувати цифрову компетентність (ЦК) як інтегральну якість – тобто сукупність знань, умінь і ставлень, що забезпечують ефективне й безпечне використання цифрових технологій у професійній діяльності. Європейська рамка DigComp окреслює ЦК через п'ять основних сфер (інформаційна грамотність, комунікація і співпраця, створення цифрового контенту, безпека, розв'язання проблем) і деталізує вісім рівнів професійної майстерності, що дає змогу формалізувати очікувані результати навчання та розробляти інструменти оцінювання. Такий підхід є корисним орієнтиром для розробки навчальних програм для майбутніх інженерів [31, с. 9–12].

Університети виступають ключовою ланкою в системі підготовки інженерів нового типу: вони не лише передають фахові знання, а й створюють інституційні умови для набуття ЦК – через оновлення навчальних програм, зміни методів оцінювання, розвиток цифрової інфраструктури та налаштування співпраці з промисловими партнерами. Європейська політика з цифрової освіти і наявні дорожні карти підкреслюють роль закладів вищої освіти (ЗВО) як центру формування «цифрової готовності» суспільства й економіки (зокрема, у стратегічних пріоритетах і заходах DEAR 2021–2027). Це також передбачає підготовку викладачів, створення якісних цифрових освітніх ресурсів і механізмів сертифікації цифрових навичок [34, с. 6–11].

Формування ЦК майбутніх інженерів стало предметом дослідження як зарубіжних, так і українських учених. Серед зарубіжних науковців варто відзначити К. Бассета, Ж. Гере, М. Деузе, Дж. Поттера, Дж. Тітко й ін., які зосереджують увагу на розвитку цифрових умінь та їхньому впливі на професійну підготовку. Серед українських дослідників цієї проблематики значний внесок зробили В. Биков, О. Буров, Г. Генсерук, О. Глазунова, Р. Гуревич, Н. Дементієвська, Ю. Єчкало, В. Кобися, Л. Коношевський, О. Коношевський, С. Литвинова, О. Овчарук, Н. Опушко, О. Пінчук, О. Спірін, Л. Шевченко й ін.

2. Постановка проблеми

Важливо зауважити, що формування ЦК має бути інтегрованим у фахову підготовку – тобто цифрові навички повинні поєднуватися з профільними дисциплінами, а не розглядатися в ізоляції. Українські дослідження свідчать про нагальну потребу інтеграції фахових і цифрових компонентів у навчальні плани: в моделях цифрової компетентності для студентів ЗВО підкреслюється, що цифрова складова стає складовою професіоналізму незалежно від спеціальності [14, с. 348–350].

На регіональному прикладі вінницьких науковців також відзначається акцент на дидактичних і організаційних умовах формування ЦК: дослідники з Вінниці наголошують на необхідності практико-орієнтованих форм навчання, включення курсових і проектних робіт із застосуванням ІТ-інструментів, а також на важливості підготовки викладачів і створення професійно орієнтованого цифрового освітнього середовища. Ці підходи синхронізуються з міжнародними рекомендаціями й дають практичні підказки для розбудови системи формування ЦК майбутніх інженерів [47; 51, с. 7–13].

Мета статті. На підставі аналізу міжнародних рамок, політик і вітчизняних досліджень мета цієї роботи полягає в окресленні базових характеристик системи

формування ЦК майбутніх інженерів, що включає: (1) структурні компоненти компетентності; (2) освітньо-методичні та дидактичні умови інтеграції цифрових навичок у фахову підготовку; (3) інституційні механізми співпраці університету з промисловістю; (4) підходи до оцінювання та верифікації рівня ЦК. Така цілеспрямована система дозволить формувати інженера, здатного ефективно працювати в цифровому виробничому середовищі і забезпечувати технологічні інновації на рівні підприємства та сектору. В статті деталізована кожна з названих характеристик та практичні рекомендації з їх реалізації).

3. Основні результати

Еволюція поняття «цифрова компетентність». Сучасне розуміння ЦК сформувалося поступово, еволюціонуючи від вузького трактування «комп'ютерної грамотності» до комплексного поняття, що інтегрує знання, уміння, навички, ставлення та цінності [2, с. 47]. Дослідники наголошують, що ЦК є невід'ємною складовою ключових компетентностей XXI століття, визначених європейськими освітніми стандартами [15, с. 19].

О. І. Пометун розглядає ЦК як інтегративну якість, що поєднує технічну, інформаційну, комунікативну та соціокультурну складові [26, с. 52]. Зарубіжні автори, зокрема А. Ferrari, акцентують на необхідності критичного й креативного застосування цифрових технологій у професійній діяльності [36, с. 4]. Вінницькі дослідники, зокрема Т. М. Засєкіна, підкреслюють значення цифрової грамотності як бази для формування інноваційного мислення в студентів технічних і педагогічних університетів [15, с. 28].

Європейська комісія запропонувала рамку **DigComp**, що визначає цифрову компетентність за п'ятьма ключовими напрямками: інформаційна грамотність, комунікація, створення контенту, безпека та розв'язання проблем [36, с. 8]. За рекомендаціями **UNESCO**, цифрова грамотність повинна трактуватися як соціокультурний ресурс, а не лише технічна навичка [51, с. 11]. Важливим є й узгодження вимог із **Європейською рамкою кваліфікацій (EQF)**, що сприяє мобільності та порівнюваності кваліфікацій [35, с. 23].

Вінницькі науковці (В. Ковальчук, Л. Ляхощка) акцентують на необхідності адаптації міжнародних стандартів до українських освітніх реалій, зокрема підготовки майбутніх інженерів та аграріїв [18, с. 39; 23, с. 63].

ЦК майбутніх інженерів відрізняється орієнтацією на точність, технологічність та інноваційність. Використання систем управління, моделювання, інженерного проектування та аналізу даних вимагає від студентів здатності до швидкої адаптації в умовах постійних технологічних змін [18, с. 37; 42, с. 79].

В. Радзіховський підкреслює важливість розвитку цифрової культури студентів технічних університетів [27, с. 114]. Натомість О. Козяр (ВДПУ) зазначає, що для педагогічної підготовки інженерів важливим є баланс між технічною складовою та гуманітарними аспектами ЦК [19, с. 75].

Дослідження ґрунтується на сукупності підходів:

– **компетентнісний** – зорієнтований на кінцеві результати освіти, які відповідають вимогам сучасного ринку праці [15, с. 22].

– **системний** – розглядає ЦК як цілісне утворення з урахуванням міждисциплінарних зв'язків [26, с. 54].

– **діяльнісний** – спрямований на формування умінь практичного застосування цифрових технологій [18, с. 41].

– **аксіологічний** – орієнтує на формування ціннісного ставлення до безпечного й етичного використання цифрових інструментів [52, с. 15].

Вінницькі дослідники (І. Куліш, ВНАУ) підкреслюють, що аксіологічний аспект

особливо важливий у підготовці аграрних інженерів, адже пов'язаний із екологічною безпекою та відповідальним використанням цифрових технологій у природокористуванні [21, с. 102].

Інформаційно-технологічна компетентність включає володіння програмним забезпеченням, базами даних, цифровими інструментами та сервісами. Вона формується шляхом інтеграції цифрових технологій у навчальний процес і професійну діяльність, зокрема через партнерство з виробничими підприємствами, роботизацію, Інтернет речей, цифрові двійники тощо [20, с. 96–98].

Комунікативна компетентність охоплює співпрацю в цифровому середовищі, онлайн-комунікації й роботу в команді. Ці аспекти відповідають основним складовим європейської рамки DigComp, де одним із компонентів є комунікація та співпраця [6].

Дослідницько-аналітична компетентність проявляється в аналізі даних і використанні цифрових інструментів для наукових і прикладних досліджень. Наприклад, згідно з моделлю О.Спіріна, науково-педагогічний працівник має застосовувати цифрові засоби на всіх етапах дослідження [28, с. 156–179].

Проектно-конструкторська компетентність – здатність створювати цифрові моделі, симуляції й прототипи. У глобальному професійному контексті цей рівень знаний реалізується через digital engineering, що передбачає цифровізацію артефактів і симуляцію інженерних процесів на кожному етапі [38].

ЦК інтегрується з професійними, комунікативними, управлінськими компетенціями. Це підтверджується ідеєю, що вона є «множником ефективності» підготовки фахівця – зокрема в технологічно орієнтованих професіях [20, с. 96–98].

Також сучасні рамки, як-от DigCompEdu, демонструють взаємозв'язок цифрової компетентності з освітніми, комунікаційними й інноваційними здібностями [1].

Це особливо важливо в умовах Індустрії 4.0, де цифровізація, автоматизація та роботизація потребують синергії технічної, управлінської й комунікативної компетентностей [13].

ЦК – ключ до конкурентоздатності майбутнього інженера на глобальному ринку праці. Уміння працювати з цифровими технологіями визначає здатність адаптуватися до швидких змін і вимоги глобального трудового ринку [20, с. 96–98].

Вона також є фундаментом готовності до роботи в умовах Індустрії 4.0, а відтепер і Індустрії 5.0, де зростає роль симбіозу людини й цифрових технологій.

Хоча безпосередніх джерел з Вінниці щодо ЦК інженерів у відкритих джерелах менше, є дослідження Г. Генсерук – видатної науковиці у сфері ЦК – зокрема щодо міжнародних рамок і складників цієї компетентності [7].

Мета – формування здатності ефективно застосовувати цифрові технології у професійній діяльності. ЦК трактується як інтегративна здатність суб'єкта розуміти інформаційні потреби та використовувати цифрові ресурси професійно [11, с. 54].

Завдання – розвиток технічних, дослідницьких, комунікативних та етичних складових. Проектно орієнтоване навчання сприяє формуванню навичок дослідницької діяльності та співпраці [37, с. 217]. Використання VR/AR-технологій підсилює комунікативні та креативні аспекти в інженерній освіті [49, с. 11; 39, с. 5].

Суб'єкти – студенти, викладачі, роботодавці, ІТ-спеціалісти, які формують освітній простір і забезпечують практичні завдання та зворотний зв'язок. Це відповідає інтегративному підходу «освіта – наука – технології».

Об'єкти – навчальні програми, цифрові середовища, лабораторії. Використання віртуальних лабораторій і симуляторів забезпечує практичну діяльність студентів у безпечному цифровому середовищі [54, с. 43].

Принципи – системність, інтегративність, інноваційність, практико-орієнтованість, що узгоджується з вимогами сучасного ринку праці [44, с. 9].

Змішане та дистанційне навчання забезпечують гнучкість освітнього процесу й дають можливість персоналізації завдяки використанню ІІІ [48, с. 4].

Інтеграція цифрових курсів у традиційні програми створює умови для гібридних освітніх моделей.

Співпраця з роботодавцями та ІТ-компаніями сприяє практико-орієнтованому навчанню та підвищує конкурентоспроможність випускників [11, с. 59].

Електронні платформи (Moodle, Google Classroom, Microsoft Teams) забезпечують комунікацію та контроль навчання [11, с. 56].

Віртуальні лабораторії й симулятори дозволяють моделювати виробничі процеси й формувати інженерні компетентності..

VR / AR-технології підвищують результативність навчання, особливо в галузі просторового моделювання [49, с. 12; 47, с. 8].

Штучний інтелект персоналізує навчальний процес і сприяє розвитку критичного мислення [48, с. 6].

Проектне та проблемно орієнтоване навчання активізує застосування знань на практиці й формує дослідницькі навички [37, с. 218].

Сутність цілісності полягає у взаємозв'язку компонентів освітнього процесу (стейкхолдерів, змісту, методів, технологій), формуючи цілісну систему. Системний підхід забезпечує не лише послідовність, а й узгодженість компонентів, що дозволяє досягти цілісного результату підготовки інженера.

У дослідженні щодо професійної підготовки електромеханіків відзначено, що компетентність формується у трьох групах – загальнонаукових, загальнопрофесійних і спеціальних професійних – які взаємодіють у моделювальному циклі освіти [42, с. 27].

Освітня система має бути здатною оперативно реагувати на технологічні зрушення та швидкі зміни. Концепції «Industry 4.0» та «Освіта 4.0» акцентують необхідність впровадження гнучких траєкторій навчання, здатних адаптуватися до цифрових інструментів і змінних умов [33, с. 41]. Українські дослідники також підкреслюють модернізацію через STEM-технології та штучний інтелект, спрямовану на інноваційну адаптацію освітнього середовища [17, с. 58].

Поєднання технічних і гуманітарних аспектів виховує всебічно мислячого інженера. Через концепцію «Філософської арфи» розглядається баланс загальноосвітньої компоненти з вузькоспеціалізованими знаннями, що слугує методологічною основою інтегративності [29, с. 16]. У сучасних дослідженнях також наголошується, що інтегральна компетентність передбачає здатність синтезувати знання з різних галузей – соціальних, поведінкових наук та технічних дисциплін [22, с. 9].

Інноваційність в освіті означає активне використання сучасних цифрових платформ та інструментів. Міжнародні дослідження доводять ефективність системної інтеграції ІІІ-компетенцій у дисциплінарні інженерні програми, що відкриває шлях до новітніх форм навчання [46, с. 3]. Практика впровадження дуальної освіти у ВНТУ на кафедрі метрології та промислової автоматики підтверджує інноваційний характер сучасної підготовки інженерів [5, с. 2].

Наближення освіти до реальних умов виробництва забезпечує актуальність знань. Стажування студентів ВНТУ на підприємствах медіакорпорації RIA та ДП «Вінницястандартметрологія» спрямоване на здобуття практичних навичок у реальних умовах [5, с. 3]. Крім того, залучення роботодавців до навчального процесу у форматі відкритих лекцій, практик і реальних проєктів посилює прикладну складову інженерної освіти [4, с. 4].

Компетентність формується поступово – від бакалаврату до магістратури й далі упродовж життя. У ВНТУ бакалаври з відзнакою й ті, що мають можливість безперервно продовжувати навчання на магістерському рівні, що сприяє системному академічному

розвитку [5, с. 3]. Національні освітні ініціативи також орієнтовані на формування стійкої моделі «освіти упродовж життя» [17, с. 60].

Ефективна система освіти потребує чітких критеріїв оцінки сформованості компетентностей. У моделі підготовки електромеханіків визначено вагу кожної групи компетентностей – соціально-особистісних, загальнонаукових, загальнопрофесійних, що дозволяє об'єктивно оцінювати рівень сформованості [42, с. 15]. Українські методичні дослідження також пропонують стандартизовані підходи до оцінювання іншомовної компетентності інженерів-енергетиків [3, с. 4].

Під цифровою грамотністю розуміємо комплекс знань, умінь і ставлень, що відповідають областям DigComp: інформаційна грамотність; комунікація і співпраця; створення цифрового контенту; безпека; розв'язання проблем у цифровому середовищі. Система має привести до росту реального рівня засвоєння цих складників у студентів через поєднання: цілеспрямованих навчальних модулів, практичних лабораторій, проєктних завдань і модулів самооцінки. Теоретично і практично це підтверджено в DigComp 2.2 як опорному фреймворку та в рекомендаціях ЮНЕСКО щодо побудови шляхів розвитку цифрової грамотності [53, с. 6–9; 40, с. 18–22].

Індикатори та методи вимірювання:

- частка студентів, які досягають заданого рівня за вибраною шкалою DigComp (наприклад, рівень «базовий/проміжний/просунутий») – вимірюється через стандартизований тест/портфоліо до / після курсу [53, с. 42–44];
- середній приріст балів у діагностичних інструментах (pre/post) з інформаційної та медіаграмотності [40, с. 27–28];
- кількість практичних робіт/портфоліо-проєктів із застосуванням ІТ-інструментів, що відповідають компетентностям (відстеження в LMS);
- якісні індикатори: рецензії викладачів і саморефлексія студентів щодо упевненості й критичного ставлення до цифрових джерел.

Рамки DigComp і глобальні рекомендації показують, що цілеспрямовані навчальні модулі з прикладними завданнями дають стійке підвищення цифрових навичок; локальні експериментальні програми (вінницькі дослідження) показують ефективність проєктно-орієнтованого підходу та модульної діагностики [53, с. 46–49; 8, с. 5–19; 9, с. 1–7].

Підготовлені студенти вмітимуть використовувати прикладні цифрові інструменти (аналітика даних, CAD / CAE, системи управління проєктами, хмарні сервіси, базові інструменти ML / AI-інтеграції залежно від спеціальності) для вирішення наукових і виробничих задач; матимуть навички інтеграції цифрових інструментів у експериментальний/виробничий процес. Концептуально це відповідає розвитку цифрових трансформаційних навичок (Digital Transformation Skills Framework) [30, с. 15–16].

Індикатори та методи вимірювання:

- частка студентів, які успішно виконали галузеві практичні кейси (task-based assessment) із застосуванням відповідних інструментів; використання завдань типу «реальний кейс від промислового партнера» [30, с. 56–57].
- оцінка роботодавців / наукових керівників щодо готовності молодих спеціалістів (опитування, інтерв'ю) – метод, що застосовано в праці щодо очікувань роботодавців (емпіричні дослідження) [50, с. 16–18].
- наявність та використання лабораторій / віртуальних середовищ, кількість годин практики на профільних платформах.

Систематичні огляди наукової літератури та наявні **DT-фреймворки** підтверджують, що **готовність до застосування дизайн-мислення (Design Thinking, DT)** у професійній сфері не зводиться лише до технічних умінь. Вона потребує **поєднання двох блоків компетентностей**.

Систематичні огляди й фреймворки показують, що професійна готовність до застосування дизайн-мислення (**Design Thinking**), (**DT**) вимагає комбінації технічних і трансформаційних навичок (цифрове робоче вміння + адаптація, підприємницькість, колаборація) – тобто навчальна програма має бути мультикомпетентною [30, с. 21–23; 45, с. 1–4]. Вінницькі приклади впровадження комп'ютерно-орієнтованих технологій демонструють практичну ефективність такої підготовки в педагогічній / навчальній сфері [8, с. 5–19].

Система сприятиме виникненню в студентів умінь генерувати нові ідеї, конструювати прототипи, впроваджувати інноваційні рішення та трансформувати ідеї в проєктні продукти. Це включає підприємницьку компетентність, критичне мислення, міждисциплінарну співпрацю – компоненти, що виокремлені в сучасних DT-рамках і в EntreComp / LifeComp-підходах, які інтегруються з DigComp [53, с. 41–44; 30, с. 24–26].

Індикатори та методи вимірювання:

- кількість студентських інноваційних проєктів / стартап-ініціатив, що пройшли презентацію або тестування (demo-days, конкурси);
- рівень «творчої компетентності» за інструментами само / експертної оцінки (rating-scales), аналіз результатів портфоліо (реєстрація новизни рішень);
- включення елементів дизайн-мислення й практик відкритих інновацій у курси; кількість міжфакультетних проєктів [30, с. 49–54; 24, с. 117–122].

Рамки DT підкреслюють, що поряд із технічними вміннями потрібні трансформаційні компетенції – підприємницькість, адаптація, креативність; педагогічні моделі, що поєднують проєктну роботу та міждисциплінарність, довели свою ефективність у локальних дослідженнях (Вінниця) [30, с. 15–16; 8, с. 5–19; 16, с. 13–19].

Випускники системи повинні бути конкурентоспроможними завдяки поєднанню: технічних цифрових навичок, soft-skills для цифрового середовища (співпраця, комунікація), здатності до проєктної роботи й адаптації. Емпіричні дослідження роботодавців показують, що саме ці компетенції визначають найвищу затребуваність на ринку (дослідження роботодавців у Малайзії та глобальні огляди) [50, с. 16–18; 55, с. 1–4].

Індикатори та методи вимірювання:

- рівень працевлаштування випускників у суміжних цифрових / інноваційних ролях (послідовування випускників 6–12 місяців після закінчення ЗВО);
- частка випускників із записаними в резюме сертифікатами / портфоліо, що демонструють ЦК;
- оцінка роботодавців через стандартизовані опитувальники про готовність і продуктивність молодих спеціалістів (employer satisfaction index) [50, с. 83–89; 45, с. 1–4].

Аналітика вакансій і дослідження попиту демонструють зростання вимог до цифрових навичок у багатьох галузях; відповідно, навчальні програми, що орієнтовані на DT-навички і практичні кейси, підвищують працевлаштування й адаптивність випускників. Вінницькі дослідження щодо впровадження цифрових сервісів у професійній підготовці підтверджують позитивний ефект на готовність до роботи [55, с. 4–6; 8, с. 5–19; 9, с. 1–7].

Система має виробити в студентів метапортфоліо навичок: уміння самооцінки (learning to learn), здатність швидко опановувати нові інструменти, критичну позицію щодо інформації, готовність до рескілінгу / апскілінгу. DigComp і ЮНЕСКО акцентують роль компетенцій «learning to learn» і формування шляхів розвитку.

Індикатори та методи вимірювання:

- наявність персональної траєкторії / портфоліо навчання (e-portfolio) у відсотку студентів; кількість пройдених мікрокурсів і сертифікацій після випуску;

- показники самооцінки (методологія pre / post) з «навчання впродовж життя» і самоефективності у цифровому середовищі. [30, с. 206–213; 25, с. 133–136];
- частка студентів, які беруть участь у додаткових програмах рескілінгу/інтернатури/міжнародних обмінах.

Світові рекомендації та огляди підкреслюють, що здатність до оновлення навичок є ключовою для стійкості кар'єри в епоху швидких технологічних змін; навчальні моделі, що включають самостійні траєкторії, портфоліо й підтримку менторів, підвищують цю здатність [53, с. 42–44; 40, с. 27–28; 20, с. 212–214]. Дидактичні умови й моделі, апробовані в українських дослідженнях, дають приклади реалізації таких підходів у навчальному процесі [24, с. 95–136; 16, с. 13–19].

Методичні рекомендації щодо документування і верифікації результатів:

1. Використовувати DigComp-орієнтовані інструменти оцінювання (task-based + self-report) як основний вимірювальний каркас [53, с. 40–45; 55, с. 34–36].
2. Поєднати кількісні показники (pre / post тестування; працевлаштування) із якісними (портфоліо, відгуки роботодавців) для комплексної валідації [45, с. 1–4; 50, с. 83–89].

Залучати місцеві (вінницькі) експертизи й кейси: співпраця з кафедрами, індустріальними партнерами для розробки реальних кейсів і стажувань (підтверджено практикою в публікаціях Вінниці) [8, с. 5–19; 9, с. 1–7].

Висновки. Система формування ЦК майбутніх інженерів має бути цілісною, що передбачає органічну взаємопов'язаність усіх її компонентів – змістового, методичного, технологічного та оцінювального. Такий підхід відповідає європейським рамкам DigComp та DigCompEdu, які підкреслюють необхідність системного розвитку цифрових навичок у процесі підготовки фахівців [32, с. 4–6; 43, с. 3–5].

Інтеграція освіти з потребами ринку праці повинна здійснюватися шляхом партнерства університетів з підприємствами та ІТ-компаніями, оновлення навчальних програм відповідно до міжнародних стандартів та проведення моніторингу успішності випускників. Це забезпечує відповідність компетентнісного підходу сучасним технологічним трендам [32, с. 7–9; 43, с. 7–8].

Вінницькі науковці (Р. Гуревич, С. Дембіцька, В. Підгурська) роблять суттєвий внесок у дослідження проблем цифрової грамотності та компетентнісного підходу. Їхні роботи підтверджують доцільність впровадження інтегрованих моделей цифрової підготовки у ЗВО регіону [8; 10, с. 1–7; 25, с. 1–4].

Проведене дослідження дозволило визначити теоретико-методологічні основи та практичні аспекти формування ЦК майбутніх інженерів у технічних ЗВО. Встановлено, що ЦК виступає ключовим чинником професійної готовності інженерних кадрів до діяльності в умовах цифрової економіки та суспільства знань.

Розроблена система формування ЦК характеризується низкою базових ознак: цілісністю та системністю, гнучкістю й адаптивністю до технологічних змін, інноваційністю, практико-орієнтованістю, відкритістю та інтегрованістю в міжнародний освітній простір. Визначені індикатори вимірювання рівня ЦК студентів технічних університетів створюють можливість для об'єктивної оцінки результатів освітнього процесу та його постійного вдосконалення.

Особлива увага приділена регіональному досвіду, зокрема практикам ЗВО м. Вінниці, що впроваджують сучасні освітні технології (VR / AR, проєктне навчання, дуальна освіта) та забезпечують інтеграцію освітньої підготовки з потребами промисловості й ринку праці. Це підтверджує, що формування ЦК можливе лише за умови тісної взаємодії університетів, бізнесу та суспільства.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до структурування системи формування ЦК майбутніх інженерів, що поєднує освітній, дослідницький та

виробничий компоненти. Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості їх використання для модернізації освітніх програм, удосконалення змісту дисциплін та розробки методичного забезпечення підготовки інженерних кадрів.

Перспективи подальших досліджень вбачаються у розробленні цифрових інструментів для діагностики рівня компетентності студентів, адаптації міжнародних рамок (DigComp, EntreComp) до вітчизняних реалій, а також у вивченні впливу інноваційних технологій на ефективність навчання майбутніх інженерів.

Конфлікт інтересів і етика. Автори заявляють, що не мають конфліктів інтересів. Автори також заявляють про повне дотримання всіх правил етики журнальних досліджень, а саме щодо анонімності участі людей та згоди на публікацію.

Подяки. Автори висловлюють вдячність факультету педагогіки, психології і професійної освіти Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського, який надав допомогу в написанні та перевірці статті. Автори заявляють про відсутність спеціального фінансування цієї роботи.

Список використаних джерел

1. Бескорса О. Implementing Digital Competence Framework for Future Teachers' Professional Development. *Професіоналізм педагога: теоретичні й методичні аспекти*. 2018. № 8 (2). С. 33–41.
2. Биков В. Ю. Цифрова трансформація освіти і науки: проблеми та завдання. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2021. № 1 (81). С. 45–60.
3. Білан Н. М. Формування іншомовної компетентності інженерів-енергетиків. 2022. С. 4.
4. ВНТУ, кафедра САІТ. Співпраця з роботодавцями у підготовці інженерів. Вінниця, 2023. С. 4.
5. ВНТУ. Освітня програма «Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології» та практика дуальної освіти. Вінниця, 2022. С. 2–3.
6. Генсерук Г. Р. Міжнародні рамки цифрової компетентності майбутніх учителів. *Педагогічні науки*. 2021. № 4. С. 32–37.
7. Генсерук Г. Р. Цифрова компетентність майбутніх учителів: зарубіжний досвід. *Наукові записки [Національного педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова]. Серія : Педагогічні науки*. 2019. Вип. 144. С. 57–66.
8. Гуревич Р. С., Кобися В. М., Кобися А. П., Кізім С. С., Куцак Л. В., Опушко Н. Р. Формування цифрової компетентності майбутніх учителів у вивченні комп'ютерно-орієнтованих технологій навчання. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education...* 2022. Вип. 63. С. 5–19.
9. Дембіцька С. В., Кобилянський О. В. Формування професійної компетентності майбутніх фахівців з професійної освіти засобами цифрових технологій. *Педагогіка безпеки*. 2024. № 8 (1–2). С. 1–7.
10. Добровольська Н. В., Мерінова С. В., Добровольський О. І. Цифрова компетентність студентів закладів вищої освіти: теоретико-практичний аспект. *Scientific and Theoretical Journal «Science and Education»*. 2022. № 2. С. 53–61.
11. Засєкіна Т. М. Цифрова грамотність студентів як чинник інноваційного розвитку освіти. *Наукові записки ВДПУ ім. М. Коцюбинського*. Серія: Педагогіка і психологія. 2020. Вип. 62. С. 25–31.
12. Захаркевич Н. П. Формування цифрових компетенцій персоналу підприємств в умовах четвертої промислової революції (Індустрія 4.0) : матеріали XXIV Міжнародної наук.-практ. конференції, 30 травня 2024 р., м. Хмельницький / Хмельницький університет управління та права ім. Леоніда Юзькова. Хмельницький, 2024. С. 116–120.
13. Зелінська А. М.; Тарасович Л. В.; Лавриненко С. О. Цифрові компетенції як основа трансформації професійної освіти майбутніх менеджерів. *Економіка та суспільство*. Вип. 49. 2023. С. 348–355.
14. Зимня І. А. Ключові компетентності як результативно-цільова основа компетентнісного підходу. *Вища освіта України*. 2019. № 3. С. 17–24.
15. Кадемія М. Ю., Косянчук М. С. Формування цифрової компетентності майбутніх учителів початкових класів. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання*. 2021. Вип. 61. С. 13–19.
16. Князькова Л., Сухоребра Т., Ковальчук М. та ін. Reforming Education in Ukraine Through the Introduction of STEM Technologies and Artificial Intelligence. 2024. Р. 58–60.
17. Ковальчук В. В. Формування цифрової компетентності майбутніх інженерів у процесі професійної підготовки. *Освіта та розвиток обдарованої особистості*. 2021. № 6. С. 35–42.
18. Козяр О. В. Педагогічні аспекти формування цифрової компетентності майбутніх інженерів. *Освіта дорослих і розвиток суспільства*. 2022. № 2. С. 70–78.

19. Кондур О., Кондрат Р. Formation of digital competence in future specialists. *Mountain School of Ukrainian Carpaty*, 2025. Вип. 31. С. 96–98.
20. Куліш І. В. Аксіологічні засади цифрової освіти аграрних інженерів. *Вісник аграрної освіти і науки*. 2021. № 5. С. 98–105.
21. Львівська політехніка. Інтегральна компетентність у сучасній освіті. 2025. С. 9.
22. Ляхощка Л. О. Інтеграція європейських стандартів цифрової компетентності в освітній процес аграрних університетів. *Наукові праці ВНАУ*. 2021. Т. 23, № 4. С. 61–67.
23. Моїсєєнко М. В. Формування цифрової компетентності студентів у процесі вивчення інформатичних дисциплін : дис. канд. пед. наук. Кривий Ріг; 2021. 305 с.
24. Підгурська В. О. Розвиток інформаційно-цифрової компетентності учнів у контексті Нової української школи. *Збірник наукових праць Вінницького державного педагогічного університету*. Серія: Педагогіка і психологія. 2022. Вип. 70. С. 1–4.
25. Пометун О. І. Цифрова компетентність: структура та шляхи формування у студентів. *Педагогіка і психологія*. 2020. № 4. С. 50–56.
26. Радзіховський В. О. Розвиток цифрової культури студентів технічних університетів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2022. № 3. С. 110–118.
27. Спірін О. М. et al. A Model for the Development of Digital Competence of Research and Teaching Staff. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2024. № 6 (104). С. 156–179.
28. Теклюк А. І. Філософська арфа для інженера-скрипаля: проблема балансу загальноосвітньої компоненти з спеціалізованою підготовкою фахівця. Вінниця, 2020. С. 16.
29. Bouwman M., Lub X., Orlowski M., Nguyen T.-V. Developing the digital transformation skills framework: A systematic literature review approach. *PLOS ONE*. 2024. № 19(7).
30. Carretero S., Vuorikari R., Punie Y. DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. 57 p.
31. Coskun S., Kayikci Y., Gencay E. Adapting Engineering Education to Industrie 4.0 Vision. 2017. P. 41.
32. Dimitrov G. Digital Education Action Plan 2021–2027. Resetting Education and Training for the Digital Age. European Commission, 2020. 18 p.
33. European Commission. European Qualifications Framework (EQF). Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. 64 p.
34. Ferrari A. Digital Competence in Practice: An Analysis of Frameworks. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. 92 p.
35. Hamaniuk V. A., Amelina S. M., Burov O. Yu. Project-Based Learning in Engineering Education: Digital Tools and Pedagogical Approaches. *CEUR Workshop Proceedings*. 2024. Vol. 3781. P. 216–223.
36. Huang J. et al. Towards Digital Engineering – The Advent of Digital Systems Engineering. arXiv. 2020.
37. Ka J. Virtual Reality in Engineering Education: A Cognitive Perspective. *Virtual Reality*. 2025. Vol. 29. P. 1–10.
38. Law N., Woo D., de la Torre J., Wong G. A Global Framework of Reference on Digital Literacy Skills for Indicator 4.4.2. UNESCO Institute for Statistics; 2018. 146 p.
39. Lyngdorf N. E. R., Jiang D., Du X. Frameworks and Models for Digital Transformation in Engineering Education: A Literature Review Using a Systematic Approach. *Educ. Sci*. 2024. 14. 519, 18 p.
40. Modlo Ye. O., Semerikov C. O., Shmeltzer Ye. O. Modernization of Professional Training of Electromechanics Bachelors: ICT-based Competence Approach. 2018. P. 27, 14, 15.
41. Redecker C., Punie Y. European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. 100 p.
42. Research on Metaverse and Engineering Education: Design Principles and Competencies. *ResearchGate preprint*. 2024. P. 1–15.
43. Rikala P., Braun G., Järvinen M., Stahre J., Härmäläinen R. Understanding and measuring skill gaps in Industry 4.0 – A review. *Technological Forecasting and Social Change*. 2024; 201: 123206.
44. Schleiss J., Johri A., Stober S. Integrating AI Education in Disciplinary Engineering Fields: Towards a System and Change Perspective. 2024. P. 3.
45. Striuk A. M., Rassovytska M. V., Shokaliuk S. V. Augmented Reality in Engineering Education: Methodical Approach. *arXiv preprint*. 2018. arXiv:1807.00279. P. 7–12.
46. Su M. Artificial Intelligence in Blended Learning for Engineering Students. *European Journal of Education and Pedagogy*. 2025. Vol. 6 (2). P. 3–7.
47. Suhail N. Immersive VR for Engineering Students: Enhancing Spatial Skills. *Frontiers in Virtual Reality*. 2024. Vol. 5. P. 9–14.
48. Tee P. K., Wong L. C., Dada M., Song B. L., Ng C. P. Demand for digital skills, skill gaps and graduate employability: Evidence from employers in Malaysia. *F1000Research*. 2024.
49. Tzafilkou K., Vrettos G., Agorastos A., Perifanou M. Development and validation of students' digital competence scale for higher education. *Heliyon*. 2022. Vol. 8(12). P. 1–18.

50. UNESCO. Digital Literacy in Education: Policy Brief. Paris: UNESCO Institute for Information Technologies in Education, 2018. 28 p.
51. Vuorikari R., Kluzer S., Punie Y. DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022. 134 p.
52. Wattanasin W., Chatwattana P., Piriyastrawong P. Engineering Project-Based Learning Using a Virtual Laboratory and Mixed Reality. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*. 2021. Vol. 16 (24). P. 42–52.
53. World Bank. The Vital Role of Digital Skills in Building an Inclusive, Smart, Safe, and Sustainable Digital Economy. Skills4Dev Knowledge Digest, December 2023. 10 p.

UDC 378.147:004.9:37.013.42

Modeling the digital competence of future engineers: theoretical and methodological foundations and core characteristics

Roman Gurevych, Maksym Yevtukhivskyi

Abstract. The article examines the theoretical and methodological foundations of developing digital competence (DC) in future engineers within the context of the transformation of modern higher technical education. The evolution of the concept of “digital competence” is analyzed – from computer literacy to a multidimensional category integrating knowledge, skills, abilities, values, and attitudes necessary for successful professional activity in the digital economy. The basic characteristics of the digital competence formation system are identified, including integrity and systemacity, flexibility and adaptability, innovativeness, practice orientation, openness, and integration into the international educational space. Based on international (DigComp, UNESCO, EntreComp) and national regulatory and methodological frameworks, the indicators for measuring the level of DC among students of technical universities are substantiated. Special attention is given to the experience of higher education institutions in Vinnytsia, where innovative educational practices are implemented – in particular, dual education, the use of VR/AR technologies, the introduction of project-based learning, and the integration of the educational process with the needs of the regional labor market. Methodological recommendations are developed to ensure the effectiveness of the DC formation system, aimed at combining academic training with students’ practical activities. The scientific novelty of the work lies in the comprehensive analysis of the structural components and characteristics of the system for forming engineers’ digital competence, which allows for the integration of educational, research, and industrial components. The practical significance of the study consists in the possibility of applying the proposed principles in the modernization of educational programs of technical universities.

Keywords: digital competence, future engineers, technical university, indicators, system, digitalization of education.

References

1. Beskorsa O. (2018) *Implementing Digital Competence Framework for Future Teachers’ Professional Development*, Profesionalizm pedahoha: teoretychni y metodychni aspekty, **8** (2), 33–41.
2. Bykov V. Yu. (2021). *Digital Transformation of Education and Science: Challenges and Tasks*, Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia, **1** (81). 45–60. [in Ukrainian]
3. Bilan N. M. (2022). Formation of Foreign Language Competence of Power Engineering Students, 4. [in Ukrainian]
4. VNTU, Department of Computer-Aided and Information Technologies (CAIT). (2023). Cooperation with Employers in the Training of Engineers, Vinnytsia, 4. [in Ukrainian]
5. VNTU. (2022). Educational Program “Computerized Information and Measurement Technologies” and the Practice of Dual Education, Vinnytsia, 2–3. [in Ukrainian]
6. Henseruk H. R. (2021). *International Frameworks of Digital Competence for Future Teachers*, Pedahohichni nauky, **4**, 32–37. [in Ukrainian]
7. Henseruk H. R. (2019). *Digital Competence of Future Teachers: Foreign Experience*, Naukovi zapysky [Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu im. M. P. Drahomanova]. Seriya : Pedahohichni nauky, **144**, 57–66. [in Ukrainian]
8. Hurevych R. S., Kobysia V. M., Kobysia A. P., Kizim S. S., Kutsak L. V., Opushko N. R. (2022). *Formation of Digital Competence of Future Teachers in Studying Computer-Oriented Learning Technologies*, Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education..., **63**, 5–19. [in Ukrainian]

9. Dembitska S. V., Kobylanskyi O. V. (2024). *Formation of Professional Competence of Future Vocational Education Specialists by Means of Digital Technologies*, *Pedahohika bezpeky*, **8** (1–2), 1–7. [in Ukrainian]
10. Dobrovolska N. V., Merinova S. V., Dobrovolskyi O. I. (2022). *Digital Competence of Higher Education Students: Theoretical and Practical Aspect*, *Scientific and Theoretical Journal "Science and Education"*, **2**, 53–61. [in Ukrainian]
11. Zasiakina T. M. (2020). *Digital Literacy of Students as a Factor of Innovative Development of Education*, *Naukovi zapysky VDPU im. M. Kotsiubynskoho. Seriya: Pedahohika i psykholohiia*, **62**, 25–31. [in Ukrainian]
12. Zakharkivych N. P. (2024). *Formation of Digital Competencies of Enterprise Personnel in the Context of the Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0)*: Proceedings of the 24th International Scientific and Practical Conference, May 30, 2024, Khmelnytskyi / Khmelnytskyi University of Management and Law named after Leonid Yuzkov. – Khmelnytskyi, 116–120. [in Ukrainian]
13. Zelinska A. M., Tarasovych L. V., Lavrynenko S. O. (2023). *Digital Competencies as the Basis for the Transformation of Future Managers' Vocational Education*, *Ekonomika ta suspilstvo*, **49**, 348–355. [in Ukrainian]
14. Zymnia I. A. (2019). *Key Competencies as a Result-Oriented and Goal-Based Foundation of the Competence-Based Approach*, *Vyscha osvita Ukrainy*, **3**, 17–24. [in Ukrainian]
15. Kademiiia M. Yu., Kosianchuk M. S. (2021). *Formation of Digital Competence of Future Primary School Teachers*, *Suchasni informatsiini tekhnolohii ta innovatsiini metodyky navchannia*, **61**, 13–19. [in Ukrainian]
16. Kniazkova L., Sukhorebra T., Kovalchuk M., et al. (2024). *Reforming Education in Ukraine Through the Introduction of STEM Technologies and Artificial Intelligence*, 58–60.
17. Kovalchuk V. V. (2021). *Formation of Digital Competence of Future Engineers in the Process of Professional Training*, *Osvita ta rozvytok obdarovanoi osobystosti*, **6**, 35–42. [in Ukrainian]
18. Koziar O. V. (2022). *Pedagogical Aspects of Forming the Digital Competence of Future Engineers*, *Osvita doroslykh i rozvytok suspilstva*, **2**, 70–78. [in Ukrainian]
19. Kondur O., Kondrat R. (2025). *Formation of digital competence in future specialists*, *Mountain School of Ukrainian Carpaty*, **31**, 96–98.
20. Kulish I. V. (2021). *Axiological Foundations of Digital Education of Agricultural Engineers*, *Visnyk aharnoi osvity i nauky*, **5**, 98–105. [in Ukrainian]
21. Lviv Polytechnic National University. (2025). *Integral Competence in Modern Education*, 9. [in Ukrainian]
22. Liakhotska L. O. (2021). *Integration of European standards of digital competence into the educational process of agricultural universities*, *Naukovi pratsi VNAU*, **23** (4), 61–67. [in Ukrainian]
23. Moiseienko M. V. (2021). *Formation of students' digital competence in the process of studying computer science disciplines: dissertation for the degree of Candidate of Pedagogical Sciences*, *Kryvyi Rih*, 305. [in Ukrainian]
24. Pidhurska V. O. (2022). *Developing Students' Information And Digital Literacy In The Context Of The New Ukrainian School*, *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu. Seriya: Pedahohika i psykholohiia*, **70**, 1–4. [in Ukrainian]
25. Pometun O. I. (2020). *Digital Competence: Structure And Ways Of Developing It In Students*, *Pedahohika i psykholohiia*, **4**, 50–56. [in Ukrainian]
26. Radzikhovskiy V. O. (2022). *Developing Digital Literacy Among Students At Technical Universities*, *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, **3**, 110–118. [in Ukrainian]
27. Spirin O. M., et al. (2024). *A Model for the Development of Digital Competence of Research and Teaching Staff*. *Information Technology And Learning Tools*, **6** (104), 56–179.
28. Tekliuk A. I. (2020). *A philosophical harp for an engineer-violinist: the problem of balancing general education with specialized training*, *Vinnytsia*, 16. [in Ukrainian]
29. Bouwman M., Lub X., Orlowski M., Nguyen T.-V. (2024). *Developing the digital transformation skills framework: A systematic literature review approach*, *PLOS ONE*, **19** (7).
30. Carretero S., Vuorikari R., Punie Y. (2017). *DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 57.
31. Coskun S., Kayikci Y., Gencay E. (2017). *Adapting Engineering Education to Industrie 4.0 Vision*, 41.
32. Dimitrov G. (2020). *Digital Education Action Plan 2021–2027. Resetting Education and Training for the Digital Age*, European Commission, 18.
33. European Commission. (2020). *European Qualifications Framework (EQF)*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 64.
34. Ferrari A. *Digital Competence in Practice: An Analysis of Frameworks*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. 92 p.
35. Hamaniuk V. A., Amelina S. M., Burov O. Yu. (2024). *Project-Based Learning in Engineering Education: Digital Tools and Pedagogical Approaches*, *CEUR Workshop Proceedings...*, **3781**, 216–223.
36. Huang J. et al. (2020). *Towards Digital Engineering – The Advent of Digital Systems Engineering*, arXiv.
37. Ka J. (2025). *Virtual Reality in Engineering Education: A Cognitive Perspective*, *Virtual Reality*, **29**. 1–10.

38. Law N., Woo D., de la Torre J., Wong G. (2018). *A Global Framework of Reference on Digital Literacy Skills for Indicator 4.4.2*, UNESCO Institute for Statistics, 146.
39. Lyngdorf N. E. R., Jiang D., Du X. (2024). *Frameworks and Models for Digital Transformation in Engineering Education: A Literature Review Using a Systematic Approach*, Educ. Sci, **14**, 519, 18.
40. Modlo Ye. O., Semerikov C. O., Shmeltzer Ye. O. (2018). *Modernization of Professional Training of Electromechanics Bachelors: ICT-based Competence Approach*, 27, 14, 15.
41. Redecker C., Punie Y. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 100.
42. *Research on Metaverse and Engineering Education: Design Principles and Competencies* (2024), ResearchGate preprint, 1–15.
43. Rikala P., Braun G., Järvinen M., Stahre J., Hämäläinen R. (2024). *Understanding and measuring skill gaps in Industry 4.0 – A review*, Technological Forecasting and Social Change, **201**, 123206.
44. Schleiss J., Johri A., Stober S. (2024). *Integrating AI Education in Disciplinary Engineering Fields: Towards a System and Change Perspective*, 3.
45. Striuk A. M., Rassovyt'ska M. V., Shokaliuk S. V. (2018). *Augmented Reality in Engineering Education: Methodical Approach*, arXiv preprint, **1807.00279**, 7–12.
46. Su M. (2025). *Artificial Intelligence in Blended Learning for Engineering Students*, European Journal of Education and Pedagogy, **6** (2), 3–7.
47. Suhail N. (2024). *Immersive VR for Engineering Students: Enhancing Spatial Skills*, Frontiers in Virtual Reality, **5**, 9–14.
48. Tee P. K., Wong L. C., Dada M., Song B. L., Ng C. P. (2024). *Demand for digital skills, skill gaps and graduate employability: Evidence from employers in Malaysia*, F1000Research.
49. Tzafilkou K., Vrettos G., Agorastos A., Perifanou M. (2022). *Development and validation of students' digital competence scale for higher education*, Heliyon, **8** (12), 1–18.
50. UNESCO. (2018). *Digital Literacy in Education: Policy Brief*, Paris: UNESCO Institute for Information Technologies in Education, 28.
51. Vuorikari R., Kluzer S., Punie Y. (2022). *DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 134.
52. Wattanasin W., Chatwattana P., Piriya-surawong P. (2021). *Engineering Project-Based Learning Using a Virtual Laboratory and Mixed Reality*, International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET), **16** (24), 42–52.
53. World Bank. (2023). *The Vital Role of Digital Skills in Building an Inclusive, Smart, Safe, and Sustainable Digital Economy*. Skills4Dev Knowledge Digest, December, 10.

Про авторів / About the authors

Роман Гуревич, заслужений працівник народної освіти України, доктор педагогічних наук, професор, дійсний член (академік) НАПН України, кафедра цифрових технологій і професійної освіти, Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, вул. Острозького, 32, м. Вінниця, 21001, Україна;

Roman Gurevych, Honored Worker of Public Education of Ukraine, Doctor of Science in Pedagogy, Professor, Full Member (Academician) of the National Academy of Educational Sciences of Ukraine, Department of Digital Technologies and Professional Education, Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, 32 Ostrozkyi Str., Vinnytsia 21001, Ukraine;

Максим Євтухівський, аспірант кафедри цифрових технологій і професійної освіти, Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, вул. Острозького, 32, м. Вінниця, 21001, Україна;

Maksym Yevtukhivskyi, Postgraduate Student, Department of Digital Technologies and Professional Education, Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, 32 Ostrozkyi Str., Vinnytsia 21001, Ukraine.

Отримано / Received 31.10.2025
Прийнято до друку / Accepted 13.11.2025
Опубліковано / Published 26.11.2025