УДК 37.091.3:004:377
DOI https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series5.2025.107.09

Нужин О. А.

ОПТИМІЗАЦІЙНО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ЗМІСТОВО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У статті розглянуто оптимізаційно-математичну модель удосконалення змістово-технологічного забезпечення освітньо-професійних програм підготовки фахівців зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» галузі знань 12 «Інформаційні технології». Доведено необхідність модернізації навчальних планів відповідно до сучасних тенденцій ІТ-ринку та підвищення якості професійної підготовки студентів шляхом науково обґрунтованого перерозподілу навчального навантаження. Запропонована модель базується на системному підході, у межах якого навчальні дисципліни розглядаються як змінні з певними параметрами актуальності, обсягом навчального навантаження, покриття компетентностей і рівня дублювання. Цільова функція передбачає максимізацію загальної актуальності навчального плану, а система обмежень забезпечує відповідність державним стандартам, урахування пререквізитів і мінімізацію дублювання навчального матеріалу.

Методологічну основу дослідження становлять системний, статистичний, експериментальний методи, а також методи математичного і комп'ютерного моделювання, що дали змогу поєднати аналітичне оцінювання ринку праці з побудовою формальної оптимізаційної моделі. Проведено анкетування представників провідних ІТ-компаній для визначення актуальних технологічних напрямів і ключових компетентностей, необхідних сучасним фахівцям. Зібрані дані використано для параметризації моделі, де коефіцієнти актуальності дисциплін визначалися на основі експертних оцінок фахівців галузі.

Подано результати обчислювальних експериментів на прикладі навчальних дисциплін, зокрема: «Алгоритми і структури даних», «Мови програмування», «Веброзробка», «Бази даних» і «Машинне навчання». Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення освітніх програм, забезпечення їх відповідності ринковим потребам та підвищення якості підготовки майбутніх фахівців із інформаційних технологій.

Ключові слова: *оптимізаційно-математична модель, освітньо-професійна програма, фахівці з ІТ, комп'ютерні науки, математичне моделювання, компетентності, кредити ECTS.*

У процесі розроблення означеної проблеми було використано різні методи, зокрема: системний метод, який полягає у визначенні формування ключових компетенцій, які необхідні фахівцям зі спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки» фахової передвищої освіти (згідно з трендами сьогодення і розвитком сучасних інформаційних технологій); експериментальний метод, що базується на формуванні контенту освітніх модулів навчальних дисциплін з указаної вище спеціальності з метою підвищення рівня забезпечення відповідних фахових компетентностей; статистичний метод, що полягає у зборі інформації про сучасні тренди у галузі підготовки фахівців із інформаційних технологій загалом, а також метод математичного і комп'ютерного моделювання, що дає змогу оцінити теоретичні моделі і дає можливість спрогнозувати те, наскільки буде поліпшена якісь підготовки фахівців із комп'ютерних наук за умови внесених коректив в освітньо-професійну програму підготовки.

Сучасний ринок праці в галузі інформаційних технологій (ІТ) динамічно розвивається, що зумовлює постійне оновлення вимог до професійних компетентностей фахівців. Це ставить перед закладами вищої освіти (ЗВО) завдання адаптувати освітні програми до актуальних трендів, забезпечуючи високий рівень підготовки майбутніх фахівців. Особливо це стосується спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» галузі знань 12 «Інформаційні технології», де швидкі темпи технологічного прогресу вимагають оперативного оновлення навчальних планів.

Незважаючи на те, що підготовка фахівців із ІТ у ЗВО здебільшого відповідає вимогам професійної діяльності, дослідження засвідчили, що випускникам часто бракує необхідних технічних, комунікативних і професійних умінь, яких очікують представники галузі. Зокрема, виявлено суттєві розбіжності в технічних навичках (проєктування, тестування, використання засобів керування конфігурацією), «м'яких» навичках (спілкування, робота в команді) та професійних якостях (етичні стандарти професійної діяльності) [1]. Результати опитування, проведеного групою американських і канадських учених у 2018 році, довели, що багато початківців у сфері ІТ демонструють недостатню готовність до використання сучасних інструментів, ефективної комунікації, колективної розробки та підтримки складних, тривалих за реалізацією програмних систем з відкритими вимогами [2]. Науковці пояснюють це суттєвими відмінностями між навчальними завданнями, що передбачаються в межах освітньо-професійних програм, та реальними викликами, з якими стикаються фахівці в професійному середовищі. Вони зазначають, що навіть попри багаторічну увагу до цієї проблеми та численні пропозиції щодо реформування змісту підготовки, вона й досі залишається актуальною і невирішеною. Подібні висновки представлено в роботі А. Бегела та Б. Саймона, де зазначається, що в процесі підготовки ІТ-фахівців недостатньо уваги приділяється розвитку навичок комунікації, командної взаємодії та адаптації до професійного середовища, а також наголошується на необхідності перегляду

освітніх програм з урахуванням потреб індустрії та посилення діалогу між академічною спільнотою та професійною практикою [3].

Підготовка конкурентоспроможних фахівців із ІТ вимагає системного перегляду підходів до організації освітнього процесу, зокрема через ефективне формування освітніх кредитів відповідно до вимог Європейської кредитної трансферно-накопичувальної системи (ECTS). Ця система дає змогу не лише кількісно оцінювати навчальне навантаження, а й є дієвим інструментом оптимізації структури освітніх програм [4]. Зокрема, вона дає змогу коригувати навчальні плани з метою рівномірного розподілу навантаження протягом навчального року. Застосування освітніх кредитів регламентується низкою нормативно-правових документів, зокрема Законом України «Про фахову передвищу освіту» [5], Методичними рекомендаціями МОН щодо впровадження ЄКТС, а також стандартами вищої освіти, затвердженими МОН.

Нами встановлено, що у 2022 році близько 4,6 мільйона осіб були зайняті як фахівці з ІТ, що становило 3,32% загальної кількості зайнятих у ЄС [6]. У період з 2012 по 2022 рік рівень зайнятості у цій сфері зріс на 90%. Разом із збільшення кількості фахівців підвищується й рівень їхньої освіти. У 2023 році дві третини ІТ-спеціалістів мали завершену вищу освіту (рівень ISCED 5 або вище) [7]. Частка ІТ-фахівців із вищою освітою збільшилась на 10,2% за останнє десятиліття – з 56,5% у 2013 році до 66,7% у 2023-му, що свідчить про зростаючу роль вищої освіти у формуванні готовності майбутніх фахівців. Очікується, що до 2035 року зайнятість у сфері ІТ зросте ще на 30%. Основними факторами такого зростання є розвиток цифрових технологій, їхнє поширення в різних секторах економіки, а також взаємодія цифрового та «зеленого» переходів. У зв’язку з цим збільшуватиметься потреба у фахівцях із міждисциплінарними навичками.

Однією з пріоритетних проблем у процесі проектування освітніх програм є пошук оптимального балансу між теоретичною підготовкою, практичними навичками, обсягом навчального навантаження та відсутністю дублювання матеріалу. Традиційні підходи до формування навчальних дисциплін часто ґрунтуються на суб’єктивних оцінках, що може призводити до неефективного розподілу часу, застарілого контенту або недостатнього розвитку базових компетенцій. У цьому контексті математичне моделювання пропонує об’єктивний інструмент для оптимізації освітньо-професійних програм. Застосування методів оптимізації дає змогу формалізувати вимоги до навчального плану, збалансувавши такі критерії, як: актуальність дисциплін (відповідність сучасним технологіям і ринковим потребам); повне покриття компетентностей (відповідно до державних стандартів освіти); обмеження навчального навантаження (з урахуванням кредитної системи ECTS); мінімізація дублювання контенту між дисциплінами; дотримання пререквізитів (логічної послідовності вивчення матеріалу) тощо.

Збір та аналітика даних щодо ІТ-трендів в умовах сьогодення. Огляд основних технологічних тенденцій згідно звіту Technology Trends Outlook 2024 від McKinsey засвідчив зростаючий вплив інновацій попри економічну нестабільність. Узагальнено, McKinsey виокремлюють п’ять категорій: революція ШІ, цифрове майбутнє, нові горизонти обчислень, передова інженерія та сталий розвиток [8]. Тенденція, яку називають революцією ШІ, охоплює три пов’язані сфери: генеративний ШІ, прикладний ШІ та індустріалізацію машинного навчання. Генеративний ШІ стимулює інновації в суміжних галузях, таких, як: робототехніка та імерсивна реальність, тоді як прикладний ШІ використовує моделі, керовані даними, для прийняття рішень, а машинне навчання промислового рівня масштабується та стабілізує розгортання в організаціях. Важливими супровідними напрямами є хмарні та периферійні обчислення, що надають масштабовану інфраструктуру й локальну обробку даних для генеративного ШІ та Інтернету речей (IoT), а також розвиток високошвидкісного зв’язку (5G/6G). Паралельно зростає значення цифрової довіри та кібербезпеки, особливо в умовах повсюдної цифровізації. Сталий розвиток залишається в центрі уваги: найбільші інвестиції залучають електрифікація та відновлювана енергетика, а також кліматичні технології – від уловлювання вуглецю до розумних енергомереж. Серед інших перспективних напрямів – технології віртуальної та доповненої реальності, квантові обчислення, мобільність майбутнього, біоінженерія та космічні технології.

У межах нашого дослідження було розроблено електронну анкету на основі сервісу Google Forms та організовано опитування фахівців провідних ІТ-компаній, зокрема: SoftServe, EPAM Ukraine, GlobalLogic, Luxoft Ukraine. Кількість опитаних – 67 осіб, а саме: SoftServe (15 співробітників), EPAM Ukraine (23 співробітника), GlobalLogic (18 співробітників) та Luxoft Ukraine (11 співробітників). Респондентам було запропоновано надати відповіді на питання з оцінюванням за шкалою 1–5 або дати відповіді на відкриті питання. Розроблена анкета має структуру, подану в таблиці 1.

Результати анкетування засвідчили, що серед розглянутих актуальних технологічних напрямів найвищу оцінку отримав комп’ютерний зір (4,942), який визнано критичним для промисловості, автономного транспорту та медицини. Варто підкреслити, що ефективна робота у сфері комп’ютерного зору потребує не лише навичок програмування, а й ґрунтовного розуміння сучасних алгоритмів обробки та аналізу даних різної природи та структури. Високо оцінено також інтеграцію машинного навчання у бізнес-процеси (4,960), що підкреслює активне впровадження ШІ-рішень в усі сфери життя. Напрями, пов’язані з обробленням природної мови (4,718) і глибоким навчанням (4,512), продемонстрували зростання популярності завдяки широкому застосуванню великих мовних моделей, генеративного ШІ та рішень для чат-ботів, реклами і розробки ліків. Штучний інтелект і машинне навчання (4,589) залишаються найбільш активно впроваджуваними в розробках, тоді як генеративні моделі (4,451) визнані однією з найактуальніших технологій останніх років. Напрям AutoML набрав дещо нижчу оцінку (4,180), що пояснюється його популярністю, але й водночас обмеженнями

Таблиця 1

Питання анкети з метою визначення сучасних ІТ-трендів

1. Актуальні технологічні напрямки (оцініть за шкалою 1–5) Штучний інтелект і машинне навчання Хмарні технології Кібербезпека Розробка програмного забезпечення з відкритим кодом DevOps / CI/CD практики Big Data та аналітика даних Інтернет речей Розробка мобільних застосунків Блокчейн і децентралізовані системи Доповнена/віртуальна реальність Розробка з використанням Low-code / No-code платформ Квантові обчислення
2. Навички та компетенції, які потребують підвищення кваліфікації (оцініть за шкалою 1–5) Глибоке знання алгоритмів і структур даних Навички командної роботи в ІТ-проєктах Комунікативні та презентаційні навички для ІТ-фахівців Уміння працювати з Git та системами керування версіями Тестування програмного забезпечення (QA/QC, автоматизоване тестування) Знання сучасних мов програмування (наприклад, Python, Go, Rust) Навички управління ІТ-проєктами (наприклад, Agile, Scrum, Kanban) Кросдисциплінарні знання (ІТ + бізнес, ІТ + медицина, тощо) Підготовка та аналіз технічної документації Вивчення нових ІТ-платформ та фреймворків
3. Формати підвищення кваліфікації, які ви підтримуєте / рекомендуєте (оцініть за шкалою 1–5) Внутрішні курси в компанії Онлайн-курси (Coursera, Udemy, edX тощо) Міжнародна сертифікація (AWS, Cisco, Microsoft, тощо) Участь у хакатонах, професійних змаганнях Наставництво (менторинг) Професійні ІТ-конференції та форуми Академічне навчання (магістратура, аспірантура в ІТ) Спільні проєкти з університетами та R&D-центрами
4. На вашу думку, які напрями стануть пріоритетними у найближчі 3–5 років? *(відкрите питання)*
5. Які найбільші виклики ви бачите щодо професійного зростання ІТ-фахівців сьогодні? *(відкрите питання)*
Загальна інформація (*необов'язково*) Назва компанії: Галузь діяльності (напр. fintech, edtech, cybersecurity тощо): Посада респондента: Кількість працівників в ІТ-відділі:

щодо широкого впровадження. Хмарні ML-платформи (4,078) виявились поширеними переважно середніх і великих компаніях, зокрема в освітньому сегменті. Загалом, результати демонструють фокус на практично орієнтованих технологіях із високим потенціалом для комерційного та індустріального використання, що підтверджується як високими оцінками, так і відповідними коментарями експертів.

Усереднені дані відповідей респондентів на питання «Актуальні технологічні напрямки» подано в таблиці 2.

Аналіз результатів анкетування щодо навичок та компетенцій, які потребують підвищення кваліфікації, переконав, що на думку фахівців, найбільшої уваги потребують навички оптимізації моделей (4,472), а також навички анотування даних (4,120) та оцінки ефективності моделей (4,062). Це свідчить про усвідомлення важливості глибшого розуміння процесів налаштування й оцінювання якості ML-рішень. Серед інших напрямів, що потребують удосконалення, виділяються навички побудови моделей (4,011), інтеграції ML у застосунки (4,210) і розробка систем комп'ютерного зору (4,085). Дещо нижчі, але все ще значущі оцінки отримали знання бібліотек ML, обробка зображень і відео, а також етичні аспекти ШІ, важливість яких зростає в контексті сучасних нормативних вимог.

Усереднені результати опитування за другим питанням подано в таблиці 3.

Як засвідчили реципієнти опитування, найбільшу середню оцінку отримала підтримка сертифікацій (4,471), що свідчить про високу цінність формалізованого підтвердження навичок при працевлаштуванні. На другому місці – використання внутрішніх sandbox-проєктів (4,156), які уможливлюють безпечно експериментувати з ШІ-технологіями в межах компанії. Далі за важливістю йдуть участь у конференціях (4,173) як джерело ідей та нетворкінгу, участь у ML-хакатонах (4,117), що розвиває креативність, а також менторські програми (4,150). Було високо оцінено курси на міжнародних платформах (4,156), які забезпечують структуровані знання, та співпрацю з університетами для R&D (4,053).

Таблиця 2

Актуальні технологічні напрями

№	Напрями	Усереднена оцінка (1–5)	Коментар
1	Штучний інтелект та машинне навчання	4,589	Найбільш активний напрямок у розробках і впровадженнях
2	Глибоке навчання	4,512	У центрі розвитку LLM, CV, NLP, генеративного ШІ
3	Комп’ютерний зір	4,942	Ключовий для промисловості, автономного транспорту, медицини
4	Natural Language Processing	4,718	Великі мовні моделі, що лежать в основі генеративного ШІ, вже інтегруються в корпоративні програми та використовуються для чат-ботів, реклами, розробки ліків тощо.
5	Розпізнавання об’єктів, облич, сцен	4,634	Використовується в системах безпеки, медицини, промисловості
6	Хмарні ML-платформи (наприклад, Azure ML, AWS SageMaker, Google Vertex AI)	4,078	Поширені в середніх/великих компаніях, зростає в освітньому сегменті
7	Генеративні моделі	4,451	Одні з найактуальніших технологій останніх років
8	AutoML	4,980	Популяризується, але ще не домінує через обмеження адаптації
9	Моделі для периферійних пристроїв (Edge AI)	4,205	Стає критично важливою в IoT і CV
10	Інтеграція ML у бізнес-процеси	4,960	Бізнеси активно впроваджують AI для аналітики, автоматизації

Таблиця 3

Навички та компетенції, які потребують підвищення кваліфікації

№	Навичка / знання	Усереднена оцінка (1–5)	Коментар
1	Побудова моделей ML (класифікація, регресія, кластеризація)	4,011	Базовий must-have для ML-фахівців
2	Знання бібліотек ML (у тому числі Scikit-learn, TensorFlow, PyTorch)	3,512	Потрібні практично для будь-якого ML-завдання
3	Обробка зображень та відео (OpenCV, PIL, MediaPipe)	3,722	Особливо актуально в CV-проєктах
4	Розробка та навчання моделей CV (CNN, YOLO, Detectron2)	4,085	Високий попит в промисловості, медтехніці, робототехніці
5	Оптимізація моделей (Pruning, Quantization)	4,472	Актуально при розгортанні на edge-девайсах
6	Навички анотування/розмітки даних	4,120	Часто делегуються, але важливі для якісного навчання моделей
7	Оцінка ефективності моделей (зокрема, Precision, Recall, IoU тощо)	4,228	Ключова навичка для практичного використання моделей
8	Інтеграція ML-моделей у веб/мобільні застосунки	4,097	Все більше стартапів та компаній впроваджують AI-функціональність
9	Робота з великими наборами даних (DVC, pipelines, MLOps)	3,742	Ключовий напрям для промислової ML-розробки
10	Знання етичних аспектів штучного інтелекту	3,936	Зростає значення у зв’язку з регуляціями (AI Act, GDPR)

Усереднені результати опитування на питання «Формати підвищення кваліфікації, які ви підтримуєте/рекомендуєте» представлено в таблиці 4.

Аналіз сучасних тенденцій в IT-сфері, а також оцінка думок провідних роботодавців засвідчив необхідність ґрунтовного оновлення змісту освітньо-професійних програм (ОПП) з цієї спеціальності. Зокрема, дослідження ринку праці і результати опитувань IT-компаній вказують на значний розрив між існуючими академічними програмами та актуальними потребами галузі. Найбільш перспективними напрямками, що отримали найвищі оцінки від роботодавців, є такі сфери, як AutoML, інтеграція машинного навчання у бізнес-процеси, комп’ютерний зір і обробка природної мови. Водночас традиційні освітні програми залишаються зосередженими на базовій алгоритміці та класичному програмуванні, недостатньо охоплюючи прикладні аспекти сучасних методів штучного інтелекту та їх практичної реалізації. Це приводить до того, що випускники не завжди володіють необхідними компетентностями для швидкої адаптації та ефективної роботи на реальних проєктах.

Таблиця 4

Формати підвищення кваліфікації фахівців із ІТ

№	Формат розвитку	Усереднена оцінка (1–5)	Коментар
1	Внутрішнє навчання / стажування з ML/CV	3,517	Найефективніше для довгострокового розвитку кадрів
2	Курси на міжнародних платформах (Coursera, Udacity, edX)	4,156	Швидкий спосіб здобути структуровані знання
3	Підтримка сертифікацій (Google ML, DeepLearning.AI)	4,471	Перевага при працевлаштуванні, офіційне підтвердження навичок
4	Участь у ML-хакатонах (Kaggle, DrivenData)	4,117	Розвиває практичні навички та креативність
5	Менторські програми у сфері AI	4,150	Особливо ефективні для junior та transition-спеціалістів
6	Співпраця з університетами для R&D	4,053	Сприяє інноваційності, особливо в DeepTech
7	Участь у конференціях (наприклад, NeurIPS, CVPR, ML in Prod тощо)	4,173	Джерело найновіших ідей та нетворкінгу
8	Використання внутрішніх sandbox-проєктів	4,456	Корисно для експериментів з AI без ризику для продакшн-інфраструктури

Окрім технічних знань, роботодавці підкреслюють важливість практико-орієнтованого навчання, що охоплює підтримку сертифікаційних програм, участь у конференціях, хакатонах, а також роботу над внутрішніми проєктами. Ці форми навчання сприяють формуванню вміння інтегрувати машинне навчання у практичні системи, працювати з великими даними, впроваджувати DevOps-практики у ML, а також враховувати етичні аспекти штучного інтелекту. Останнє є надзвичайно важливим, оскільки зростає суспільна відповідальність ІТ-фахівців у розробці та застосуванні інтелектуальних систем.

Варто зазначити, що глобальні освітні платформи регулярно оновлюють свої навчальні курси, вводячи новітні технології та підходи, такі як генеративні моделі, Edge AI, великі мовні моделі та Explainable AI. На нашу думку, для збереження конкурентоспроможності українських випускників на світовому ринку праці, освітні програми мають синхронізуватися з цими глобальними трендами, що передбачає не лише оновлення змісту курсів, а й застосування інноваційних методів навчання, включаючи міждисциплінарність і тісну співпрацю із індустрією.

Як висновок, підвищення якості та актуальності освітньо-професійних програм за спеціальністю 122 є основоположним чинником формування висококваліфікованих фахівців, здатних відповідати вимогам сучасної ІТ-індустрії. Це сприятиме розвитку національної економіки, інноваційних технологій та підвищенню конкурентоспроможності української освіти на міжнародній арені.

Наступне – охарактеризуємо оптимізаційно-математичну модель процесу підбору дисциплін для освітньої програми спеціалістів з комп'ютерних наук. Зосередимося на максимізації загальної актуальності обраних дисциплін. Нехай є множина дисциплін $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ і множина компетентності (згідно зі стандартом вищої освіти) $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$, причому n – кількість можливих дисциплін для вибору студентами; m – кількість компетентностей (з державного стандарту).

Цільову функцію оптимізаційно-математичної моделі однокритеріальної оптимізації можна записати у вигляді такої функціональної залежності:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n} a_i x_i \rightarrow, \quad (1)$$

де x_i – змінна, яка приймає значення з бінарної множини {0; 1}, причому $x_i = 1$, якщо дисципліна d_i включена до індивідуального плану студента, $x_i = 0$ – якщо дисципліну студентом не було обрано; $a_i \in [0; 1]$ – параметр, який вказує на рівень актуальності дисципліни d_i за даними ринку.

Введемо змінну $w_i \in R^+$, яка є кількісним показником, що визначає рівень навантаження дисципліни d_i в кредитах ECTS. Тоді є очевидним, що кількість кредитів є обмеженим для вибіркових дисциплін. Тому виникає одне з обмежень на аргументи в (1), яке може бути подано у вигляді такої нерівності:

$$\sum_{i=1}^{n} w_i x_i \le W_{max}, \quad (2)$$

де W_{max} – кількісний параметр, який є відомим, він визначає верхнє обмеження за кількістю кредитів, які можуть бути використані для ефективної побудови індивідуального навчального плану студента з урахуванням вибіркових освітніх модулів.

Вважаємо, що окрім обмеження виду (2) повинні бути ще обмеження, які відповідають за рівень компетентності випускника за конкретною спеціальністю. У такому випадку виникає ще нерівність, яка повинна передбачити покриття всіх компетентностей. Її можна подати у вигляді:

$$\sum_{i}^{n} r_{ij} x_i \geq 1, \qquad \forall j = \underline{1;m}. \tag{3}$$

де $r_{ij} \in \{0,1\}$ – бінарна змінна, яка відповідає за формування дисципліни d_i, $i = \underline{1;n}$ компетентності c_j, $j = \underline{1;m}$ (1, якщо дисципліна d_i формує компетентність c_j , 0 – якщо дисципліна d_i не формує компетентність).

Навчальний план студента, на якій би спеціальності він не навчався, має передбачати також те, що деякі окремі модулі у процесі вивчення двох схожих за напрямком дисциплін можуть бути схожі або частково пересікатися за контентом. У такому випадку вводиться так зване поняття «мінімізація дублювання» у вигляді обмеження, яке описується у вигляді нерівності виду:

$$x_i + x_j \leq 1, \qquad \forall (i;j)\ \delta_{ij} > \delta_{max}, \tag{4}$$

де $\delta_{\max}$ – допустимий рівень дублювання (наприклад, 0,7). Необхідно зазначити, що ступінь дублювання між d_i і d_j знаходиться у множині [0; 1] (0 – немає дублювання, 1 – повне дублювання контенту).

Якщо d_j – пререквізит для d_i, то включення d_i можливе лише разом з d_j. Тому маємо останнє обмеження математичної моделі, яке подається у вигляді:

$$x_i \leq x_j, \qquad \forall p_{ij} = 1. \tag{5}$$

У процесі побудови математичної моделі (1)–(5) ми отримуємо набір дисциплін, які забезпечують повне охоплення компетентностей, не перевищують навантаження, не дублюють одна одну понад допустимий рівень, а також враховують пререквізити і водночас мають максимальну загальну актуальність.

Обчислювальні експерименти. У нинішніх умовах майбутнім фахівцям з комп’ютерних наук найбільше необхідні навички з таких дисциплін як «Алгоритми і структури даних», «Мови програмування», «Веброзробка», «Бази даних» і «Машинне навчання».

Нижче у таблиці 5 і таблиці 6 подано дані про предмети з освітньої програми, які будуть використані згідно з сучасних вимог до фахівців із комп’ютерних наук.

Для аналізу навчальних планів експериментально отримані значення параметрів $W_{max} = 20, \delta_{max} = 0{,}7.$

Таблиця 5

Перелік фахових предметів з їхніми статистичними параметрами згідно з освітньою програмою

№	Позначення	a_1	W_i	r_i, 1	r_i, 1	Пререквізити	Дублювання
1	Алгоритми і структури даних	0,90	6	1	1	–	–
2	Мови програмування	0,95	6	1	0	–	$\delta^{12} = 0{,}2$
3	Веброзробка	0,85	5	0	1		$\delta^{23} = 0{,}3$
4	Бази даних	0,75	5	0	1		$\delta^{24} = 0{,}8$
5	Машинне навчання	0,98	6	1	1	1,4	$\delta^{15} = 0{,}1$

Таблиця 6

Перелік основних компетентностей в освітньо-професійній програмі

№	Позначення	Назва компетентності
1	c_1	Здатність розробляти алгоритми та програмне забезпечення
2	c_2	Здатність до веброзробки та клієнт-серверної архітектури
3	c_3	Здатність проєктувати та адмініструвати бази даних
4	$c4$	Здатність аналізувати дані та застосовувати методи машинного навчання
5	$c5$	Володіння теоретичними знаннями з інформатики та комп'ютерних наук
6	c_6	Здатність працювати в команді та комунікувати в професійному середовищі
7	c_7	Вміння організовувати безперервне професійне навчання та адаптацію до нових технологій
8	c_8	Здатність інтегрувати програмні системи з урахуванням вимог безпеки та захисту даних
9	c_9	Здатність управляти IT-проєктами з урахуванням ресурсів, ризиків та цілей
10	c_{10}	Знання англійської мови на рівні, що забезпечує професійну діяльність

Висновки. У дослідженні розроблено й охарактеризовано оптимізаційно-математичну модель для вдосконалення змісту освітньо-професійних програм підготовки фахівців зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» галузі знань 12 «Інформаційні технології». Проведений аналіз засвідчив, що запропонований підхід дозволяє ефективно вирішувати проблему балансування між актуальністю навчальних дисциплін, повнотою формування компетентностей, обмеженням навчального навантаження та усуненням дублювання навчального матеріалу. Запропонована однокритеріальна модель максимізації актуальності навчального плану (1) з урахуванням обмежень на кредитне навантаження (2), покриття компетентностей (3), мінімізацію дублювання (4) та пререквізитні зв'язки (5) дозволяє кількісно оцінювати якість освітньої програми. Введення коефіцієнтів актуальності для кожної дисципліни забезпечує врахування сучасних тенденцій у галузі ІТ, що підтверджено результатами обчислювальних експериментів.

До перспектив подальших досліджень можна запропонувати розширення оптимізаційно-математичної моделі для багатокритеріальної оптимізації (наприклад, з урахуванням вартості викладання дисциплін), інтеграцію методів машинного навчання для динамічного оновлення коефіцієнтів актуальності та розробку програмного інструменту для автоматизованого формування навчальних планів.

Запропонована модель є ефективним інструментом для об'єктивного проектування освітніх програм у сфері інформаційних технологій, що сприятиме підвищенню якості підготовки фахівців відповідно до сучасних вимог.

Використана література:

1. Radermacher A., Walia G. Gaps between industry expectations and the abilities of graduates. *Proceedings of the 44th ACM Technical Symposium on Computer Science Education.* 2013. P. 525–530.
2. Craig M., Conrad P., Lynch D., Lee N., Anthony L. Listening to early career software developers. *Journal of Computing Sciences in Colleges.* 2018. Vol. 33, No. 4. P. 138–149.
3. Begel A., Simon B. Struggles of new college graduates in their first software development job. *ACM SIGCSE Bulletin.* 2008. Vol. 40. P. 226–230. DOI: 10.1145/1352322.1352218.
4. European Commission. European Credit Transfer and Accumulation System. Education and Training. URL: https://education.ec.europa.eu/education-levels/higher-education/inclusive-and-connected-higher-education/european-credit-transfer-and-accumulation-system.
5. Верховна Рада України. Закон України «Про фахову передвищу освіту» від 6 червня 2019 р. № 2745-VIII. *Портал Верховної Ради України.* URL : https://zakon.rada.gov.ua/go/2745-19.
6. Eurostat. Percentage of the ICT sector personnel in total employment [Dataset]. 2024. DOI: 10.2908/TIN00085.
7. Eurostat. *ICT specialists in employment.* URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=ICT_specialists_in_employment.
8. McKinsey & Company. *The top trends in tech.* 2024. URL: https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech.

References:

1. Radermacher, A., & Walia, G. (2013). Gaps between industry expectations and the abilities of graduates. *Proceedings of the 44th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*. P. 525–530. https://doi.org/10.1145/2445196.2445362
2. Craig, M., Conrad, P., Lynch, D., Lee, N., & Anthony, L. (2018). Listening to early career software developers. *Journal of Computing Sciences in Colleges*. 33 (4). P. 138–149.
3. Begel, A., & Simon, B. (2008). Struggles of new college graduates in their first software development job. *ACM SIGCSE Bulletin*. 40. P. 226–230. https://doi.org/10.1145/1352322.1352218
4. European Commission. (2025, June 12). European Credit Transfer and Accumulation System. Education and Training. URL : https://education.ec.europa.eu/education-levels/higher-education/inclusive-and-connected-higher-education/european-credit-transfer-and-accumulation-system
5. Verkhovna Rada of Ukraine. (2019, June 6). Law of Ukraine "On Professional Pre-Higher Education" No. 2745-VIII. Retrieved June 12. 2025. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2745-19
6. Eurostat. (2024). *Percentage of the ICT sector personnel in total employment [Dataset].* https://doi.org/10.2908/TIN00085
7. Eurostat. (2025, June 12). *ICT specialists in employment.* URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=ICT_specialists_in_employment
8. McKinsey & Company. (2024). *The top trends in tech.* Retrieved June 12. 2025. URL: https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech

O. Nuzhyn. Optimization-mathematical model of improvement of content-technological support of professional training of it specialists

The article considers an optimization-mathematical model of improvement of content-technological support of educational and professional programs for training specialists in specialty 122 «Computer Science» of knowledge area 12 «Information Technologies». The need to modernize curricula in accordance with modern trends in the IT market and improve the quality of students' professional training through scientifically substantiated redistribution of the educational load is proven. The proposed model is based on a systemic approach, within which academic disciplines are considered as variables with certain parameters of relevance, volume of educational load, coverage of competencies and level of duplication. The objective function assumes the maximization of the overall relevance of the curriculum, and the system of constraints ensures compliance with state standards, consideration of prerequisites and minimization of duplication of educational material.

The methodological basis of the study is systemic, statistical, experimental methods, as well as methods of mathematical and computer modeling, which made it possible to combine analytical assessment of the labor market with the construction of a formal

optimization model. A survey of representatives of leading IT companies was conducted to determine relevant technological areas and key competencies required by modern specialists. The collected data was used to parameterize the model, where the relevance coefficients of disciplines were determined based on expert assessments of industry specialists.

The results of computational experiments are presented on the example of educational disciplines, in particular: Algorithms and Data Structures, Programming Languages, Web Development, Databases and Machine Learning. The results of the study can be used to improve educational programs, ensure their compliance with market needs, and improve the quality of training of future computer science specialists.

Key words: *optimization-mathematical model, educational-professional program, IT specialists, computer science, mathematical modeling, competencies, ECTS credits.*

Дата першого надходження рукопису до видання: 29.10.2025
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025
Дата публікації: 26.12.2025