

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Бугаєвського Михайла Сергійовича «Моделі та інформаційна технологія цифрових двійників у виробництві та логістиці бетону», подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертація Бугаєвського Михайла Сергійовича присвячена розробленню моделей та інформаційної технології цифрових двійників, орієнтованих на планування й управління виробництвом готового бетону та його доставкою до будівельних майданчиків. Обрана предметна область характеризується складною взаємозалежністю технологічних, транспортних, часових, ресурсних і економічних процесів. Виробництво бетонної суміші не може розглядатися окремо від логістики, оскільки властивості продукції змінюються у часі, а несвоєчасне завантаження, затримка маршруту або простій на майданчику безпосередньо впливають на якість, собівартість і можливість виконання замовлення.

Актуальність дослідження істотно посилюється потребами відбудови України. Відновлення житлових будинків, автомобільних доріг, мостів, промислових та енергетичних об'єктів вимагатиме значного збільшення обсягів виробництва будівельних матеріалів. За таких умов вирішальним стає не лише нарощування потужностей, але й здатність підприємств оперативно перерозподіляти замовлення, транспорт і матеріальні ресурси, працювати за нестабільної інфраструктури, дефіциту сировини та високої ймовірності непередбачених подій. Саме тому інструменти сценарного аналізу, прогнозування та випереджального реагування мають безпосереднє практичне значення.

З точки зору комп'ютерних наук проблема є актуальною через необхідність об'єднання різнорідних потоків даних, моделей поведінки виробничих об'єктів, алгоритмів оптимізації, геоінформаційних сервісів та засобів машинного навчання в єдиному інформаційному середовищі. Цифровий двійник у такому трактуванні виконує функцію не статичного електронного опису, а динамічного програмно-модельного представлення системи, придатного для аналізу стану, проведення безпечних експериментів, оцінювання наслідків управлінських рішень та формування рекомендацій.

Тема дисертації відповідає сучасним напрямкам розвитку інтелектуальних інформаційних технологій, кіберфізичних виробничих систем, програмної інженерії, цифрових двійників, агентного моделювання та аналізу даних. Поставлене науково-прикладне завдання є своєчасним, а його розв'язання має значення для цифрової трансформації підприємств будівельної індустрії.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами

Дисертаційне дослідження виконано на кафедрах автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій та кафедрі комп'ютерних наук і інформаційних систем Харківського національного автомобільно-дорожнього університету в межах науково-дослідних робіт, зареєстрованих за номерами 0124U004234 у 2024–2025 роках та 0123U104417 у 2023–2024 роках. Зміст дисертації узгоджується з науковою спрямованістю зазначених робіт, пов'язаною з цифровізацією виробничих процесів, комп'ютерно-інтегрованими системами, інформаційною підтримкою управління та моделюванням складних організаційно-технічних об'єктів.

У межах цього напрямку здобувачем сформовано системне подання виробничо-логістичного комплексу, запропоновано математичні та машинно-навчальні моделі, розроблено мультиагентну імітаційну модель і побудовано структуру інформаційної технології цифрового двійника. Таким чином,

результати дисертації не є відокремленими від планової наукової діяльності закладу, а розвивають її прикладний та інформаційно-технологічний складники.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі

Логіка дослідження побудована послідовно. Спочатку автор визначає специфіку предметної області, аналізує джерела ризику, сучасні системи планування, засоби цифрового моделювання та можливості цифрових двійників. Далі виконується декомпозиція виробничо-логістичної системи, виділяються рівні планування і формалізуються задачі розподілу замовлень, використання транспортних ресурсів та розвитку мережі. На наступному етапі досліджуються моделі машинного навчання, будується імітаційна модель, після чого отримані компоненти інтегруються в інформаційну технологію та перевіряються на сценаріях функціонування й ризику.

Методи дослідження загалом відповідають поставленим завданням. Системний аналіз застосовано для визначення складу об'єктів, зв'язків і контурів управління. Оптимізаційні постановки використано для планування виробничо-транспортної діяльності та оцінювання конфігурацій інфраструктури. Агентне й дискретне моделювання забезпечує відтворення поведінки заводів, автобетонозмішувачів і будівельних майданчиків, а машинне навчання застосовано до задач прогнозування затримок, придатності суміші та відповідності бетону заданим характеристикам.

Суттєвою перевагою є те, що технологічні та економічні показники розглядаються спільно. У моделі враховуються продуктивність обладнання, черги, тривалість завантаження і розвантаження, пробіг, простої, витрати, доходи, штрафи, втрати якості та прибутковість. Це дозволяє оцінювати рішення не лише за швидкістю виконання операцій, а за сукупним результатом для підприємства.

Висновки за розділами відтворюють основні етапи дослідження і в цілому узгоджуються з матеріалом, що їм передусє. Загальні висновки пов'язані з метою та завданнями, сформульованими у вступі. Рекомендації щодо прогностного виробництва, адаптивної маршрутизації, технологічної адаптації і ризикостійкого планування випливають із проведених експериментів. Отже, основні положення роботи можна вважати достатньо обґрунтованими, хоча окремі питання програмної реалізації та експлуатаційної перевірки потребують глибшої деталізації.

Достовірність результатів дослідження

Достовірність результатів забезпечується використанням відомого та апробованого методичного апарату, коректною інтерпретацією предметних обмежень і поєднанням декількох способів перевірки. Автор не обмежується однією математичною постановкою, а застосовує оптимізаційне, імітаційне та машинно-навчальне моделювання, завдяки чому одні й ті самі процеси оцінюються з різних сторін.

Для моделей машинного навчання наведено порівняння Random Forest, багатошарової нейронної мережі, LSTM та гібридної LSTM+MLP. У задачі оцінювання придатності бетону під час транспортування отримано точність близько 0,91 та значення AUC від 0,967 до 0,978. Для контролю якості на виробництві точність моделей становить 0,935–0,947, а AUC — 0,986–0,989. Такі значення свідчать про стійку роздільну здатність побудованих класифікаторів у межах використаних даних. Додатково аналізується важливість ознак, що дозволяє співвіднести рішення моделей із технологічно значущими параметрами суміші та умовами її транспортування.

Імітаційні дослідження виконано для мережі заводів і будівельних майданчиків із використанням реальної дорожньої інфраструктури в геоінформаційному середовищі. У роботі досліджено альтернативні конфігурації автопарку й продуктивності, а також окремі сценарії логістичних,

виробничих, ресурсних і майданчикових ризиків. Накопичення статистики за часом циклу, чергами, завантаженням транспорту, витратами та прибутком дає можливість перевірити внутрішню узгодженість моделі та простежити причинно-наслідкові зв'язки між параметрами системи й отриманими KPI.

Практичну спрямованість підтверджують акти впровадження у виробничу діяльність ТОВ «Еталон», компанії Autostrada та в освітній процес Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наведені у дисертації показники демонструють скорочення середнього часу доставки, зростання частки своєчасних поставок, зниження втрат якості й собівартості та підвищення коефіцієнта використання транспорту. Сукупність теоретичних, обчислювальних та прикладних підтверджень дозволяє позитивно оцінити достовірність основних результатів.

Основні наукові результати дисертації

До основних наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

1. Сформовано трирівневе подання цифрового двійника бетонного підприємства, у якому фізичний рівень охоплює обладнання, транспорт, матеріальні потоки та сенсори; інформаційний рівень забезпечує збирання, зберігання й обмін даними; аналітико-моделюючий рівень об'єднує оптимізаційні, імітаційні та прогнозні компоненти.

2. Розроблено системне логістичне подання процесів виробництва та доставки готового бетону, яке встановлює взаємозв'язки між замовленнями, рецептурами, виробничими потужностями, запасами, автопарком, маршрутами, майданчиками та економічними результатами.

3. Запропоновано багаторівневу організацію планування, що пов'язує стратегічні рішення щодо розвитку виробничо-розподільчої мережі, тактичне планування ресурсів та оперативне диспетчерування конкретних замовлень і транспортних засобів.

4. Удосконалено моделі планування логістичного ланцюга і конфігурації виробничо-розподільчої інфраструктури шляхом одночасного урахування попиту, часових вікон, виробничих обмежень, транспортної доступності, структури витрат та прибутковості.

5. Дістали подальшого розвитку моделі машинного навчання для прогнозування затримок, оцінювання придатності бетонної суміші під час транспортування, контролю якості продукції та прогнозування показників міцності за даними замовлень, телеметрії, IoT-моніторингу й виробничих параметрів.

6. Вперше для поставленого комплексу завдань розроблено динамічну мультиагентну імітаційну модель мережі бетонних заводів, автобетонозмішувачів і будівельних майданчиків, яка поєднує технологічні, транспортні та управлінсько-економічні процеси з GIS-маршрутизацією.

7. Реалізовано механізм сценарного відтворення виробничих, ресурсних, логістичних, якісних та організаційних ризиків і запропоновано систему показників для оцінювання затримок, втрат, прибутковості та стійкості виробничо-логістичної системи.

8. Розроблено інформаційну технологію цифрового двійника, що передбачає інтеграцію з ERP, CRM, WMS, TMS, MES, EAM, SCADA, GIS та IoT-компонентами із застосуванням MQTT, REST API, WebSocket, OPC UA та Modbus TCP і забезпечує формування аналітичних показників та рекомендацій для прийняття рішень.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання

Наукове значення результатів визначається розвитком підходів до комп'ютерного моделювання складних виробничо-логістичних систем. У дисертації предметна область представлена не як сукупність незалежних задач виробництва, транспортування та контролю якості, а як єдина динамічна система зі спільним інформаційним простором. Це дозволяє досліджувати

взаємний вплив технологічних режимів, транспортної ситуації, поведінки замовників, ресурсних обмежень та управлінських рішень.

З позицій програмної інженерії важливим є поєднання різнотипних моделей в архітектурі інформаційної технології. Імітаційний модуль надає можливість програвати сценарії та накопичувати статистику, оптимізаційний компонент формує раціональні варіанти планів, моделі машинного навчання забезпечують прогнозування, а інтеграційний шар пов'язує ці засоби з виробничими та корпоративними інформаційними системами. Така композиція створює основу для подальшого розвитку спеціалізованих систем підтримки прийняття рішень.

Практичне значення полягає у можливості застосування розробок для визначення потрібної кількості автобетонозмішувачів, узгодження продуктивності заводу з графіками постачання, оцінювання наслідків збоїв, вибору маршрутів, аналізу варіантів розміщення виробничих потужностей та контролю показників якості. Технологія може бути корисною для диспетчерів, керівників виробництва, логістів, інженерів і менеджерів проєктів розвитку підприємств.

Окремої уваги заслуговує можливість використання цифрового двійника у мобільних виробничо-логістичних схемах, характерних для дорожнього будівництва, фортифікаційних робіт і відновлення пошкодженої інфраструктури. Результати мають також навчально-методичну цінність, оскільки впроваджені в освітній процес і можуть бути використані під час підготовки фахівців з комп'ютерних наук, автоматизації та управління виробничими системами.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

За тематикою дисертації опубліковано 17 наукових праць. До їх складу входять п'ять статей у наукових фахових виданнях України, серед яких дві статті опубліковано у виданні, що індексується міжнародною наукометричною

базою Scopus і віднесене до квартиля Q2, один розділ колективної монографії та одинадцять публікацій у матеріалах міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій.

У статтях представлено основні складники дисертаційного дослідження: імітаційну модель виробництва і логістики бетонних заводів; моделі планування та оптимізації; багаторівневу організацію планування; застосування машинного навчання; підходи до управління проєктами модернізації виробництв. Матеріали конференцій відображають розвиток авторської концепції — від аналізу цифрових технологій і формування цифрового двійника до прогнозної аналітики, сценарного моделювання та використання результатів у проєктах відновлення.

У спільних публікаціях наведено особистий внесок здобувача, який охоплює системне подання предметної області, розроблення моделей, проведення експериментів та формування інформаційної технології. Тематика основних фахових статей відповідає положенням наукової новизни і змісту ключових розділів дисертації. Отже, результати дослідження оприлюднено у достатньому обсязі.

Зміст дисертації та відповідність установленим вимогам

Дисертація складається з анотації українською та англійською мовами, переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг становить 188 сторінок; основний текст — 146 сторінок. Робота містить 62 рисунки, 26 таблиць і список із 151 використаного джерела. Структура відповідає логіці поставлених завдань, а графічний і табличний матеріал загалом сприяє розумінню моделей, архітектури та результатів експериментів.

Оцінка першого розділу

У першому розділі проаналізовано стан бетонної галузі, особливості виробництва та транспортування товарного бетону, фактори ризику і потреби

післявоєнного відновлення. Розглянуто цифрову трансформацію виробництва, концепцію цифрового двійника, IoT-технології, системи корпоративного та виробничого управління, методи імітаційного моделювання, оптимізації, штучного інтелекту і машинного навчання.

Позитивною рисою є широке охоплення предметної області та прагнення автора пов'язати технологічну специфіку бетону із сучасними інформаційними рішеннями. Наведено порівняння існуючих програмних продуктів та окреслено їх обмеження щодо наскрізного планування, моделювання ризиків і прогнозової аналітики. На основі огляду обґрунтовано доцільність комплексного цифрового двійника виробництва та логістики, сформульовано мету й завдання дослідження. Перший розділ створює достатню аналітичну основу для подальших розробок.

Оцінка другого розділу

Другий розділ присвячено системному логістичному поданню підприємства, багаторівневій моделі планування та концептуальній структурі цифрового двійника. Виділено фізичний, інформаційний і аналітико-моделюючий рівні, визначено об'єкти спостереження, джерела даних, контури оброблення та зв'язок із зовнішніми інформаційними системами.

У розділі формалізовано модель планування та оптимізації логістичного ланцюга, а також модель розвитку виробничо-розподільчої мережі. Важливим є включення не тільки транспортних відстаней, а й попиту, виробничих потужностей, часових обмежень та економічних показників. Значний обсяг розділу відведено моделям машинного навчання. Порівняно ансамблеві та нейромережеві алгоритми, наведено матриці помилок, ROC-криві, метрики класифікації та аналіз значущості ознак. Це підсилює аналітичний складник цифрового двійника і демонструє можливість використання сенсорних та операційних даних для прогнозування.

Оцінка третього розділу

У третьому розділі розроблено імітаційну модель виробництва та логістики готового бетону. Модель має агентну структуру і відображає поведінку бетонного заводу, автобетонозмішувача та будівельного майданчика. Для агентів визначено параметри, стани, події та переходи; реалізовано формування замовлень, постановку в черги, завантаження, транспортування, розвантаження і повернення транспортних засобів.

Істотним науковим і практичним результатом є розширення операційної моделі до управлінсько-економічного рівня. До моделі включено доходи, собівартість, витрати на транспортування, простой, штрафи та інші показники. Далі реалізовано стохастичні виробничі, ресурсні, логістичні та майданчикові ризики. Такий підхід дозволяє досліджувати не тільки середній режим роботи системи, але й її поведінку за несприятливих подій. Третій розділ є змістовним ядром дисертації, оскільки саме в ньому сформовано експериментальне середовище цифрового двійника.

Оцінка четвертого розділу

У четвертому розділі окремі моделі та програмно-інформаційні компоненти об'єднано в інформаційну технологію планування виробництва й розподілу бетону. Визначено джерела даних, протоколи обміну та взаємодію з ERP, CRM, WMS, TMS, MES, EAM, SCADA, GIS і IoT-системами. Наведено схему технології та описано функції її основних компонентів.

Працездатність підходу проілюстровано на прикладі мережі бетонних заводів і будівельних майданчиків. Досліджено залежність використання автопарку, часу очікування та економічних результатів від кількості транспортних засобів і продуктивності виробництва. Проведено експерименти з різними групами ризиків, запропоновано методику оцінювання ефективності й сформовано практичні стратегії планування. Розділ завершує логіку дослідження переходом від моделей до інтегрованої технології та демонструє її прикладну орієнтацію.

Загалом дисертація є самостійним, змістовно завершеним дослідженням. Мета, об'єкт, предмет, завдання, наукова новизна та практичне значення взаємопов'язані. Основні положення відповідають спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», оскільки стосуються моделювання, оптимізації, інтелектуального аналізу даних, побудови інформаційної технології та інтеграції програмних компонентів.

Апробація результатів роботи

Основні результати дисертації доповідалися та обговорювалися на міжнародних і всеукраїнських конференціях у 2022–2026 роках. Апробація охоплює питання гібридного управління проєктами модернізації виробництв, цифрових двійників, системного планування виробництва й логістики, машинного навчання, виявлення аномалій та застосування інформаційних технологій у відновленні інфраструктури.

Тривалий часовий діапазон апробації демонструє поетапність формування результатів. Представлення матеріалів на конференціях різного профілю сприяло перевірці положень роботи як з боку фахівців з комп'ютерних наук та автоматизації, так і з боку дослідників у сфері управління проєктами та виробничої логістики. Виробниче й освітнє впровадження додатково підтверджує практичну спрямованість дослідження.

Зауваження до дисертаційної роботи

Позитивно оцінюючи наукові та практичні результати дисертації, з позицій комп'ютерних наук й експлуатації інтелектуальних інформаційних систем доцільно висловити такі зауваження:

1. У роботі відсутня явна трасованість між потребами основних груп користувачів, функціональними й нефункціональними вимогами, компонентами інформаційної технології та експериментами, якими підтверджено виконання цих вимог. Матриця «вимога — модель — програмний компонент — критерій приймання» зробила б інженерну логіку розробки більш прозорою.

2. У формулюванні науково-прикладного завдання та мети поряд із моделями й інформаційною технологією заявляється розроблення методів, тоді як положення наукової новизни переважно сформульовані як моделі. Варто чітко визначити, які саме послідовності дій або обчислювальні процедури мають статус авторського методу, та відокремити їх від алгоритмічної реалізації моделей.

3. Архітектура цифрового двійника містить значну кількість джерел і споживачів даних, однак не подано формальної предметної моделі даних: сутностей, їх ідентифікаторів, зв'язків, одиниць вимірювання, правил версіонування рецептур і станів замовлень. Наявність канонічної моделі або онтології підвищила б семантичну сумісність інтегрованих систем.

4. Опис інформаційної технології переважно має функціонально-концептуальний характер. Для повнішої програмно-інженерної верифікації доцільно було б навести компонентну та розгортальну архітектури, контракти сервісів, основні послідовності взаємодії, структуру сховищ даних і розподіл відповідальності між модулями.

5. У дисертації не сформовано окремої стратегії тестування програмних компонентів цифрового двійника. Бажано розмежувати модульне, інтеграційне, системне, приймальне та навантажувальне тестування, визначити тестові оракули для модельних результатів і критерії коректної деградації системи за відмови окремих сервісів.

6. Заявлене використання MQTT, REST API, WebSocket, OPC UA та Modbus TCP не супроводжується оцінюванням затримок обміну, пропускну здатності, допустимої частоти оновлення і впливу втрати повідомлень на актуальність стану цифрового двійника. Для системи оперативного планування такі характеристики є частиною доказу придатності технології до роботи в реальному часі.

7. Недостатньо формалізовано взаємодію людини з рекомендаціями цифрового двійника. Не визначено, які рішення система може виконувати автоматично, які потребують підтвердження диспетчера, як обробляється відхилення рекомендації, хто несе відповідальність за конфлікт між оптимізаційним планом і фактичним виробничим пріоритетом та як зберігається журнал рішень.

8. Ефективність системи оцінюється за сукупністю технічних та економічних KPI, проте процедура узгодження суперечливих критеріїв розкрита недостатньо. Наприклад, мінімізація часу очікування може вимагати надлишкового автопарку, а максимізація використання транспорту — збільшувати ризик затримок. Доцільним було б застосування багатокритеріального аналізу з побудовою множини Парето або явним визначенням переваг особи, яка приймає рішення.

9. Запропонований інтегральний індекс стійкості є корисним для порівняння сценаріїв, але механізм вибору ваг окремих складників потребує додаткового обґрунтування. Лінійне агрегування може приховувати критичне погіршення одного показника завдяки покращенню іншого, тому варто дослідити некомпенсаційні правила та чутливість ранжування сценаріїв до зміни ваг.

10. Для класифікаційних моделей наведено високі значення AUC і точності, однак не оцінено калібрування прогнозованих імовірностей та економічну ціну помилок різних типів. У виробничій практиці помилкове визнання непридатної суміші придатною може мати значно більші наслідки, ніж надмірно обережне попередження, тому поріг рішення слід пов'язати з функцією втрат.

11. Аналіз важливості ознак демонструє загальні закономірності, але для експлуатаційного використання бажано доповнити його локальним поясненням окремих прогнозів, оцінкою довіри до рішення та індикацією виходу вхідних даних за межі навчального розподілу. Це підвищило б зрозумілість рекомендацій для технолога й диспетчера.

12. Не розкрито життєвий цикл моделей машинного навчання після введення технології в експлуатацію: контроль дрейфу даних і якості прогнозів, умови повторного навчання, версіонування моделей, перевірка нової версії, можливість відкату та ведення реєстру експериментів. Для довготривалої роботи цифрового двійника ці MLOps-процедури є принципово важливими.

13. Питання якості та походження потокових даних розглянуто стисло. Доцільно було б формалізувати правила синхронізації часових міток, оброблення пропусків і викидів, виявлення несправних сенсорів, простежуваності перетворень даних та визначення рівня довіри до поточного стану віртуальної моделі.

14. У роботі практично не оцінено зручність інтерфейсів і сприйняття аналітичної інформації кінцевими користувачами. Проведення сценарного юзабіліті-тестування з диспетчерами, технологами та керівниками дозволило б перевірити, чи скорочує система час прийняття рішення, чи правильно інтерпретуються попередження та чи не створюється надмірне інформаційне навантаження.

15. Економічні показники є важливим складником моделі, однак їх доцільно доповнити оцінкою повної вартості володіння інформаційною технологією, витрат на інтеграцію і супровід, строку окупності та стійкості ефекту до коливання цін на паливо, електроенергію, сировину й оплату праці. Також перспективним є включення екологічних критеріїв — витрат пального, викидів і втрат бетонної суміші.

16. Для забезпечення незалежного відтворення результатів бажано сформувати дослідницький пакет, що містить схеми даних, конфігурації сценаріїв, параметри агентів, програмний код ключових розрахунків, фіксовані версії залежностей та автоматизовані тести. Це особливо важливо для дисертації, у якій значна частина наукового результату реалізована у програмно-модельному середовищі.

Наведені зауваження мають переважно рекомендаційний характер. Вони окреслюють напрями поглиблення програмно-інженерного обґрунтування, підвищення відтворюваності та підготовки технології до промислової експлуатації, але не заперечують наукової новизни й практичної цінності отриманих результатів.

Висновок

Дисертаційна робота Бугаєвського Михайла Сергійовича «Моделі та інформаційна технологія цифрових двійників у виробництві та логістиці бетону» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальне науково-прикладне завдання створення моделей та інформаційної технології для підвищення ефективності планування й управління виробничо-логістичними процесами бетонних підприємств.

У роботі отримано результати, що мають наукову новизну та практичне значення: розроблено системне й багаторівневе подання процесів, удосконалено оптимізаційні моделі, розвинено засоби прогнозної аналітики, побудовано мультиагентну імітаційну модель, реалізовано ризик-орієнтовані сценарії та сформовано інформаційну технологію цифрового двійника. Поставленої мети досягнуто, завдання дослідження виконано, результати опубліковано, апробовано та впроваджено.

За актуальністю, структурою, обсягом, рівнем наукової новизни, обґрунтованістю положень, достовірністю результатів, повнотою їх оприлюднення та практичною значимістю дисертація відповідає Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а також Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40.

Бугасвський Михайло Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент:

професор кафедри програмної інженерії,
Харківського національного
Університету радіоелектроніки
кандидат технічних наук, доцент

«16» 07 2026 р.



Ігор ШУБІН

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ:
Засв. Начальник відділу кадрів
16 07 2026

