

<https://doi.org/10.26565/2074-8922-2025-85-02>

УДК (UDC): 37:004+681.5

Д. Д. ТАТАРЧУК¹, доктор технічних наук,
професор кафедри мікроелектроніки
e-mail: d.tatarchuk-me@lil.kpi.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1171-6701>

С. М. ОСІНОВ¹, кандидат технічних наук,
інженер кафедри мікроелектроніки
e-mail: s.osinov-me@lil.kpi.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0104-8236>

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,
вул. Політехнічна, 16, м. Київ, Україна

РЕЗИЛЬЄНТНІСТЬ ЯК КОМПЕТЕНЦІЯ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

Анотація. Збільшення інформаційних потоків ускладнює прийняття особистого рішення в умовах невизначеності – типова ситуація обрання шляху подальшого професійного зростання, коли фахівець має розкрити власну компетенцію як цілісну сутність. У роботі розглянуто особливості впливу технології цифрових двійників на дидактичні функції та аспекти цього впливу на компетентність. Зроблено спробу доведення, що прояв поліморфізму в технології цифрових двійників може бути зведений до множини факторів як шлях до ефективного сприйняття й розуміння навчального матеріалу шляхом вирішення практичних завдань. На цьому шляху вроджена динамічна властивість особистості, як здатність конструктивним шляхом залишатись стабільно затребуваним на ринку праці, має отримати додатковий розвиток. Технічне забезпечення для реалізації навчального процесу є важливою складовою. Для сучасного наукового напрямку, пов'язаного з технологією виготовлення мікро- наносистемних виробів, характерний високий рівень технологічних змін під час виробничого процесу та висока вартість технологічного обладнання. Утримання подібного обладнання в навчальному закладі є проблемним. Складність фізичного функціонування технічного забезпечення не повинна обмежувати її адаптацію в навчальний процес, а, навпаки, стати джерелом особистого зростання майбутніх фахівців шляхом активної участі у створенні цифрових образів освітнього середовища. Запропоновано для подолання розриву між технічним забезпеченням та освітнім процесом створення віртуального технологічного обладнання з метою його використання як тренажерів для отримання технологічних навичок і забезпечення глобальної конкурентоспроможності. Це може бути реалізовано із залученням сучасних цифрових інструментів, таких як хмарні обчислення, нейроморфне середовище та створення цифрових двійників технологічних процесів. Як це впливає на формування адаптивних компетентностей є предметом нашої статті.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: інтенсифікація навчання, функціональний підхід, технологія STEAM, дидактичні функції, цифровий двійник, навчальний процес.

Як цитувати: Татарчук Д. Д., Осінов С. М. Резильєнтність як компетенція в освітньому процесі. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. 2025. Вип. 85. С. 26-40. <https://doi.org/10.26565/2074-8922-2025-85-02>

In cites: Tatarchuk D. D., Osinov S. M. (2025). Resilience as a competence in the educational process. *Problems of Engineering Pedagogic Education*, (85), 26-40. <https://doi.org/10.26565/2074-8922-2025-85-02> (in Ukrainian)



Вступ

Револьюційні зміни сучасних уявлень щодо теорії освіти і навчання є наслідком впливу теорії ноосфери В. І. Вернадського та передбачення синергетики нано-, біо-, інформаційних та когнітивних технологій, яка отримала підтвердження під час аналізу довгих хвиль М. Д. Кондратьєва. Серед електронних компонент виділяють чотири базові елементи: резистор, конденсатор, ємність та мемристор. Стосовно мемристора мають місце дискусійні думки, оскільки спостерігається опосередковане виконання законів Дж. К. Максвелла, а тому підкреслимо, що четвертий елемент – це двополюсник з нелінійною вольтамперною характеристикою. Саме такий набір компонент породжує різноманіття напівпровідникових виробів. Постає питання, що має доповнювати це різноманіття у відповідність до сучасного уявлення? Відповіддю є використання інноваційного підходу, а саме: створення інформаційних образів та зв'язків об'єктів, процесів та виробів. Історична паралель з античними уявленнями підкреслює діалектичний характер потреби в змінах дидактичних уявлень під час вивчення наукомістких дисциплін. Технологічне створення напівпровідникових виробів у вигляді мікро- наносистем надзвичайно складне та характеризується різноманітністю фізичних явищ та ефектів, що використовують у виробництві та має велику кількість елементарних технологічних операцій. Ця галузь є єдиною, де об'єктом інтелектуальної власності є компонування елементів напівпровідникового приладу та топологічні рішення. Така сукупність ознак мікро- наносистемної техніки постає викликом щодо формування компетентностей майбутніх фахівців у цьому напрямку. Компетентнісна педагогічна парадигма [12] є такою, що відповідає вимогам сучасного навчального процесу. Набір ключових компетентностей формується на основі вирішення практичних завдань, і це є відмінною рисою, яка формується навколо вирішення предметних проблем. Резильєнтність як компетенція – це новий аспект для педагогічної парадигми, визначається як

процес ефективного подолання проблемних та стресових ситуацій з урахуванням психоемоційного стану особистості та визначенні шляху ефективного виходу із ситуації, яка складається, навколо цієї особистості під час визначення професійної затребуваності на ринку праці. Ця компетенція не розглядається як вроджена, але є персоналізованою в частині її розвинення. Зокрема, збільшення пропозицій додаткових можливостей у отриманні знань є відповіддю на виклики з працевлаштування і базується на прихильності до всебічної освіти в період професійної діяльності. Отримання позитивного результату є важливим, але які знання для цього потрібні та як їх отримати?

Вважається, що конвергенція природничих наук, технологій, технічної творчості, мистецтва та математики в освітньому просторі тренд отримав назву STEAM-освіта, є напрямком, що відповідає сьомому технологічному укладу промислового розвитку [23], [27] та має практичну спрямованість на міжпредметність. STEAM-освіта визнана успішною і підтримана на державному рівні в розвинених країнах [2].

Переваги цього підходу досліджені на конкретних прикладах, зокрема в роботі [16] наведені загальні характеристики впливу на формування компетентностей властивостей. Відмічається, що зміна акценту від споживача знань до замовника знань є головною подією та перевагою цього підходу до освіти.

Для опанування завдань практичного спрямування, пов'язаних із синтезом, розробкою та експлуатацією мікро-наносистемної техніки буде потрібно використання певних та конкретних інструментів. Що маємо, зокрема, віднести до подібних інструментів? Існують базові технологічні процеси, без яких створення напівпровідникового виробу неможливо. Прикладами таких технологічних процесів є дифузія, іонна імплантація, травлення в плазмі та інші процеси. Технологічні процеси в сучасному виробництві автоматизовані наскільки це можливо з точки зору контролю технологічних параметрів на стадії завершення процесу.

Для реєстрації технологічних параметрів використовують сенсори фізичних величин, у системі керування процесом присутні зворотні зв'язки. Здається все зрозуміло, з одного боку, маємо звичайну систему автоматизованого керування, але, з іншого боку, за напрямком мікро-наносистемна техніка вивчення теоретичних основ управління не надається в повному обсязі. Дійсно, створення технологічного обладнання та створення напівпровідникового виробу - різні речі, але ці речі не можуть існувати окремо. В інтересах практичного навчання для подолання протиріччя доцільним є використання такого сучасного інструменту, як цифровий двійник (Digital Twin), визначення стосовно цього поняття розглянуто, зокрема в публікаціях [20], [28]. Використання інструменту має враховувати особливості напівпровідникової технології, мати відповідні математичні образи процесів, забезпечувати варіативність зв'язків елементарних операцій та їхні якісні переходи. Розгляд методологічних питань у цьому напрямку, з погляду на розвиток компетенцій студентів, є практичним кроком у реалізації освітньої стратегії, яка пов'язує освітню і дослідницьку діяльність. Інтеграція дослідницької діяльності у процес

викладання і навчання студентів відповідає тому, щоб результати навчання набували форму конкурентноспроможного та об'єктоорієнтованого продукту та сприяли особистому професійному зростанню в умовах вирішення корпоративних завдань.

Державне ставлення до цієї проблеми в контексті розвитку цифрової трансформації сформульовано на економічному форумі в Давосі: «Наступний крок трансформації України — реформа освіти та запуск комплексної інноваційної стратегії. Нам потрібно вже зараз сформулювати бачення майбутнього України на 10, 20, 30 років уперед, адже навіть в умовах повномасштабного російського вторгнення уряд і громадяни мають планувати та діяти на довгострокову перспективу» [5].

Формування послідовної та надійної глобальної стратегії державного рівня вимагає значно більшого часу, ніж термін активного надбання інформаційно-комунікативних компетенцій для одного покоління. Метою не менш важливою на доповнення до конкретних професійних знань є підготовка фахівців широко освічених з розумінням людиноцентричності у творенні сучасних інновацій [7], [8].

Постановка проблеми

Навчально-виробнича практика – стандартний етап у підготовці майбутніх фахівців і має відбуватись із залученням виробничих підприємств-стейкхолдерів відповідного профіля [10]. Сьогодні маємо проблемну ситуацію, що утворюється через притиріччя між складністю технологічного обладнання, задіяного під час виробництва напівпровідникових приладів і потребою у практичному використанні його під час навчального процесу. Наслідком є обмеження доступу студентів до належного технологічного обладнання із забезпечення повного циклу виготовлення напівпровідникових виробів, а, відповідно, це втрата можливості отримати відповідні навички як складові майбутньої компетенції, що може стати перешкодою до самоактуалізації. Причин для цього багато, і в першу чергу це економічна доцільність

утримання технологічного обладнання в межах університету. Актуальність цієї ситуації прослідковується, зокрема, під час підготовки здобувачів за фахом «Мікро- та наносистемна техніка» [6]. Інновації в підході до сучасної освіти на базі інформаційних технологій розглядаються як спроможні до подолання протиріччя. Як варіант це створення тренажерів на основі цифрових двійників відповідних технологічних процесів. Розв'язання методологічних питань в цьому напрямку є важливим для реалізації інтеграційних процесів освіти і розглядається як суттєвий фактор впливу на творчий потенціал студентів та сприяння дослідницької діяльності студентів для створення нових мікро- наноелектронних систем, які є критично важливими для стимулювання стратегічного розвитку держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для розуміння предметної галузі, пов'язаної з мікро-наносистемною технікою, як приклад наведемо оригінальні відомості про спеціальність в університеті міста Йоханесбург (Німеччина): «Метою програми магістра мікро- та наноелектроніки є розвиток інженерів з передовими здібностями в застосуванні фундаментальної мікроелектроніки в мульти- та міждисциплінарних середовищах сучасного виробництва на додаток до здатності реагувати на складні проблеми та забезпечувати вирішення проблем, які виникають у сфері проєктування інтегральних схем у різних варіантах технологій, програма сприятиме та розвиватиме здатність виконувати незалежні дослідження, досліджувати наноявища інтегральних схем з наукових принципів та реалізовувати результати для вдосконалення мікроелектронних конструкцій» [26]. Німеччина, як країна, активно розбудовує мікроелектронне виробництво, незважаючи на корпоративні економічні проблеми [3].

Для України повернення до сучасного мікроелектронного виробництва є критичним питанням, яке має отримати подальший розвиток найближчим часом [1]. Зважаючи на динамічність розвитку мікроелектроніки та потребу у випереджувальних темпах підготовки фахівців з мікро- наносистемної техніки на кафедрі мікроелектроніки в НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського передбачена програма отримання подвійного диплому [17] разом з науковцями з Дрезденського технічного університету (Німеччина), але програма не охоплює спектр завдань мікроелектроніки.

За результатом опитування здобувачів за освітньо-науковою програмою магістерського рівня вищої освіти у 2023-2024 роках, яке провела команда з центру прикладної соціології «Соціоплюс» [11], спостерігаємо таке: 88% здобувачів вищої освіти вважають, що програма підготовки за освітою відповідає сучасним вимогам на ринку праці. Серед основних недоліків, що знижують якість вищої освіти, 50% здобувачів визначило, що подібними недоліками є: недостатність практичної складової та наявність застарілої матеріально-технічної бази

лабораторій. Важливим є факт, що здобувачі звертають увагу на компетентності, які вони отримують під час навчання, так на питання: «Чи відомо про набір компетентностей, які передбачені вищою освітньою програмою?» позитивна відповідь склала 87%. Проблема з матеріально-технічним забезпеченням вплинула на думку здобувачів освіти стосовно якості практичної підготовки до умов реальних вимог ринку праці. За опитуванням 38% здобувачів освіти вважають, що рівень практичної підготовки є недостатнім, незважаючи на наявну навчальну програму. Потрібно відзначити, що результати, отримані на фоні того, що студенти потребують психологічної допомоги щодо підтримання та збереження ментального здоров'я, і це визнає 50% реципієнтів опитування.

Використання хмарних технологій запропонувало різноманіття навчальних методів викладання технічних дисциплін, і викладачі мають можливість обирати або адаптувати методи до власних потреб [4]. Реалізувати дослідження та експерименти в штучних лабораторних умовах можливо шляхом застосування комп'ютерно - інтегрованої платформи, зокрема такої, як Labview корпорації National Instruments (США) і використати для вирішення конкретних навчальних завдань або, наприклад, за допомогою веборієнтованої платформи Labster.

Інший шлях – це створення віртуальних тренажерів фізико-технологічних процесів з використанням технології цифрових двійників, поєднуючи фізичне та віртуальне обладнання на базі спектру інформаційних технологій. Інформаційні технології мають вплив на сприйняття інформації та на формування компетентностей. Дослідження в цьому напрямку мають активний розвиток, кількість публікацій, присвячених цьому питанню зavelика, щоб наводити повний перелік посилань в цій роботі. Важливішим є моніторинг результатів апробації засобів навчання з представленням можливостей ситуативної симуляції та використанням тренажерів, що покращують інформаційно-технологічну компетентність здобувачів вищої освіти.

Теоретичні основи дослідження

Успішність навчального процесу при дистанційному навчанні є залежною від дидактичних методів трансформованих для використання у віртуальному просторі. Інформативний характер сприйняття інформації також трансформує процес діалектичного пізнання, переважно, у формі кліпового мислення візуальними образами, що впливає на кінцевий результат. За визначенням кінцевим результатом вважають «рівень отриманих знань у процесі навчання» як складової якості освіти [25]. Для кількісного визначення рівня часто дослідники використовують статистичні методи, засновані на результатах опитування досягнень в особистій компетентності. Проте забезпечення ефективності процесу навчання з використанням тренажера у вигляді цифрового двійника потребує функціонального аналізу технологічних процесів і відповідного технологічного обладнання. Хорошим підходом у цьому напрямку є історичний аналіз технічних рішень, аналіз рекурсивності успадкування ознак, аж до визначення прототипу. Це єдиний метод отримати уявлення про складність модельного представлення системи у вигляді поєднання конструкторського рішення технологічного обладнання і фізико-хімічних основ

здійснення технологічного процесу в залежності від типу обладнання, що саме по собі вже є непоганим кінцевим результатом.

Цифрові двійники синтезують за принципами системного аналізу з урахуванням предмета дослідження і поділяють на категорії – цифрових двійників екосистем і цифрових двійників приладів. Гіпотетично принципи можуть бути поширені на цифрових двійників окремих технологічних процесів і таким чином можуть утворити додаткову категорію – цифрові двійники технологічних процесів. Прогнозування є основною функцією цифрових двійників для складних виробничих процесів. Використовується також комбінація категорій із застосуванням аналітики на основі даних для оптимізації результату. Як інструмент дослідження цифрові двійники розширюють візуальне уявлення про предмет, що вивчається в частині взаємодії його складових. За умови чітких вказівок та покрокового керівництва користувачі мають можливість інтерактивно керувати компонентами інструменту та отримати миттєві відповіді щодо їхніх вчинків. Це дозволяє отримати досвід та навчитися використовувати технологічне обладнання в контрольованих умовах.

Методика дослідження

Методику дослідження визначили дослідницькі питання (ДП), а саме:

ДП1. Яка практика застосування цифрових двійників у освітньому процесі за напрямком мікро- та наносистемна техніка?

ДП2. Який досвід отримано від застосування технології цифрових двійників та як це впливає на формування компетентності здобувачів вищої освіти?

Було виконано огляд літературних джерел з попередніх досліджень та контексту щодо відношення до цифрових двійників технологічних процесів. Враховано багатофакторність у дослідженнях, щоб отримати значущу

інформацію з погляду впливу на компетенції. Подальший аналіз був виконаний шляхом вивчення подібностей і розбіжностей між теоретичними та емпіричними даними та розглянуто можливості теоретичних висновків, які відповідають проблемній ситуації в отриманих раніше емпіричних висновках.

Мета дослідження. Метою є визначення впливу динаміки розгортання технології цифрових двійників як інструмента інтенсифікації навчального процесу на дидактичні функції, конкретизація і розкриття впливу на компетентність.

Результати дослідження

Компетентність та освіченість.
Структурні взаємозв'язки
Здобувач освіти на власному шляху

навчання звертає увагу на компетенції, які можливо вдосконалювати під час обрання навчальних дисциплін. Кожна з предметних

компетентностей складається з таких компонентів як: знання, навички та уміння які поєднуються за умови готовності

суб'єкта до оволодіння та вдосконалення компетентності, рис. 1.



Рис.1 – Структурна схема формування компетенції

Fig.1 – Structural diagram of competence formation

Питання формування предметних компетенцій у сучасному представленні розглянуто в роботі [23], метою якої визначено аналіз предметних компетентностей, які формуються на засадах концепції цифрових двійників. Найбільшу увагу автори присвятили технології цифрових двійників, але важливим є вплив даної концепції. Можливість отримання предикативної аналітики є головною перевагою у використанні цифрових двійників у навчальному процесі. Ця перевага забезпечена ще тим, що застосування технології цифрових двійників потребує міжпредметних знань, і студент опиняється в центрі як суб'єкт, що відповідальний за прийняття та вибір технічного рішення. Питання, що пов'язані з виявленням залежних цільових змінних і пріоритетів для базових незалежних змінних, під час формування компетенцій залишились поза увагою авторів.

Встановлення умов, які є сприятливими для узгодження з освітніми програмами в контексті, щодо застосування технології цифрових двійників на етапі

практичної підготовки здобувачів вищої освіти, припустимо, трансформувати. За результатами досліджень, виконаних у роботі [18], отримано емпіричні результати, які корисні для масштабування в навчальний процес, насамперед з точки зору розвитку інформаційно-технологічної (ІТ) складової у професійній компетенції майбутніх фахівців. Для визначення рівня розвитку цієї компетенції авторами запропоновано факторно-критеріальну модель. Перевагою запропонованої моделі є надання чисельної оцінки кожному з критеріїв розвитку компетентності, що дозволяє використання статистичного методу визначення достовірності відмінності ознак виявлення критеріїв професійної компетенції і в подальшому порівняти результати на початок навчання із застосуванням тренажерів та після завершення навчання. Структурне представлення моделі, рис. 2, як набору взаємозв'язків, допомагає встановити, що ядром моделі є п'ятикомпонентне поле взаємозв'язків "фактор-компетенція" і що коло критеріїв утворює "межу" даної компетенції.

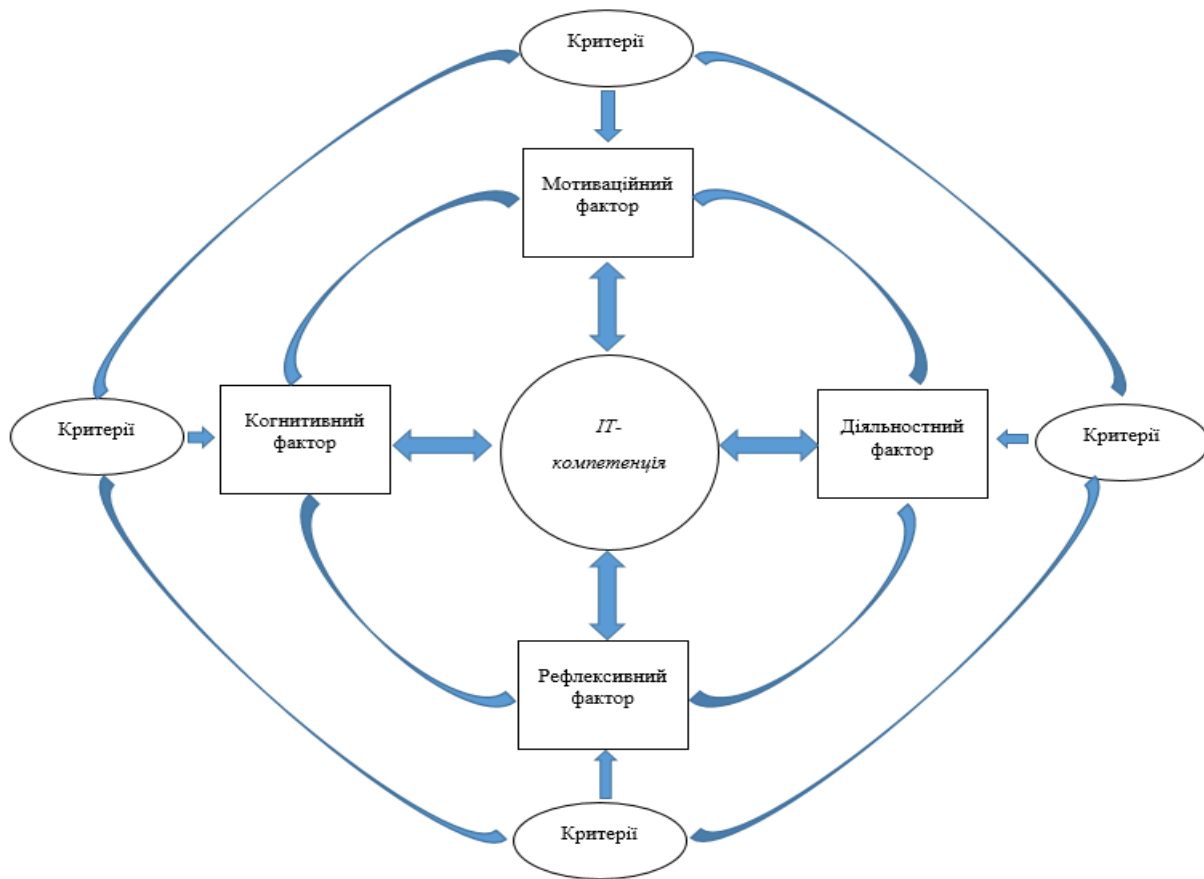


Рис. 2 – Структура факторно-критеріальної моделі ІТ-компетенції
Fig.2 – Structure of the factor-criteria model of IT competence

Інтегральна оцінка дії факторів надається у вигляді середнього значення, що є системною ознакою лінійності моделі, для якої використання принципу суперпозиції – звичайна справа. Якісні переходи відбуваються стрибкоподібно, а це процес нелінійний. Визначення моменту набуття нового якісного стану в компетенції потребує уточнення критеріїв моделі.

Входження фахівців до ринку праці вимагає переглядати предметні компетентності відповідно до швидкості змін корпоративних вимог. Освітній процес сприяє вирішенню конфліктної ситуації на концептуальному рівні шляхом безперервного навчання протягом життя. Біла книга з питань встановлення компетентності [21] – це погляд на компетентності категорії корпоративних. Корпоративні компетентності мають відмінності, характерним є присутність комунікативної складової та настанов стосовно психологічних рис особистості під

час менеджменту управлінських рішень. Спроможність мати позитивний вплив на досягнення успішного виконання корпоративних завдань та самостійність у прийнятті рішень мають значення. Визначається вісім подібних корпоративних компетентностей, яким надано мінімалістичний характер, та це не означає, що зміни неможливі. Освіта визнається, в першу чергу, як важливий фактор розвитку людського потенціалу [9], додавання фактора дії людиноцентричної концепції призводить до розмивання визначених меж корпоративних компетентностей, а вказані фактори є безумовною рушійною силою змін вимог до компетенцій. Потрібен місток між предметними та корпоративними компетенціями, створення ситуації затребуваності компетенції. Стосовно, наприклад, технології виготовлення інтегральних схем в межах окремого технологічного процесу досягнення наперед визначених параметричних

характеристик виробу потребує предметної компетентності, а оптимізація технологічного процесу, що супроводжується змінами технологічної документації, потребує корпоративної компетентності. Ситуативна адаптація в навчальному процесі можлива в разі використання кейс-методу як навчального підходу, що ґрунтується на вивченні конкретних ситуацій.

У наведеному прикладі відсутня згадка про технологічне обладнання, але враховувати це потрібно. Нагадування про технологічне обладнання повертає до проблемної ситуації, вирішення якої пов'язано з потребою надавати характеристику технологічному обладнанню так само і технологічному процесу, як об'єкту автоматизації, що потребує певного технічного аналізу. Для реалізації дослідження в цій частині проблемної ситуації найкращий інструмент

— це технологія цифрових двійників обладнання та процесів. Розкриття сутності діяльності через розуміння проєкту, динаміки взаємодії студента, як суб'єкта, та процесу, втілення якого відбувається в технічному об'єкті — цифровому образі і реалізації в предметній діяльності призводить до змін у ставленні суб'єкта до таких характеристик як: цілеспрямованість, врахування суб'єктивних та об'єктивних чинників,

усвідомленість щодо предметності та мотивацій. Зміни, спричинені обставинами вибору під час реалізації проєкту, потреба пошуку виходу із ситуаційної невизначеності мають однакову цінність у формуванні як предметної так і корпоративної компетенції, що є суттєвим чинником самоактуалізації здобувачів вищої освіти.

Наведені аргументи щодо компетентнісної підготовки мають збіги з нормативним змістом підготовки за спеціальністю «Мікро- та наносистемна техніка» [13]. Стандарт освіти розглядається як “дорожня карта”, за допомогою якої мають бути розвинені професійні компетенції під час навчального процесу і не несе в собі ставлення до ситуативно-стресових станів у майбутньому професійному житті фахівців.

Аналіз та узгодження компетенцій з освітніми програмами, висвітлення підходу застосування технології цифрових двійників має сприяти розбудові ефективної адаптаційної схеми переходу від предметних компетенцій до корпоративних. Літературний аналіз публікацій із застосування цифрових двійників показує, що сьогодні немає структурованого методу, який підтримує викладачів шляхом розробки рекомендацій отримання рівня збігів у компетенціях.

Цифрові двійники - інструментальне середовище навчального процесу

Визначення взаємозв'язків формування компетенції не має бути відокремленим від інструменту пізнання, яким виступає цифровий двійник. Загальні представлення і розуміння задуму технології цифрових двійників для промислового застосування викладено в роботі [22]. Архітектура цифрових двійників, номінована як базова до застосування в навчальному процесі, розглянута в роботі [24] та наведена на рис. 3. До структурної схеми включені п'ять ключових незалежних компонентів: фізична сутність (обладнання, процесу), віртуальна модель (обладнання, процесу), з'єднання та сервісних послуг реалізації варіативності поведінки цифрового двійника, інформативні значущі дані та

інтерфейсні зв'язки забезпечення життєдіяльності цифрового двійника.

Публікації про цифрові двійники переважно зосереджені на їх організації як інструментального середовища. Методи синтеза цифрових двійників для найбільш поширених галузей індустрії та нових об'єктів проаналізовано в роботі [19]. На жаль, індустрія електронної техніки залишилась поза увагою дослідників, частково це пов'язано із закритістю цієї тематики. Мікроелектронне технологічне обладнання складне, під час експлуатації доводиться враховувати відхилення від норм матеріалів, які потрібні для процесу та власно фізичні обмеження.

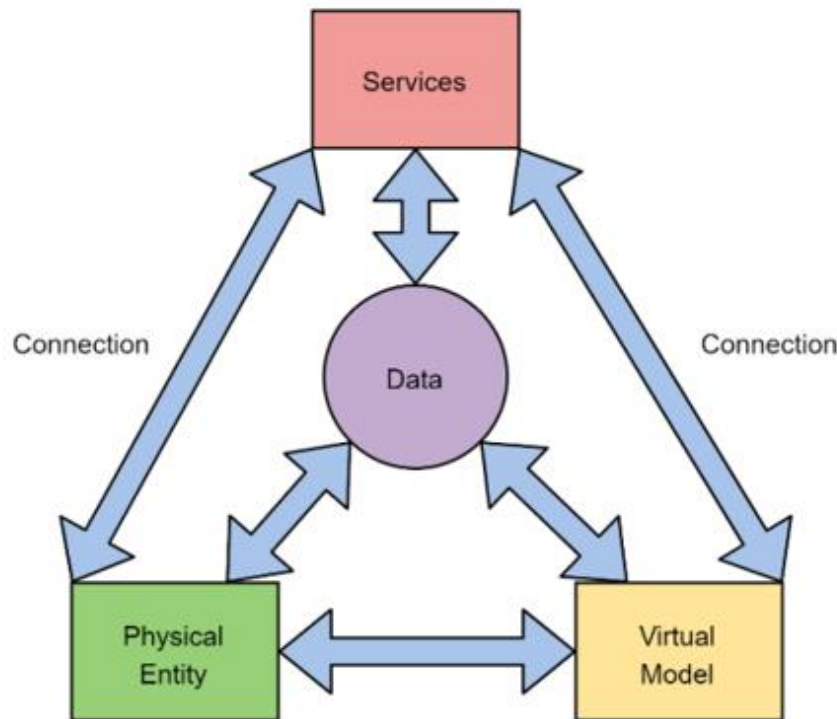


Рис. 3 – П'яти-мірна архітектурна структура цифрового двійника [24]

Fig.3 – Five-dimensional architectural structure of the digital twin [24]

Виявляти вплив збурень навколишнього середовища, потенційних пошкоджень в обладнанні – все це має бути враховано та набувати вигляд правил проєктування і технічного обслуговування. Створення тренажерів для навчального процесу на основі цифрових двійників за класичною схемою управління зі зворотним зв'язком пов'язано з проблемою відсутності обладнання у фізичному просторі. Важливо надати значення віртуальному простору та реалізовувати конвергенцію фізичного та віртуального просторів. Для цього у віртуальний простір вводиться додатково цифрове дзеркало обладнання та його дані для відображення умовно ідеальної поведінки як реального об'єкта. Використання нейромережевого середовища і відповідних алгоритмів є основним напрямком встановлення відповідності фізичного та суб'єктивного представлення. Загальні завдання для реалізації виглядають таким чином:

1) Створення повного цифрового двійника обладнання окремих технологічних процесів та його ретельний опис.

2) Встановлення взаємодії між об'єктом та суб'єктом на різних рівнях доступу до обладнання.

3) Конвергенція даних з фізичного та віртуального просторів, синтез еталонної моделі отримання рівня збігів у предметній та корпоративній компетенціях.

Становлення технології цифрових двійників передбачає етап створення математичних образів – моделей. Важливо зазначити, що потрібне відповідне забезпечення рівня математичної підготовки у використанні нейросередовища. Становлення тісних взаємозв'язків між **випускаючими** кафедрами та кафедрою вищої математики – сприяє цьому. Аспекти подібної організації взаємодії розглянуто в роботі [15].

До питання з визначення компетенцій практичної діяльності

Компетентність, як сутність, не можна звести до простої суми частин. Компетентність не має частин, і це

пов'язано з її особистісним характером. Процес рішення питання «бути чи не бути» - нелінійний, біфуркаційний, тобто з

переходом до нового якісного стану в особистому зростанні. Результат, отриманий в роботі [18], потрібно розглядати як часткове рішення, що правильне у двовимірному просторі. Об'єднання предметної та корпоративної компетенцій вимагає враховувати фактор психологічного стресу та синтезувати модель як залежність: критерій – фактор – рівень стресового навантаження. Гіпотетичний погляд на розвиток та формування компетентності з професійного зростання за допомогою такого інструмента, як цифровий двійник

для виконання дидактичної функції, у цьому відношенні є оптимістичним. Теоретичні питання, які пов'язані з умовами, за яких відбуваються зміни революційного типу, визначає теорема Рене Тома, яка обмежує кількості факторів до чотирьох, які достатньо відстежити для виявлення біфуркаційних параметрів – межі передумови якісної зміни. У роботах, які досліджено під час огляду літератури, прослідковується використання п'яти-елементності у структурних схемах, даний факт є підставою для пропонування структурної схеми наведеної на рис. 4.

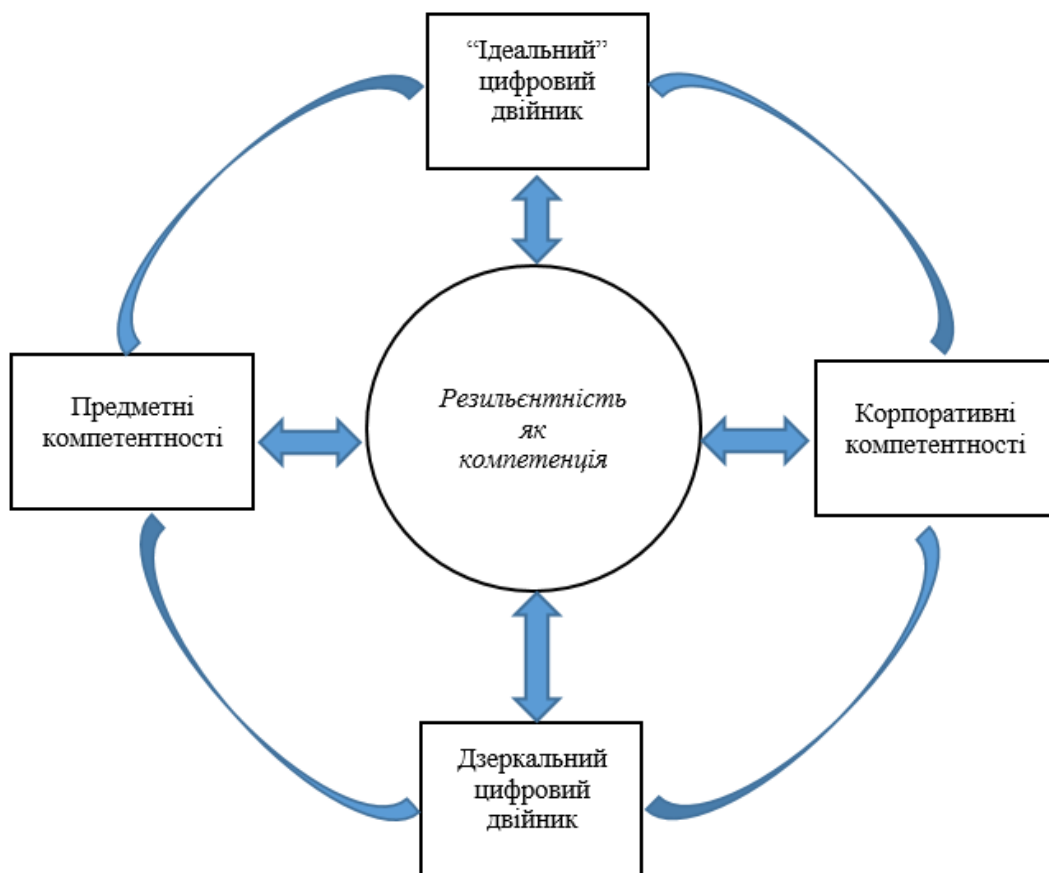


Рис.4 – Структурна схема взаємодії компетенцій
Fig.4 – Structural diagram of the interaction of competencies

Уточнення структурного місця по відношенню до резильєнтності як компетенції надає підстави для уточнення до наведеного у вступній частині визначення, а саме: резильєнтність -

комунікативна ланка, є цілісною сутністю, яка обумовлює успішність професійної затребуваності в умовах невизначеності ринку праці шляхом якісного особистого зростання освіченості.

Висновки

Технологія цифрових двійників поки залишається малодослідженою темою

для напрямку підготовки з мікро- та наносистемної техніки, це створює простір

для досліджень з розкриття переваг технології цифрових двійників під час дипломного проектування та впровадженнь у навчальний процес або практичну діяльність.

Мікро- та нанотехнологіям виготовлення напівпровідникових виробів присвячено велику кількість публікацій, рівень яких дозволяє розглядати питання синтезу цифрових двійників таких виробів. Сьогодні відчувається потреба в сучасних навчальних виданнях, в яких порушена проблема використання цифрових двійників, як інструменту дослідження процесу виготовлення інтегральних схем, мікроелектромеханічних систем та наноприладів. Створення тренажерів на основі цифрових двійників технологічних процесів для мікро-наносистемних виробів

сприятиме формуванню під час навчального процесу резильєнтності як цілісної компетенції та як комунікативної складової, що виконує об'єднувальну функцію, навколо якої вибудовують мотиваційні аспекти отримання предметних компетенцій для праці за фахом. Подання взаємодії компетенцій у вигляді п'ятиелементної структурної схеми є таким, що має опосередкований вплив на освіченість здобувачів вищої освіти та є інтуїтивно зрозумілою. Визначення рівня впливів предметних компетентностей, які сприятимуть якісному переходу особистості у професійному зростанні, можливе за одєї умови – суб'єкт має бажання змінюватись, але не знає, як саме, і це є предметом для подальшого дослідження.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Ця робота була підтримана постійним інституційним фінансуванням. Жодних додаткових грантів для проведення або спрямування цього конкретного дослідження отримано не було.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

Список використаної літератури

1. Бригадир, С. Україна планує запустити виробництво чипів: в Кабміні затвердили план. 2025. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/ukrayina-planuye-zapustiti-virobnictvo-chipiv-v-kabmini-zatverdili-plan-2745642.html>
2. Вдосконалення викладання у вищій освіті: теорія та практика : *монографія* / [Калашнікова С., Базелюк Н., Базелюк О. та ін.] ; за наук. ред. С. Калашнікової. Київ : Інститут вищої освіти НАПН України, 2023. 255 с. DOI: <https://doi.org/10.31874/TE.2023> URL: <https://surl.li/fgblry>
3. Гурков, А. Мікрочипи для Німеччини: два провали і один успіх для Шольца. *Deutsche Welle: Економіка / Німеччина*. 2024. URL: <https://www.dw.com/uk/mikrocipi-dla-nimeccini-dva-provali-i-odin-uspih-olafa-solca/a-70598041>
4. Дідик, А., Корець, О. Хмарні технології – дієвий засіб гібридного навчання. *Збірник наукових праць ЛОГОС*, (Oxford, UK). 2021. Ч. 2. С. 103-104. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-28.05.2021.v2.30>
5. Дія, Мрія і WINWIN: Мінцифри представило бачення і результати цифрової трансформації України в Давосі. *Урядовий портал*. 2024. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/dija-mriia-i-winwin-mintsyfyry-predstavylo-bachennia-i-rezultaty-tsyfrovoi-transformatsii-ukrainy-v-davosi>
6. Кафедра мікроелектроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського. Me.kpi. URL: <https://me.kpi.ua/>
7. Кремень, В. Г. Інформаційне середовище – криза культури чи нове буття? Інформаційно-комунікаційні технології в сучасній освіті: досвід, проблеми, перспективи: збірник наукових праць / за ред. М. М. Козяра, Н. Г. Ничкало. Львів: ЛДУ БЖД, 2017. Вип. 5. С. 3 – 9.
8. Кремень, В. Г. Модернізація мережі, укрупнення закладів вищої освіти — ключове завдання стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022-2032 роки : за матеріалами

- виступу на круглому столі «Стратегія розвитку вищої освіти України в умовах надзвичайних ситуацій та криз воєнного стану. Розбудова мережі закладів вищої освіти України», 23 вересня 2024 р. *Вісник Національної академії педагогічних наук України*. 2024. Вип. 6(2). С. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.37472/v.naes.2024.6212>
9. Лавриненко, Л. М. Освіта-важливи́й фактор розвитку людського капіталу. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland). 2022. С. 26-27. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.06>
 10. Любима, А., Лупа, А., Любарець, В. Актуальність співпраці стейкхолдерів з закладами вищої освіти. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland). 2022. Рр. 151–152. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.46>
 11. Навчально-науковий центр прикладної соціології «Соціоплюс» (б.д.). Socioplus. URL: <https://socioplus.kpi.ua>
 12. Пасічник, О. С. Поняття педагогічних парадигм та їх еволюція. *Міждисциплінарні дослідження науки ХХІ століття : матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції молодих учених та студентів, 1 грудня 2021 рік*. Київ: ВНЗ «Університет економіки та права «Крок», 2021. С. 248-251. URL: <https://surl.li/badsfj>
 13. Про затвердження стандарту освіти за спеціальністю 153 «Мікро-наносистемна техніка» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти: наказ Міністерства освіти і науки України №732 від 24.05.2019 р. URL: https://osvita.ua/legislation/Vishya_osvita/77693/
 14. Садовий, М. І., Трифонова, О. М., Соменко, Д. В. Формування предметних компетентностей у студентів природничо-математичної та цифрової галузей засобами DIGITAL TWINS. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. № 215. С.91-96. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-215-91-96>
 15. Самарук, Н. Шляхи реалізації професійної спрямованості математичної підготовки студентів економічних спеціальностей. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland). 2022. С. 160–162. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.50>
 16. Совік, Т. Реалізація STEAM-підходу в музичному освітньому середовищі закладу загальної середньої освіти. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2025. Вип. 105, №1. С. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v105i1.5807>
 17. Спільна магістерська програма. Ме.kpi. URL: <https://me.kpi.ua/podvijnyj-dyplom/>
 18. Шевченко, Р., Чернявський, О., Шемчук, В., Злобіна, О., Беньковська, Н., Терентьєва, Н., Гуралюк, А. (2024). Розвиток інформаційної та технологічної компетентності майбутніх військових моряків. *Інформаційні технології і засоби навчання (ITLT)*. 2024. Том 101, No 3. С. 86–107. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v101i3.5670>
 19. Щеглов, В. Р., Морозова, О. І. (2022) Методи та технології розроблення цифрових двійників для гарантоздатних систем індустриального інтернету речей. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2022. Том 4, №70. С.127–137. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.4.127>
 20. Bai, H., Kuprat, J., Osório, C., Liu, C., Liserre, M., Gao, F. (2024). Digital Twins for Modern Power Electronics: An investigation into the enabling technologies and applications. *IEEE Electrification Magazine*. 2024. Vol.12, No.3. Pp.50–67. DOI: <https://doi.org/10.1109/MELE.2024.3423111>
 21. Bartram, D. (2011). The SHL Universal Competency Framework. White Paper. SHL.com. URL: https://www.researchgate.net/publication/238763080_The_SHL_Universal_Competency_Framework
 22. Digital Twins for Industrial Applications. Definition, business values, design aspects, standards and use cases. An Industrial Internet Consortium. White Paper. Version 1.0. 2020. URL: https://www.iiconsortium.org/pdf/IIC_Digital_Twins_Industrial_Apps_White_Paper_2020-02-18.pdf
 23. Espinosa-Gracia, A., Sánchez-Chóliz, J. Long waves, paradigm shifts, and income distribution, 1929–2010 and afterwards. *Journal of Evolutionary Economics*. 2023. Vol. 33. Pp.1365–1396. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00191-023-00843-5>
 24. Gromala, P., Inamdar, A., Driel, W. van, Zhang, G., Bailey, C., Nguyen, L., Chan, B., Ryu, J. E., Rezaie, F., Detosky, A. Digital Twins for Electronics Packaging and Systems. *IEEE Electronics*

- Packaging Society*. November 2023. URL: <https://cmlab.wordpress.ncsu.edu/publications/>
25. Kukharska, L. Quality of educational service in Ukrainian higher educations: Challenge-result paradigm. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland). 2022. Pp.142–146. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.43>
 26. Master of Micro-and Nanoelectronic Engineering. Uj.ac.za. URL: <https://www.uj.ac.za/university-courses/master-of-micro-and-nanoelectronic-engineering/>
 27. Starkova, O., Andreichikov, O. (2024). Intellectual capital of IT companies in the development processes of innovative technologies and digital transformations: Historical and genetic analysis. *Development Management*. 2024. Vol. 23, No 4. Pp. 64–75. DOI: <https://doi.org/10.57111/devt/4.2024.64>
 28. *What is a Digital Twin?* (б.д.). Intel.com. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/edge-computing/what-is-a-digital-twin.html>

Стаття надійшла до редакції 13.11.2025

Стаття рекомендована до друку 15.12.2025

Опубліковано 30.12.2025

D. D. TATARCHUK¹, DSc (Technical sciences),

Prof. of the Department of Microelectronics

e-mail: d.tatarchuk-me@lil.kpi.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1171-6701>

S. M. OSINOV¹, PhD (Technical sciences),

Engineer of the Department of Microelectronics

e-mail: s.osinov-me@lil.kpi.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0104-8236>

¹*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",*

16, Polytechnichna Str., Kyiv, Ukraine

RESILIENCE AS A COMPETENCE IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Abstract. The increase in information flows complicates the adoption of a personal decision in conditions of uncertainty, which is typical for a choice situation when a specialist must reveal his own competence as a holistic entity. The paper considers the features of the influence of digital twin technology on didactic functions and aspects of this influence on competence. An attempt was made to prove that the manifestation of polymorphism in digital twin technology could be reduced to a set of factors as a way to effective perception and understanding of educational material by solving practical tasks. On this path, the innate dynamic property of the individual, as the ability to remain consistently in demand in the labor market in a constructive way, should receive additional development. Technical support for the implementation of the educational process is an important component, given that the modern scientific direction associated with micro-nano systems technology was characterized by a high level of technological changes during the production process and the high cost of technological equipment itself, the maintenance of which in an educational institution is impossible. The complexity of the physical functioning of technical support should not limit its adaptation to the educational process, but on the contrary, become a source of personal growth of future specialists through active participation in the creation of digital images of the educational environment. It was proposed to bridge the gap between technical support and the educational process to create virtual technological equipment with the aim of using it as a simulator for obtaining technological skills and ensuring such a competence as global competitiveness. How this can be implemented with the involvement of modern digital tools, such as: cloud computing, neuromorphic environment and the creation of digital twins of technological processes, and what impact this has on the formation of adaptive competencies is the subject of this article.

KEY WORDS: *intensification of learning, functional approach, STEAM technology, didactic functions, digital twin, educational process.*

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. Furthermore, the authors has fully adhered to ethical standards, including those related to plagiarism, data falsification, and duplicate publication.

This work was supported by ongoing institutional funding. No additional grants were received to conduct or direct this specific study.

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work

References

1. Brigadyr, S. (2025). Ukraine plans to launch chip production: the Cabinet of Ministers approved the plan. <https://tsn.ua/ukrayina/ukrayina-planuye-zapustiti-virobnictvo-chipiv-v-kabmini-zatverdili-plan-2745642.html> (In Ukrainian).
2. Kalashnikova, S. (ed.). (2023). Improving teaching in higher education: theory and practice: *monograph* / [Kalashnikova S., Bazelyuk N., Bazelyuk O., etc.]; ed. by S. Kalashnikova. Kyiv: Institute of Higher Education of the National Academy of Sciences of Ukraine. <https://doi.org/10.31874/TE.2023> URL: <https://surl.li/fgblyr> (In Ukrainian).
3. Gurkov, A. (2024). Microchips for Germany: Two Failures and One Success for Scholz. *Deutsche Welle: Economy / Germany*. <https://www.dw.com/uk/mikrocipi-dla-nimeccini-dva-provali-i-odin-uspih-olafa-solca/a-70598041> (In Ukrainian).
4. Didyk, A., Korets, O. (2021). Cloud technologies – an effective means of hybrid learning. *Collection of scientific papers ΛΟΓΟΣ*, (Oxford, UK), 2, 103-104. <https://doi.org/10.36074/logos-28.05.2021.v2.30> (In Ukrainian).
5. Ministry of Digital Transformation of Ukraine. (2024). Action, Dream and WINWIN: The Ministry of Digital Affairs presented the vision and results of Ukraine's digital transformation in Davos. Government portal. <https://www.kmu.gov.ua/news/diia-mriia-i-winwin-mintsyfry-predstavlylo-bachennia-i-rezultaty-tyfrovoyi-transformatsii-ukrainy-v-davosi> (In Ukrainian).
6. Department of Microelectronics, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. Me.kpi. <https://me.kpi.ua/> (In Ukrainian).
7. Kremen, V. G. (2017). Information environment – a crisis of culture or a new existence? *Information and communication technologies in modern education: experience, problems, prospects: collection of scientific works* / edited by M. M. Kozyara, N. G. Nychkalo. Lviv: LDU BZhD, Vol. 5. (In Ukrainian).
8. Kremen, V. (2024). Modernization of the network, consolidation of higher education institutions as a key task of the strategy for the development of higher education in Ukraine for 2022-2032: based on the materials of the presentation at the round table “Strategy for the Development of Higher Education in Ukraine in the Context of Emergencies and Martial Law Crises. Building a Network of Higher Education Institutions of Ukraine” on September 23, 2024. *Herald of the National Academy of Educational Sciences of Ukraine*, 6(2), 1–4. <https://doi.org/10.37472/v.naes.2024.6212> (In Ukrainian).
9. Lavrinenko, L. M. (2022). Education is an important factor in the development of human capital. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 26–27. <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.06> (In Ukrainian).
10. Lyubyma, A., Lupa, A., Lyubarets, V. (2022). The relevance of stakeholder cooperation with higher education institutions. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 151–152. <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.46> (In Ukrainian).
11. Educational and Scientific Center of Applied Sociology "Socioplus", Socioplus. <https://socioplus.kpi.ua> (In Ukrainian).
12. Pasichnyk, O. S. (2021). Educational paradigm and their evolution. *Interdisciplinary research in science of the 21st century: materials of the All-Ukrainian Scientific and practical Internet conference of young scientists and students*. Kyiv: Higher Educational Institution “University of Economics and Law “Krok”. <https://surl.li/badsfj> (In Ukrainian).
13. Ministry of Education and Science of Ukraine. (2019). On approval of the education standard Specialty 153 “Micro-nanosystems engineering” for the first (bachelor’s) level of higher Education: order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 732 of 24.05.2019. https://osvita.ua/legislation/Vishya_osvita/77693/ (In Ukrainian).
14. Sadovyi, M. I., Tryfonova, O. M., Somenko, D. V. (2024). Formation of the subject competences of the students of the science, mathematics and digital fields by means of DIGITAL TWINS. *Academic Notes. Series: Pedagogical Sciences*, (215), 91-96. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-215-91-96> (In Ukrainian).
15. Samaruk, N. (2022). Ways of implementing the professional orientation of mathematical training

- of students of economic specialties. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 160–162. <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.50> (in Ukrainian).
16. Sovik, T. (2025). Implementation of STEAM approach in the musical educational environment of the general secondary education institution. *Information technologies and Learning Tools*, 105(1), 1–17. <https://doi.org/10.33407/itlt.v105i1.5807> (In Ukrainian).
17. Joint Master's Program. Me.kpi. <https://me.kpi.ua/podviinyj-dyplom/> (In Ukrainian).
18. Shevchenko, R., Cherniavsky, O., Shemchuk, V., Zlobina, O., Benkovska, N., Terentieva, N., Guraliuk, A. (2024). Developing information and technological competence of prospective military sailors. *Information Technologies and Learning Tools*, 101(3), 86–107. <https://doi.org/10.33407/itlt.v101i3.5670> (In Ukrainian).
19. Shcheglov, V. R., Morozova, O. I. (2022). Methods and technologies for the development of digital twins for guarantee-capable systems of the industrial Internet of Things. *Control, navigation and communication systems*, 4(70), 127–137. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.4.127> (In Ukrainian).
20. Bai, H., Kuprat, J., Osorio, C., Liu, C., Liserre, M., Gao, F. (2024). Digital Twins for Modern Power Electronics: An investigation into the enabling technologies and applications. *IEEE Electrification Magazine*, 12(3), 50–67. <https://doi.org/10.1109/MELE.2024.3423111>
21. Bartram, D. (2011). The SHL Universal Competency Framework. White Paper. SHL.com. https://www.researchgate.net/publication/238763080_The_SHL_Universal_Competency_Framework
22. Digital Twins for Industrial Applications. Definition, business values, design aspects, standards and use cases. An Industrial Internet Consortium. White Paper. Version 1.0. (2020). https://www.iiconsortium.org/pdf/IIC_Digital_Twins_Industrial_Apps_White_Paper_2020-02-18.pdf
23. Espinosa-Gracia, A., Sánchez-Chóliz, J. (2023). Long waves, paradigm shifts, and income distribution, 1929–2010 and afterwards. *Journal of Evolutionary Economics*, 33, 1365–1396. <https://doi.org/10.1007/s00191-023-00843-5>
24. Gromala, P., Inamdar, A., Driel, W. van, Zhang, G., Bailey, C., Nguyen, L., Chan, B., Ryu, J. E., Rezaie, F., Detosky, A. (2023). Digital Twins for Electronics Packaging and Systems. *IEEE Electronics Packaging Society*. <https://cmlab.wordpress.ncsu.edu/publications/>
25. Kukharska, L. (2022). Quality of educational service in ukrainian higher education institutions: challenge-result paradigm. *Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 142–146. <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.43> (In Ukrainian).
26. Master of Micro-and Nanoelectronic Engineering. Uj.ac.za. <https://www.uj.ac.za/university-courses/master-of-micro-and-nanoelectronic-engineering/>
27. Starkova, O., Andreichikov, O. (2024). Intellectual capital of IT companies in the development processes of innovative technologies and digital transformations: Historical and genetic analysis. *Development Management*, 23(4), 64–75. <https://doi.org/10.57111/devt/4.2024.64> (In Ukrainian).
28. What is a Digital Twin? (б.д.). Intel.com. <https://www.intel.com/content/www/us/en/edge-computing/what-is-a-digital-twin.html>

The article was received by the editors 13.11.2025

The article is recommended for printing 15.12.2025

Published 30.12.2025