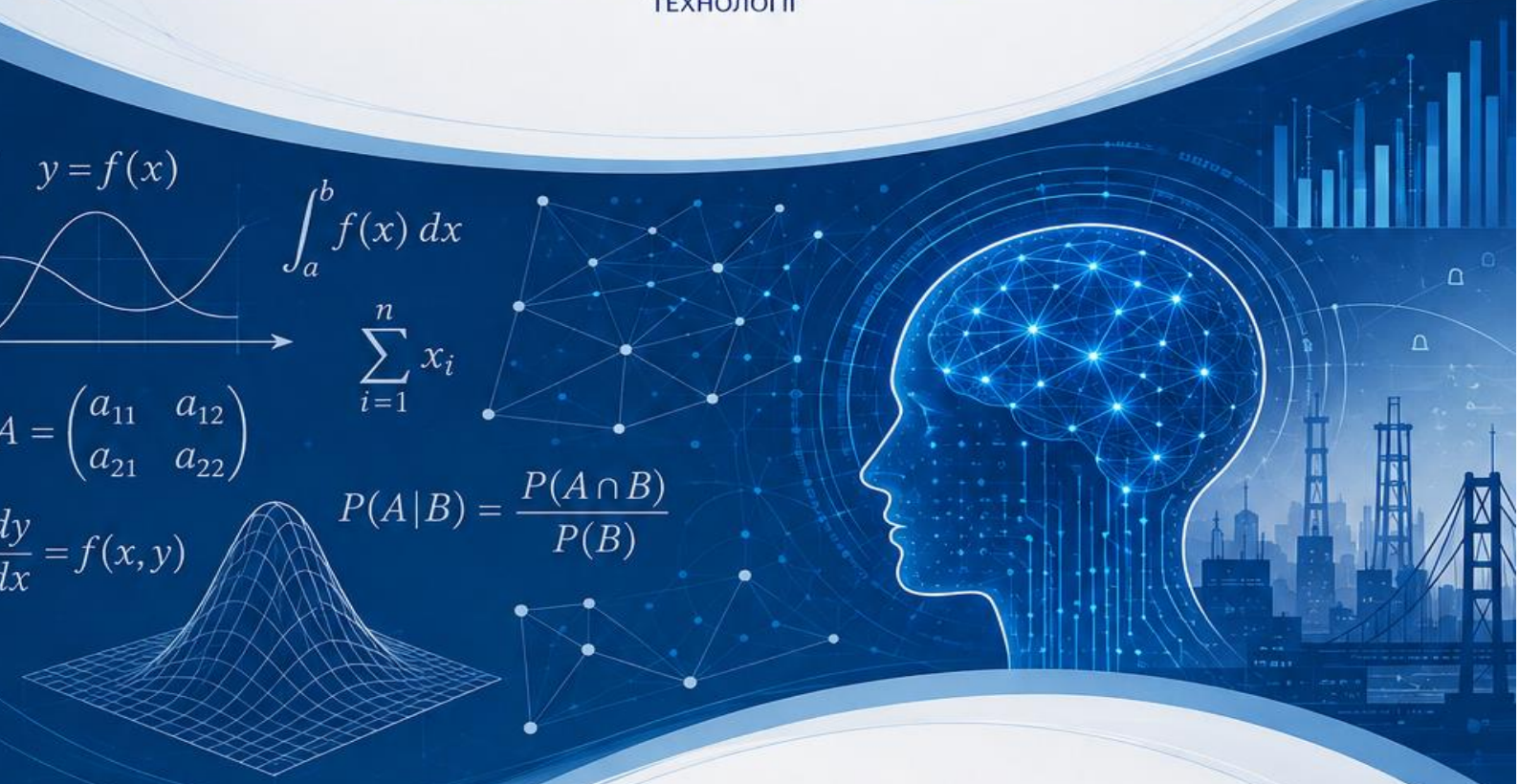
ВСЕУКРАЇНСЬКА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА, МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАУЦІ, ОСВІТІ ТА ІНЖЕНЕРІЇ

МАТЕМАТИКА · МОДЕЛЮВАННЯ · ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ · ОСВІТА · ІНЖЕНЕРІЯ



МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

м. Миколаїв
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ІМЕНІ С.П. ТИМОШЕНКО НАН УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМ, АДМ. МАКАРОВА

Прикладна математика, моделювання та інтелектуальні технології в науці, освіті та інженерії

Матеріали
Всеукраїнської науково-практичної конференції

м. Миколаїв, 21-23 жовтня 2026 року



Миколаїв
2026

УДК 519.7+51-7+004.89
П75

Видається за рішенням вченої ради інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету (протокол № 2 від 26 жовтня 2026 року)

Конференцію зареєстровано в УкрІНТЕІ (посвідчення № 682 від 28 вересня 2026 р.)

Організаційний комітет конференції:

Голова комітету: **Шебанін В.С.** – ректор Миколаївського національного аграрного університету, д.т.н., академік.

Члени комітету **Садовий О.С.** - декан інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету, к.т.н., доцент.

Борисенко М.Ю. - провідний науковий співробітник відділу обчислювальних методів Інституту механіки імені С. П. Тимошенка НАН України, д.т.н., старший дослідник.
Передерій В.І. - професор кафедри комп'ютерних технологій і інформаційної безпеки, Миколаївський національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, д.т.н, професор.
Борчик Є.Ю. - доцент кафедри вищої та прикладної математики інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету, к. ф-м. н, доцент.
Бойчук О.В. - доцент кафедри вищої та прикладної математики інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету, , к.ф-м.н, доцент.

П75 Прикладна математика, моделювання та інтелектуальні технології в науці, освіті та інженерії : матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 21 -23 жовтня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. 302 с.

У матеріалах збірника Всеукраїнської науково-практичної конференції «Прикладна математика, моделювання та інтелектуальні технології в науці, освіті та інженерії» представлено результати актуальних наукових досліджень і практичних розробок, присвячених застосуванню математичних методів, моделювання, цифрових та інтелектуальних технологій у різних сферах діяльності. Висвітлено сучасні підходи до розв'язання наукових, освітніх та інженерних завдань, розвитку інформаційних систем, штучного інтелекту й інноваційних технологій. Матеріали становлять інтерес для науковців, викладачів, фахівців, здобувачів вищої освіти та всіх, хто займається питаннями цифрової трансформації.

Роботи подаються в авторській редакції. Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність інформації, яка наведена в роботах, та залишає за собою право не погоджуватися з думками авторів на розглянуті питання.

УДК 519.7+51-7+004.89

© Миколаївський національний аграрний університет, 2026

Учасники конференції

Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара

Інституту механіки імені С. П. Тимошенка НАН України

Миколаївський національний аграрний університет

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Національний університет «Одеська політехніка»

Полтавський державний аграрний університет

Харківський національний університет радіоелектроніки

Херсонський державний аграрно-економічний університет

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ЗМІСТ

Тематичний напрям № 1. Прикладна математика та математичне моделювання в науці, техніці та економіці	
Владислав Пархоменко. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ДВОБІЧНИХ НАБЛИЖЕНЬ ДО ЗНАХОДЖЕННЯ ДОДАТНОГО АКСІАЛЬНО-СИМЕТРИЧНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ТРЕТЬОЇ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ НАПІВЛІНІЙНОГО ЕЛІПТИЧНОГО РІВНЯННЯ З ОПЕРАТОРОМ ГЕЛЬМГОЛЬЦА І СИНГУЛЯРНОЮ СТЕПЕНЕВОЮ НЕЛІНІЙНІСТЮ	12-16
Сергій Богданов. РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ АРКОВИХ КАРКАСІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ СПОРУД	16-20
Анастасія Дідняк. ІНЖЕНЕРНО-МАТЕМАТИЧНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ РИЗИКІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ НАПІВФАБРИКАТІВ	21-24
Любов Яланжи. ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕДІНКОВИХ РЕАКЦІЙ ЛЮДИНИ	24-25
Анастасія Піскун. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОЕФІЦІЄНТІВ КОРЕЛЯЦІЇ ПІРСОНА ТА СПІРМЕНА ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ДАНИХ	26-29
Микола Філіпчук, Ольга Філіпчук ПРО ОДНУ ЧИСЛОВУ ПОСЛІДОВНІСТЬ, ПОВ'ЯЗАНУ З ПЕРЕСТАНОВКАМИ, ТА ЇЇ АНАЛІТИЧНУ ФОРМУЛУ	29-30
Тематичний напрям № 2. Комп'ютерне моделювання, чисельні методи та обчислювальний експеримент	
Дмитро Андреєв. ПСИХОЕМОЦІЙНИЙ СТАН СТУДЕНТІВ ПРИ ВИВЧЕННІ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ: КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ФАКТОР ЗНИЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ ТРИВОЖНОСТІ	31-33
Лариса Вахоніна. ЗГИННІ КОЛИВАННЯ КРУГОВОГО ТОНКОГО ПРУЖНОГО ВКЛЮЧЕННЯ В НЕОБМЕЖЕНОМУ ПРУЖНОМУ СЕРЕДОВИЩІ: ІНТЕГРАЛЬНЕ РІВНЯННЯ ТА КОЕФІЦІЄНТ ІНТЕНСИВНОСТІ НАПРУЖЕНЬ	33-35
Марина Костка. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНВЕСТИЦІЙ В ОХОРОНУ ПРАЦІ	36-37
Тематичний напрям № 3. Штучний інтелект, машинне навчання та інтелектуальний аналіз даних	
Vladyslav Rogachko. SOFTWARE ARCHITECTURE OF A SYSTEM FOR AI-GENERATED IMAGE DETECTION BASED ON THE XCEPTION NETWORK	38-42
Дмитро Колодочка, Марина Полякова. QUATERNION CONVOLUTIONS IN LARGE-MASK IMAGE INPAINTING	42-46
Дар'я Гречко. ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У СФЕРІ ГОСТИННОСТІ	46-48

Daria Mazurenko. APPLICATION OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR AUTOMATIC MODULATION CLASSIFICATION OF RADIO SIGNALS	48-50
Ярослав Ставніченко. ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ КУКУРУДЗИ НА ОСНОВІ БАЙЄСОВСЬКОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК	50-53
Олександр Нікулін. ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У МИСТЕЦТВІ ТА ДИЗАЙНІ: ОГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ ГЕНЕРАТОРІВ ЗОБРАЖЕНЬ (MIDJOURNEY, DALL-E)	54-55
Аліна Скоропляс. ШІ ЯК ПСИХОЛОГІЧНА ПІДТРИМКА: МОЖЛИВОСТІ ТА ОБМЕЖЕННЯ	56-58
Mykhailo Negria. MACHINE LEARNING APPROACHES TO CROP YIELD PREDICTION USING MULTISOURCE AGRICULTURAL DATA	58-60
Олег Вишневський. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МУЗИЧНИХ ЖАНРІВ І ПІДЖАНРІВ	61-63
Людмила Венгура, Олександр Пархоменко. ЗАЛЕЖНІСТЬ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО РЕЗУЛЬТАТУ ПОЗИЦІЙ ГРИ «ЧОТИРИ В РЯД» ВІД ОБСЯГУ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ	63-66
Світлана Тищенко. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІЗУАЛЬНИХ ФОРМАТІВ КОНТЕНТУ В INSTAGRAM ЯК ІНСТРУМЕНТУ ФОРМУВАННЯ ІМІДЖУ ОРГАНІЗАЦІЇ В ЦИФРОВОМУ	66-68
Тетяна Рижкова, Юлія Овсієнко. ІНТЕГРАЦІЯ ІНСТРУМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ Й ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ У ПІДГОТОВКУ ФАХІВЦІВ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ (НА ПРИКЛАДІ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ПОСІВІВ ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ)	68-71
Дмитро Мокан. ПОРІВНЯННЯ ЛІНІЙНОГО ТА КОСИНУСНОГО ГРАФІКІВ ШУМУ ДЛЯ ВИБОРУ КІЛЬКОСТІ КРОКІВ СЕМПЛЮВАННЯ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ГЕНЕРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ДИФУЗІЙНИХ МОДЕЛЕЙ	71-74
Ренат Бондар. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОСТИХ МЕТОДІВ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗА ФІЗИКО-ХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЗРАЗКІВ ВИНА	74-76
Злата Волохова. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЧИСЛА КЛАСТЕРІВ НА ЯКІСТЬ СЕГМЕНТАЦІЇ СПОЖИВАЧІВ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ	76-79
Владислав Макеєв, Олександр Жебко. ПОРІВНЯННЯ КОМПАКТНОЇ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ТА LBP-КЛАСИФІКАТОРА ЗА ОБСЯГОМ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ ПРИ КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕКСТУР МАТЕРІАЛІВ	79-82
Олександр Хлівний. КЛАСТЕРИЗАЦІЯ КРАЇН ЗА РІВНЕМ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ТА ОЧІКУВАНОЮ ТРИВАЛІСТЮ ЖИТТЯ МЕТОДОМ K-СЕРЕДНІХ	82-86
Іван Гребенюк. ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ КЛАСТЕРІВ	87-91
Артем Курилов. ВПЛИВ МЕТРИКИ ВІДСТАНІ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДУ K-НАЙБЛИЖЧИХ СУСІДІВ: ЕКСПЕРИМЕНТ НА НАБОРІ ДАНИХ WINE	91-93
Данило Мельник. АНАЛІЗ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ ЗДОРОВ'Я ТА СПОСОБОМ ЖИТТЯ	94-96
Олександр Вербицький.	96-99

МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКУ ПОШКОДЖЕННЯ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР ВЕСНЯНИМИ ЗАМОРОЗКАМИ НА ОСНОВІ БАЙЄСОВСЬКОЇ МЕРЕЖІ	
Тематичний напрям № 4. Інтелектуальні інформаційні системи, цифрові технології та автоматизація	
Максим Главчев, Дмитро Шеховцов. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АЛГОРИТМІВ СТИСНЕННЯ ОПЕРАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ ДЛЯ СИСТЕМ ІЗ КРИТИЧНИМ ОБМЕЖЕННЯМ РЕСУРСІВ	100-102
Володимир Мартиненко. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ДАТЧИКИ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ ДІАГНОСТИЦІ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ	103-104
Вадим Співак. ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (IoT) В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ	104-106
Вадим Співак. КОНЦЕПЦІЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ (DIGITAL TWINS) В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ	106-107
Dmytro Hleba. DEVELOPMENT OF ADAPTIVE ACCESS CONTROL POLICIES FOR MULTI-CLOUD ENVIRONMENTS IN DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS	107-109
Olena Polonska. DATA MINING AND MACHINE LEARNING IN AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEMS	109-111
Данііл Чулов. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ДОСТОВІРНОСТІ ТА ПОЯСНЮВАНОСТІ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	111-115
Денис Данильченко, Володимир Крайній. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ У ВЕБСИСТЕМІ ДОКУМЕНТООБІГУ КАФЕДРИ	115-117
Віктор Сиротенко, Олександр Жебко. РОЗРОБКА СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У ВІДЕОПОТОЦІ З БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	117-120
Віктор Передерій, Євген Борчик. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЦІНКИ ТА ПІДТРИМКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ЗЕРНОВИХ СХОВИЩ В СУЧАСНИХ УМОВАХ	120-124
Тематичний напрям № 5. Методи оптимізації, прогнозування та підтримки прийняття рішень	
Дмитро Ткалич, Володимир Безкоровайний. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ЛІКВІДНІСТЮ В СИСТЕМІ БЮДЖЕТУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	125-129
Андрій Руденко, Віталій Мардзявко. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У КЛІТИННІЙ РІДИНІ ПІД ДІЄЮ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ	129-133
Андрій Руденко, Віталій Мардзявко. ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ АРРЕНІУСА ДЛЯ ПОЯСНЕННЯ МЕХАНІЗМІВ СТАРІННЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ПРИСКОРЕНИХ ВИПРОБУВАНЬ КАБЕЛІВ	133-135
Дмитро Мица, Володимир Безкоровайний. ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ ВІДВІДУВАННЯ ЗАКЛАДІВ ВІДПОЧИНКУ З УРАХУВАННЯМ БЮДЖЕТНИХ ТА ЧАСОВИХ ОБМЕЖЕНЬ	135-137
Кирило Уваров, Володимир Безкоровайний. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ВОЛАТИЛЬНОСТІ ФОНДОВИХ РИНКІВ З	137-139

ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	
Іван Хилько, Олег Перепьолкін. АЛГОРИТМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ	139-141
Вікторія Хльобас, Іван Хилько. АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ЕКСПОРТУ ТОВАРІВ УКРАЇНИ МЕТОДАМИ ЕКОНОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	141-143
Юлія Кислякова. АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ РИНКОВИХ ЦІН НА ОРЕНДУ ЗЕМЛІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	143-146
Ірина Дебела. МУЛЬТИПЛІКАТИВНИЙ СИНТЕЗ НЕЧІТКИХ ОЦІНОК ЗА СХЕМОЮ БЕЛЛМАНА-ЗАДЕ У ЗАДАЧАХ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ	146-149
Юлія Кислякова. ПРОГНОЗУВАННЯ ОРЕНДНОЇ ПЛАТИ ЗА ЗЕМЛІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ МУЛЬТИПЛІКАТОРА «ЦІНА / ОРЕНДА»	149-152
Віолетта Кім. ПОРІВНЯННЯ ТОЧНОСТІ ТА СТАБІЛЬНОСТІ СТАТИСТИЧНИХ І НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ МІСЯЧНОГО СЕЗОННОГО РЯДУ	152-155
Тематичний напрям № 6. Математичне моделювання в інженерії, енергетиці та агропромисловому виробництві	
Віталій Мардзявко, Андрій Руденко. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ІМПУЛЬСІВ У РЕЗОНАНСНОМУ ГЕНЕРАТОРІ НА ОСНОВІ НЕЛІНІЙНОГО ДІОДА	156-158
Антоніна Галєєва. ВІД ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ДО МОДЕЛІ: МАТЕМАТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ФІЗІОЛОГІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРАЦІ НА ХЛІБОЗАВОДІ	158-162
Анатолій Антонець, Володимир Арендаренко, Олег Іванов. МОДЕЛЬ КОНТРОЛЬОВАНОГО ГРАВІТАЦІЙНОГО РУХУ ЗЕРНА ПО ЧОТИРЬОМ ПЕРЕСИПНИМ ПОЛИЦЯМ	162-164
Dmytro Dan′ko, Oleksandr Stoyanov. FEATURES OF MODELING KINETIC REGULARITIES OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF AN INDUSTRIAL MACHINE-BUILDING AND REPAIR ENTERPRISE	165-167
Denys Shpakovs′kyy, Ruslan Shafaruk. MODELING OF CLUSTER STRUCTURES OF INTELLECTUAL SUPPORT OF INNOVATIVE ACTIVITIES OF ENTERPRISES	167-169
Дар`я Лотарєва. ПРОГНОЗУВАННЯ БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ НА ОСНОВІ МАТЕМАМИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ЗОН	170-173
Єгор Гордієнко. ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ ЩІЛЬНОСТІ НЕЙТРОННОГО ПОТОКУ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ РЕАКТОРІВ	173-174
Олена Баранова. МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ РОТОРА, ПОДРІБНЮВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ВІБРОІЗОЛЮВАЛЬНИХ ОПОР ЗЕРНОДРОБАРКИ РОТОРНО-ДЕКОВОГО ТИПУ	174-177
Олена Горбенко. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ КОМБІКОРМОВОГО ВИРОБНИЦТВА МАЛИХ ФОРМ ВЛАСНОСТІ З УРАХУВАННЯМ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПОДРІБНЕННЯ ТА ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ	178-180

Наталія Доценко. СИСТЕМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ КОНСТРУЮВАННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЗЕРНОДРОБАРОК: СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ РОБОЧОЇ КАМЕРИ ТА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР ПАРАМЕТРІВ	180-184
Антон Савченко. МЕТОД ДВОБІЧНИХ НАБЛИЖЕНЬ У МОДЕЛЮВАННІ ПРОГИНУ КОНСОЛЬНОЇ МІКРОБАЛКИ ЗМІННОЇ ШИРИНИ	184-188
Андрій Абдулін, Володимир Крайній. ВПЛИВ РІЧНОЇ СУМИ ОПАДІВ НА УРОЖАЙНІСТЬ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ В МИКОЛАЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ: ТРЕНДОВО-РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ ЗА 2014–2023 рр.	188-190
Олег Перепьолкін. ЗАСТОСУВАННЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ШКІДНИКІВ НА РОСЛИНАХ: ПОРІВНЯННЯ ВЛАСНОЇ CNN ТА TRANSFER LEARNING	190-195
Аліна Вовк. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РОСТУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СВИНЕЙ РІЗНИХ ПОРІД В УМОВАХ СГПП «ТЕХМЕТ-ЮГ»	195-200
Тематичний напрям № 7. Цифрова трансформація освіти, STEM-освіта та сучасні освітні технології	
Катерина Мардзявко. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЗАСІБ УДОСКОНАЛЕННЯ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІН БЕЗПЕКИ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ	201-203
Лариса Гула. ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ:НОВІ МОЖЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ НАВЧАННЯ	203-205
Олександр Рисований, Олена Литовська. ГІБРІДНА ОПТІМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ХЕЩУВАННЯ DJB2 З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУКЦІЙ AVX2	206-209
Микола Алєксєєв. ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАТФОРМИ MOODLE У МИКОЛАЇВСЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ АГРАРНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ	209-211
Світлана Яценко. АДАПТИВНЕ НАВЧАННЯ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ НАВЧАЛЬНИХ ДОСЯГНЕНЬ СТУДЕНТІВ	211-213
Софія Конончук. МОБІЛЬНІ ДОДАТКИ ТА ІНТЕРАКТИВНІ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ І ТОЧНИХ НАУК	213-215
Вячеслав Курепін. ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА STEM-ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА	215-217
Карина Житкевич. ВПЛИВ НАВЧАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПСИХОЛОГІЧНИЙ СТАН СТУДЕНТІВ	217-219
Антон Кучинський. ПСИХОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СПІЛКУВАННЯ СТУДЕНТІВ У ГРУПІ	219-220
Анна Мандра. ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК АСИСТЕНТ ВИКЛАДАЧА	220-223
Тематичний напрям № 8. Кібербезпека, хмарні технології, Інтернет промов (IoT) та кіберфізичні системи	
Олександр Рисований, Олена Литовська. ОСНОВНІ МЕТОДИ ЗАСТОСУВАННЯ РЕГІСТРІВ НАЛАГОДЖЕННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ДОСЛІДЖЕННЯ	224-226

Віра Сокольцова. ОБ'ЄКТИ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ МИТНОГО ПОСТУ ТА СТУПЕНІ ЇЇ УШКОДЖЕННЯ	226-228
Victoria Domanska. USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO DETECT ANOMALIES AND CYBER THREATS IN NETWORK TRAFFIC	229-231
Dmytro Hleba. DEVELOPMENT OF ADAPTIVE ACCESS CONTROL POLICIES FOR MULTI-CLOUD ENVIRONMENTS IN DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS	231-233
Євген Губницький. КІБЕРЗАХИСТ СИСТЕМ SCADA: АКТУАЛЬНІ ЗАГРОЗИ ТА МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	233-236
Максим Дякунчак. КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЦИФРОВА ГІГІЄНА	236-237
Андрій Руденко. ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ У ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ	238-241
Владислав Федькович. ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ У СИСТЕМИ РОЗУМНОГО ОСВІТЛЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНУ ІНФРАСТРУКТУРУ МІСТА	242-245
Тематичний напрям № 9. Інтелектуальні технології у безпеці життєдіяльності, цивільному захисті та управлінні ризиками	
Олег Меліхов, Вячеслав Курепін. РОЗУМНА БЕЗПЕКА СВИНОФЕРМІ: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОФЕСІЙНИМИ ТА ПОЖЕЖНИМИ РИЗИКАМИ	246-251
Олег Банкулов. ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРОФЕСІЙНИМИ РИЗИКАМИ У ВИРОБНИЦТВІ МЕДУ	251-254
Геннадій Гецман. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ РУЧНИХ МЕХАНІЗОВАНИХ АГРЕГАТІВ У МОЛОЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	255-258
Герам Говоргян, Вячеслав Курепін. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ У ВИРОБНИЦТВІ ПРОДУКЦІЇ СВИНАРСТВА	258-261
Віктор Голосун. МОДЕЛЮВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЧИХ РИЗИКІВ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ У ВИРОБНИЦТВІ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ	262-265
Сергій Горевий. ЦИФПРОВІ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА В МЯСОПЕРЕРОБНІЙ ГАЛУЗІ	265-268
Олександр Дацюк. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОФЕСІЙНИМИ РИЗИКАМИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ РИБОГОСПОДАРСЬКИХ СТАВКІВ	269-272
Іван Дітковський. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДОРОЩУВАННЯ ТА ВІДГОДІВЛІ СВИНЕЙ В УМОВАХ СГПП «ТЕХМЕТ-ЮГ» З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ВИРОБНИЧОЇ БЕЗПЕКИ	272-275
Марина Дробуш. ТЕХНІЧНИЙ ПРОЦЕС – ВИРОБНИЧИЙ РИЗИК – БЕЗПЕКА: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ВИРОБНИЦТВА ПЛАВЛЕНИХ СИРІВ	275-278
Вячеслав Курепін. МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ	279-284

УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМИ РИЗИКАМИ У СВИНАРСТВІ	
Вячеслав Курепін. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ	284-287
Тетяна Черноусова. ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ВОРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЗЕФІРУ	287-290
Олександр Андросов. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОФЕСІЙНИМИ РИЗИКАМИ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКО-РИБОВОДНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ	291-294
Антоніна Галєєва. МІКРОКЛІМАТ ЯК ФАКТОР БЕЗПЕКИ: ОЦІНЮВАННЯ УМІВ ПРАЦІ У СВІНАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ	294-297
Єлизавета Добровольська. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ПОВЕДІНКОВИХ РИЗИКІВ ЧОЛОВІКА У НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЯХ	297-299
Надія Власова. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ РИЗИКІВ У СИСТЕМІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ	299-301

Тематичний напрям № 1

Прикладна математика та математичне моделювання в науці, техніці та економіці

УДК 519.624.2:517.988

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ДВОБІЧНИХ НАБЛИЖЕНЬ ДО ЗНАХОДЖЕННЯ ДОДАТНОГО АКСІАЛЬНО-СИМЕТРИЧНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ТРЕТЬОЇ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ НАПІВЛІНІЙНОГО ЕЛІПТИЧНОГО РІВНЯННЯ З ОПЕРАТОРОМ ГЕЛЬМГОЛЬЦА І СИНГУЛЯРНОЮ СТЕПЕНЕВОЮ НЕЛІНІЙНІСТЮ

Владислав Пархоменко

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

Математичне моделювання різних фізико-механічних процесів, наприклад, процесів нелінійної теплопровідності [1], приводить до необхідності розв'язання крайових задач для напівлінійного еліптичного рівняння:

$$-\Delta u + \kappa^2 u = \mu u^{-q}, \ \mathbf{x} \in \Omega, \quad (1)$$

$$\left.\frac{\partial u}{\partial \mathbf{n}} + \gamma u\right|_{\partial\Omega} = 0, \quad (2)$$

де $\mathbf{x} = (x_1, x_2)$, Ω – обмежена область в $\mathbb{R}^2$, $q > 0$, $\gamma > 0$.

Якщо область Ω – круг радіуса R, то можна поставити задачу знаходження аксіально-симетричного розв'язку задачі (1), (2). Перейдемо у (1), (2) до полярної системи координат за формулами

$$x_1 = \rho\cos\varphi, \ x_2 = \rho\sin\varphi, \ \rho \geq 0, \ 0 \leq \varphi < 2\pi.$$

Аксіально-симетричний розв'язок крайової задачі залежить тільки від відстані $\rho = |\mathbf{x}| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$ до центру круга, тому одержимо напівлінійне звичайне диференціальне рівняння вигляду

$$-\frac{1}{\rho}\frac{d}{d\rho}\left(\rho\frac{du}{d\rho}\right) + \kappa^2 u = \mu u^{-q}. \quad (3)$$

Крайова умова (2), задана на межі області Ω, тобто для $|\mathbf{x}| = R$, зводиться до вигляду $u'(R) + \gamma u(R) = 0$. Точка $\rho = 0$ є особливою точкою диференціального рівняння (3), отже, виникає необхідність поставити умову обмеженості розв'язку в цій точці: $|u(0)| < +\infty$.

Таким чином, задача (1), (2) зводиться до крайової задачі для звичайного диференціального рівняння:

$$-\frac{1}{\rho}\frac{d}{d\rho}\left(\rho\frac{du}{d\rho}\right) + \kappa^2 u = \mu u^{-q}, \ 0 < \rho < R, \quad (4)$$

$$|u(0)| < +\infty, \ u'(R) + \gamma u(R) = 0. \quad (5)$$

Функція Гріна крайової задачі (4), (5) має вигляд

$$G(\rho,s)=\begin{cases} I_0(\kappa\rho)\left(K_0(\kappa s)-\dfrac{\gamma K_0(\kappa R)-\kappa K_1(\kappa R)}{\gamma I_0(\kappa R)+\kappa I_1(\kappa R)}I_0(\kappa s)\right), & 0\le\rho\le s,\\ I_0(\kappa s)\left(K_0(\kappa\rho)-\dfrac{\gamma K_0(\kappa R)-\kappa K_1(\kappa R)}{\gamma I_0(\kappa R)+\kappa I_1(\kappa R)}I_0(\kappa\rho)\right), & s<\rho\le R, \end{cases} \qquad (6)$$

де $I_\nu(z)$ – функція Інфельда порядку ν, $K_\nu(z)$ – функція Макдональда порядка ν.

Графік функції Гріна зображено на рисунку 1.

Використовуючи функцію Гріна (6), здійснюємо перехід від задачі (4), (5) до інтегрального рівняння Гаммерштейна:

$$u(\rho)=\mu\int_0^R Q(\rho,s)u^{-q}(s)ds \quad , \qquad (7)$$

де $Q(\rho,s)=sG(\rho,s)$.

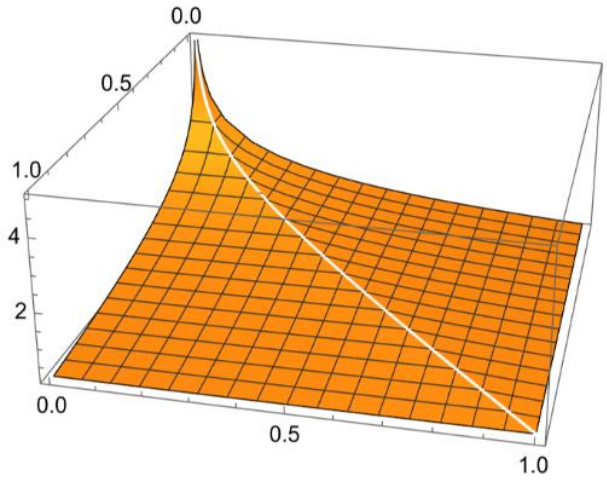


Рис. 1. Графік функції Гріна $G(\rho,s)$

З рівнянням (7) пов'яжемо нелінійний інтегральний оператор, що діє в банаховому просторі $C[0,R]$ неперервних на $[0,R]$ функцій, напівупорядкованому конусом K_+ невід'ємних функцій [2]. Цей оператор діє за правилом

$$T(u)(\rho)=\mu\int_0^R Q(\rho,s)u^{-q}(s)ds \quad . \qquad (8)$$

Оператор T вигляду (8) має властивості:

а) є додатним оператором;

б) є u_0-додатним оператором, де $u_0(\rho)=\int_0^R Q(\rho,s)ds$;

в) є антимонотонним (антитонним) оператором;

г) є псевдоувігнутим і навіть u_0-псевдоувігнутим оператором за умови $q\in(0,1)$, де $u_0(\rho)=\int_0^R Q(\rho,s)ds$.

Для оператора T виділимо умовами $T(w_0) \le v_0$, $T(v_0) \ge w_0$ сильно інваріантний конусний відрізок $< v_0, w_0 >$, де $v_0(\rho) = \alpha u_0(\rho)$, $w_0(\rho) = \beta u_0(\rho)$, $0 < \alpha < \beta$ і побудуємо ітераційний процес

$$v^{(n+1)}(\rho) = \mu \int_0^R Q(\rho, s)[w^{(n)}(s)]^{-q} ds, \quad n = 0,1,2,\ldots, \qquad (9)$$

$$w^{(n+1)}(\rho) = \mu \int_0^R Q(\rho, s)[v^{(n)}(s)]^{-q} ds, \quad n = 0,1,2,\ldots, \qquad (10)$$

$$v^{(0)}(\rho) = v_0(\rho), \quad w^{(0)}(\rho) = w_0(\rho). \qquad (11)$$

Послідовність $\{v^{(n)}(\rho)\}$ є неспадною за конусом K_+, а послідовність $\{w^{(n)}(\rho)\}$, у свою чергу, є незростаючою за конусом K_+. Конус K_+ є нормальним, а оператор T є цілком неперервним. Через це ітераційний процес (9)–(11) має двобічний характер збіжності у нормі простору $C[0, R]$ до єдиного додатного розв'язку u^* крайової задачі (4), (5), а отже, виконується наступний ланцюг нерівностей

$$v_0 = v^{(0)} \le v^{(1)} \le \ldots \le v^{(n)} \le \ldots \le u^* \le \ldots \le w^{(n)} \le \ldots \le w^{(1)} \le w^{(0)} = w_0.$$

За наближений розв'язок крайової задачі (4), (5) на n-ій ітерації обирається функція $u^{(n)}(\rho) = \frac{1}{2}(v^{(n)}(\rho) + w^{(n)}(\rho))$. Апостеріорна похибка наближення дається нерівністю $\left\| u^{(n)} - u^* \right\|_{C[0,R]} \le \frac{1}{2} \max(w^{(n)}(\rho) - v^{(n)}(\rho))$.

Чисельний експеримент проводився для $q = \frac{1}{2}$, $\mu = 1$, $\gamma = 5$. За 6 ітерацій досягнуто точність 10^{-4}, оцінка похибки складає $\varepsilon = 0,40 \cdot 10^{-4}$. На рисунку 2 зображено графіки послідовностей верхніх $w^{(k)}(\rho)$ і нижніх $v^{(k)}(\rho)$ наближень, а на рисунку 3 – графік наближеного розв'язку $u^{(6)}(\rho)$ крайової задачі (4), (5). Рисунок 4 показує поверхню наближеного розв'язу $u^{(6)}(\sqrt{x_1^2 + x_2^2})$ крайової задачі (1), (2), а рисунок 5 – його лінії рівня.

Проведені дослідження продовжують роботи, які було розпочато в [3, 4], де також знаходили додатні аксіально-симетричні розв'язки рівняння з оператором Гельмгольца, але з першою крайовою умовою. У майбутньому планується розглянути узагальнений випадок гетеротонної нелінійності, а також поширити на простори більшої вимірності.

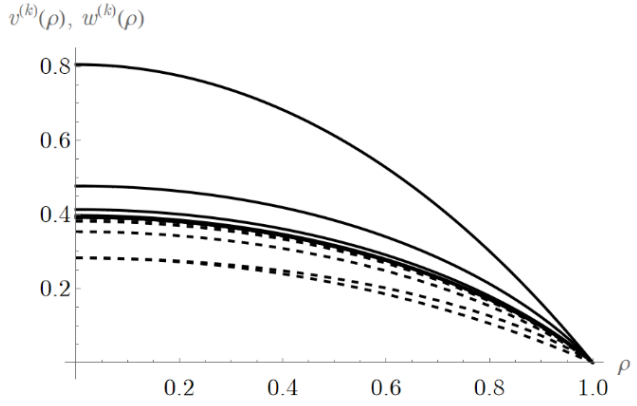


Рис. 2. Графіки верхніх і нижніх наближень $v^{(k)}(\rho)$, $w^{(k)}(\rho)$

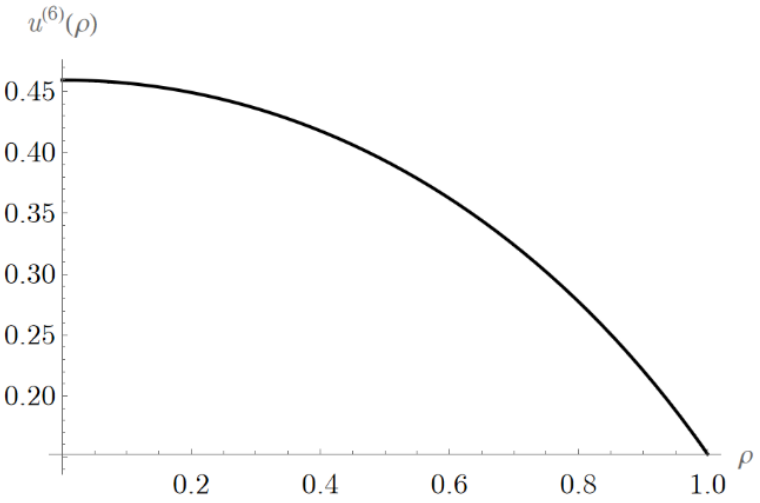


Рис. 3. Графік наближеного розв'язку $u^{(6)}(\rho)$

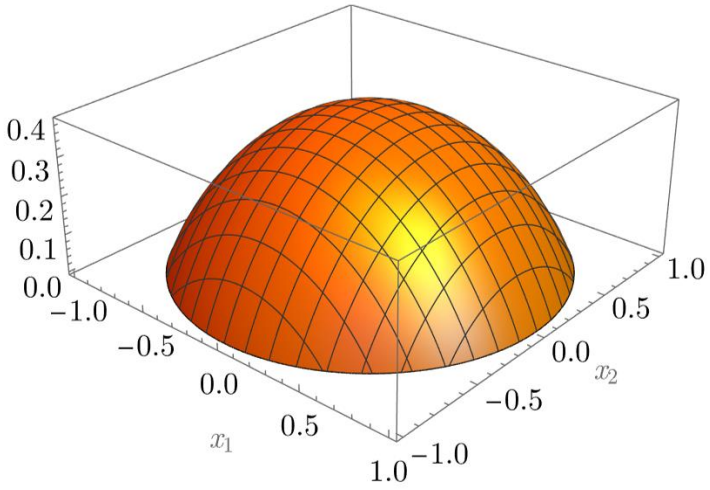


Рис. 4. Графік поверхні наближеного розв'язку $u^{(6)}(\sqrt{x_1^2+x_2^2})$

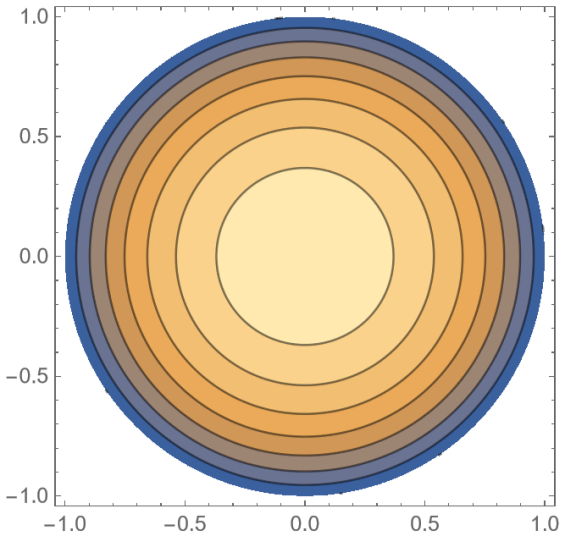


Рис. 5. Лінії рівня наближеного розв'язку $u^{(6)}(\sqrt{x_1^2+x_2^2})$

Список використаних джерел

1. Oliva F., Petitta F. Singular elliptic PDEs: an extensive overview. Partial Differential Equations and Applications. 2025. Vol. 6. Article 6. DOI: 10.1007/s42985-024-00308-9.

2. Опойцев В. И., Хуродзе Т. А. Нелинейные операторы в пространствах с конусом. Тбилиси : Изд-во Тбилис. ун-та, 1984. 246 с.

3. Пархоменко В. Г., Сидоров М. В. Аналіз методом двобічних наближень додатних аксіально-симетричних розв'язків першої крайової задачі для рівняння Гельмгольца з монотонною степеневою нелінійністю. Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Фізико-математичні науки. 2025. № 28. С. 81–92. DOI: 10.32626/2308-5878.2025-28.81-92.

4. Пархоменко В. Г. Аналіз методом двобічних наближень додатних аксіально-симетричних розв'язків першої крайової задачі для рівняння Гельмгольца з сингулярною степеневою нелінійністю. Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Фізико-математичні науки. 2026. № 29. С. 100–112. DOI: 10.32626/2308-5878.2026-29.100-112.

УДК 624.014

РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ АРКОВИХ КАРКАСІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ СПОРУД

Сергій Богданов

Миколаївський національний аграрний університет. м. Миколаїв, Україна

Анотація: У статті розглянуто підходи до оцінювання міцності, стійкості та надійності елементів металевих аркових каркасів змінного перерізу. Запропоновано методичний підхід до розрахунку таких конструкцій під час їх оптимального проектування, за якого необхідний рівень надійності забезпечується в характерних перерізах, а матеріаломісткість каркаса прагне до мінімально можливого значення. Застосування полегшених аркових конструкцій із наперед заданим рівнем надійності дає змогу раціональніше використовувати метал, зменшувати масу та вартість каркаса. Це обґрунтовує доцільність подальшого використання конструкцій такого типу в будівлях та сільськогосподарських спорудах.

Актуальність дослідження. Одним із важливих напрямів сучасного розвитку будівельної галузі України є зменшення матеріальних і трудових витрат під час виготовлення та монтажу збірно-розбірних легких металевих конструкцій. Водночас зниження вартості не повинно супроводжуватися погіршенням експлуатаційних характеристик, насамперед довговічності, міцності та надійності. Для обґрунтованого призначення розрахункових параметрів конструкцій і навантажень доцільно використовувати положення теорії надійності та ймовірнісні методи оцінювання. Особливого значення набуває ймовірнісний підхід до розрахунку аркових каркасів змінного перерізу, за якого несучу здатність можна оцінювати через імовірність відмови конструкції.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій. Результати натурних випробувань сталевого каркаса з гнучкою стінкою та поясами з холодногнутих профілів наведено в роботі «Натурні випробування сталевої рами прогином 30 м» [1]. У зазначеному дослідженні розглянуто підходи до визначення міцності та стійкості елементів сталевих каркасів.

У ДБН В.2.6-163:2010 «Конструкції будинків і споруд» [2] регламентовано розрахунок, зокрема, розрізних балок із гнучкою стінкою та плоскими листовими поясами. Теоретичні положення, покладені в основу відповідних методик, розглянуто у працях Б. М. Броуде, А. А. Евстратова, В. В. Бірюлева та інших дослідників. Ці підходи використано під час розроблення сталевого каркаса та попереднього оцінювання його несучої здатності. Разом із тим конструктивна специфіка досліджуваного каркаса зумовлює необхідність спиратися також на результати натурних випробувань рами прогоном 30 м, сформованої з універсальних елементів довжиною 3 м.

Випробування сталевого каркаса з гнучкою стінкою і поясами з холодногнутих профілів, які до цього часу проводились і є відомими, показали, що основні зусилля стиснення N і вигин M, сприймаються поясами елементів з пов'язаною з ними частиною стінки перетину. Робота гнучкої

стінки характеризується практичною відсутністю стадії докритичного опору. В реальних конструкціях при товщині стінки $t_m \le 4$ мм глибина вигинів порівнянна з товщиною і досягає $4t_m$, внаслідок чого деформація стінки від початку навантаження виникає не за площинною схемою, а за рахунок перерозподілу вигинів, зміни їх значень та напрямків.

Процес перерозподілу обумовлений як характером вихідних вигинів, так і змінною гнучкості стінки, що призводить до невизначеного його розвитку і такого стану, коли під дією переважаючого зусилля характер деформацій відповідає стиску або зсуву. Новизна цієї роботи в тому, що ми пропонуємо запровадження методів теорії ймовірності до дослідження основних зусиль стиснення та вигину каркасів арок змінного перерізу на відміну від динамічних методів, які використовувалися раніше, як загальноприйняті, при розрахунку сталевого каркаса з гнучкою стінкою і поясами з холодногнутих профілів.

В роботі нами допущено що на елементи конструкції каркаса діє навантаження, яке є випадковою функцією часу, імовірнісні характеристики цієї функції відомі. Потрібно визначити розміри поперечного перерізу конструкції, виходячи із заданої надійності. А також необхідно розрахувати значення коефіцієнта запасу міцності k при постійних перерізах поясів, значення коефіцієнта K який необхідний для визначення розмірів поперечного перерізу сталевого каркаса і видати рекомендації для визначення надійності сталевої конструкції у цілому. Під мірою надійності H будемо розуміти ймовірність того, що жодного разу за термін служби T максимальна напруга S не перевищить несучої здатності сталевої конструкції R.

На ділянках каркаса, де має місце досить велика поперечна сила Q, незалежно від величин N і M, деформування стінки відбувається під впливом зсуву з утворенням пружних діагональних складок. Такий тип зміщеної деформації викликає у стінки додаткові нормальні напруження розтягу [4]:

$$\sigma_\alpha = 2Q / t_\omega h_\omega \sin 2\alpha , \qquad (1)$$

де: α - кут нахилу діагональної складки до площини, яка сприймає поперечне навантаження. У цих умовах визначення докритичної складової поперечної сили, яка обумовлена співвідношенням, $t \le t_{cr}$, а також визначення критичних t_{cr} і Q_{cr} не має сенсу.

Найбільш напруженою, що підтверджують вимірювання при випробуванні, є частина стінки, яка примикає до поясів. Вона отримує вплив трьох складових мембранних напружень, σ_N, σ_M, σ_Q і дотичного τ. Міцність цих ділянок пропонується перевіряти на рівні примикання поясів умовою:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2{}_{N+M} + \sigma_Q^2 - \sigma_{N+M} + 3\tau^2} \le R_{yn} . \qquad (2)$$

При визначенні σ_N і σ_M у геометричних характеристиках кожного перерізу повинні бути враховані своя скорочена висота стінки відповідно до рекомендацій [2], а при визначенні σ_Q і τ - повна висота стінки.

Рівняння $\sigma = R_{yn}$ пропонуємо розглядати як граничний стан відповідного перерізу елемента каркаса. Менше з навантажень, за яких досягається ця умова в одному з перерізів, пропонуємо вважати граничним за міцністю навантаженням для каркаса у цілому. Одночасно повинна бути перевірена міцність поясів як самостійних елементів. Пояси працюють як стислі або розтягнуті стрижні під дією поздовжньої сили:

$$N_f = 0.5N \pm M / (h_0 - v_f) \quad , \qquad (3)$$

та місцевого згинального моменту:

$$M_f = N_f v_f , \qquad (4)$$

який виникає внаслідок прогину (зближення) поясів при спученні стінки. Величину v_f пропонуємо визначати як зміщення опори балки прогином, який дорівнює висоті перерізу h у середині перерізу, вісь якого вигнута по синусоїді (перетин через дві складки зсуву) з амплітудою $4t_\omega$.

Розрахункова довжина пояса в площині стінки

$$l_{ef} = 0.7 l_x ,$$

де l_x довжина перерізу, відстань між елементами жорсткості, які створюють опори поясам. При перевірці поясів на зріз слід враховувати приріст Q_f за рахунок проекції зусилля N_f в напрямку Q_f.

Перевірку стійкості стиснутого пояса в обох площинах виконуємо з урахуванням деформованої схеми за граничною умовою взаємодії:

$$[N / N_u + M / M_u (1 - N / N_{cr})] \le 1 , \qquad (5)$$

де $N = N_f$ і $M = M_f$ - найбільші розрахункові зусилля у поясі перерізу елемента каркаса, який перевіряється $N_u = R_{ynf} A_f$, $M_u = R_{ynf} W_{fpt}$,

де A_f - площа стиснутого пояса з частиною стінки, яка дорівнює $0,5 h_{\omega red}$; W_{fpt} - пластичний момент інерції цієї площини; $N_{cr} = N_{fcr}$ – найменша для перерізу пояса критична ейлерова сила центрального стиснення.

Розглянемо елементи сталевої конструкції, максимальна напруга S в яких лінійно залежить від навантаження q

$$S = Kq ,$$

де коефіцієнт K, пов'язаний простими залежностями з розмірами поперечних перерізів елемента сталевої конструкції.

Припустимо, що характер дії навантаження $q(t)$, яка є випадковою функцію, такий, що силами інерції при визначенні напружень можна знехтувати. Підставивши в рівняння:

$$H = P_0 = \exp[-\int_0^T \int_0^\infty S f(R, S/t) dS dt] , \qquad (6)$$

рівняння $S = Kq$, отримаємо вираз для визначення коефіцієнта K.

Знаючи значення цього коефіцієнта, можна визначити необхідні геометричні параметри поперечного перерізу каркаса.

Якщо $S(t)$ – нормальний стаціонарний процес, то для $V(R/T)$ маємо:

$$V(R/T) = \frac{T\sigma_S}{2\pi\sqrt{\sigma_S{}^2 + \sigma_R^2}} \exp[-\frac{(m_R - m_S)^2}{2(\sigma_S^2 + \sigma_R^2)}] . \qquad (7)$$

Отже, залежність для оцінювання надійності матиме вигляд:

$$H = \exp\left\{ \frac{T\sigma_S}{2\pi\sqrt{\sigma_S{}^2 + \sigma_R^2}} \exp\left[-\frac{(m_R - m_S)^2}{2(\sigma_S^2 + \sigma_R^2)} \right] \right\} , \qquad (8)$$

де: σ_S^2 – дисперсія напружень у каркасі змінного перерізу; σ_R^2 – дисперсія несучої здатності сталевої конструкції; m_S - математичне очікування напруг; m_R – математичне очікування несучої здатності сталевої конструкції; T – термін служби сталевої конструкції.

Для значної кількості реальних фізичних процесів кореляційну функцію навантаження можна наближено подати у формі:

$$K_q(\tau) = \sigma^2{}_q e^{-\alpha|\tau|} (\cos\beta\tau + \tfrac{\alpha}{\beta} \sin\beta|\tau|) . \qquad (9)$$

константи α і β підбираються так, щоб експериментальна крива $K_q(\tau)$ збігалася з теоретичною кривою, побудованою за формулою (9). Для цього випадку маємо:

$$\sigma_S{}^2 = K_S(0) = -\frac{d^2}{d\tau^2} K_S(t)\,|_\tau = \sigma_S^2(\alpha^2+\beta^2)\,. \qquad (10)$$

З урахуванням наведеної залежності вираз для надійності записується у вигляді:

$$H = \exp\left\{-\frac{T\sqrt{\alpha^2+\beta^2}K\sigma_q}{2\pi\sqrt{K^2\sigma_q{}^2+\sigma_R^2}}\exp\left[-\frac{(m_R-Km_q)^2}{2(K^2\sigma_q{}^2+\sigma_R^2}\right]\right\}, \qquad (11)$$

з якого можна визначити шуканий коефіцієнт K, необхідний для визначення розмірів поперечного перерізу сталевого каркаса.

У загальному випадку рівняння (11) доцільно розв'язувати графічним способом, попередньо подавши його у такій формі:

$$-\frac{(m_R-Km_q)^2}{2(K^2\sigma_q{}^2+\sigma_R^2} = -\ln\frac{2\pi\sqrt{K^2\sigma_q{}^2+\sigma_R^2}}{T\sqrt{\alpha^2+\beta^2}K\sigma_q}\,. \qquad (12)$$

Для випадку $\sigma_R = 0$, для викидів, за які заборонені рівнянням (10) вдається вирішити значення K:

$$K = \frac{m_R}{m_q+\sigma_q\sqrt{2A}}\,,$$

де $A = -\ln\dfrac{2\pi(-\ln H)}{T\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}$. (13)

У тому випадку, коли рівень викидів які заборонені, є випадковим за законом розподілу Релея, то тоді для $V(R/T)$ маємо:

$$V(R/T) = \frac{T}{2\pi}\frac{\sigma_x\alpha}{\sigma^2{}_x+\alpha^2}\,, \qquad (14)$$

Використовуючи рівняння (6), на цій основі визначаємо надійність сталевої конструкції:

$$H = \exp\left\{-\frac{T}{2\pi}\frac{\sigma_S\alpha}{\sigma_S{}^2+\alpha^2}\right\},\ \text{підставимо: } \sigma_S = K\sigma_q;\ \sigma_S = K\sigma_q\sqrt{\alpha^2+\beta^2}\,, \qquad (15)$$

Після відповідної підстановки одержуємо:

$$H = \exp\left\{-\frac{TK\sigma_q\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}{2\pi\left(K^2\sigma_q^2+\alpha^2\right)}\right\} \qquad (16)$$

Розв'язуючи відносно K, отримаємо:

$$K^2 - \frac{\alpha\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}{2\pi\sigma_q\left(-\ln H\right)}K + \frac{\alpha^2}{\sigma_q^2} = 0. \qquad (17)$$

Позначивши: $\dfrac{T\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}{2\pi\left(-\ln H\right)} = B,$ отримаємо остаточно значення коефіцієнта K:

$$K_{1,2} = \frac{\alpha}{\sigma_q}\left(\frac{B}{2}\pm\sqrt{\frac{B^2}{4}-1}\right)\,. \qquad (18)$$

Згідно з розробленими рекомендаціями, в умовах (5) слід приймати: N і M − розрахункові зусилля у кожному перерізі елемента який перевіряється; N_{cr} −ейлерова сила центрального стиснення для елементів постійної довжини і перерізу, найменшого у даному елементі, з урахуванням геометричних характеристик перерізу в площині вигину від M; N_u − гранична сила центрального стиснення для такого стрижня; M_u − граничний згинальний момент для балки стандартної довжини та постійного перерізу, найбільшого за площею у елемента який перевіряється. Коефіцієнти

зазначеної довжини є статичними величинами, визначеними чисельно і емпірично як залежності від кута звуження елементів, площини його вигину, типу зусиль і виду втрати стійкості −пружно або пружно-пластичного.

Так, для елемента змінного перерізу відносно головної осі її перетину коефіцієнт визначаємо

$$g_{pi} = 1/(1.85\vartheta_d + 1),$$

де $\vartheta_d = arctg[(h_{\max} - h_{\min})/2L](180/\pi)$.

За умови виконання рівняння забезпечується просторова стійкість $N_u = N_{cr\min}$ і $M_u = M_{cr}$. Однак у більшості каркасів будівель просторові втрати стійкості обмежені конструктивно, тобто $l \le l_{cr}$ У цьому випадку:

$$N_u = R_{yf} A_{red}, \qquad (19)$$

$$M_u 2l_{red}(R_{yn} - N/A_{red})/h. \qquad (20)$$

Відповідно до [4] отримуємо:

$$l_{cr} = (60 - 40m)i_{\min}\nu(235/R_{yf}) \text{ при } -1 < m < 0,5 \text{ та } l_{cr} = 40i_{\min}\nu(235/R_{yf}) \text{ при } m > 0.5, \quad (21)$$

де $m = M_{\min}/M_{\max}$ на закріпленому перерізі; $i_{\min}$ − радіус інерції щодо осі найменшої жорсткості перерізу, який має найбільш повну площину.

Висновки: Встановлено, що для створення економічного каркаса необхідно прагнути до рівноміцності його перерізів. Якщо задатися ймовірнісним значенням коефіцієнта запасу міцності k і виразити l_{red} через h_ω (при постійних перерізах поясів), то можливо визначити за формулою (21) необхідну висоту h_ω у перерізах з $Q = 0$ при $M_u = kM$. При $Q_u = kQ$ і $\sigma_\alpha = R_{yn}$ (1) може бути визначена h_ω в перерізах з $M = 0$. Проміжні перерізи, як показали розрахунки, автоматично не забезпечують той же запас міцності і можуть взагалі не задовольняти умовам граничного стану. Тому вони повинні перевірятися за формулами (2) і (5), висота перерізу повинна коректуватися тільки в бік збільшення. Залежно від відповідності будь-якої ділянки або перерізу для граничного стану каркаса у цілому може прийматися своя величина k з метою забезпечення необхідного рівня надійності конструкції. Остаточне коригування розмірів повинно визначатися конструктивними вимогами, що висуваються до каркасу будівлі (нахил покриття, методи кріплення огороджувальних конструкцій тощо), що призводить до відступу від умови рівноміцності і тим більше − до рівнограничності всіх перерізів, але забезпечує найбільш раціональне до них наближення.

Список використаних джерел:

1. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будинків і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст] : на заміну СНиП II-23-81* окрім розділів 15* – 19, СНиП III-18-75 окрім розділів 3 – 8, СНиП 3.03.01-87 у частині, що стосується сталевих конструкцій окрім пп. 4.78 – 4.134 : чинний з 2011–09-01 – К. : Мінрегіонбуд України, 2011 – 202 с..

2. Rudnev V.O. Racionalnoj forme sploshnoj uprugoj arki v svjazi s sovremennymi metodami vozvedenija. Warszaw, 1990.

3. Числовий метод визначення напружено-деформованого стану і критичних навантажень втрати стійкості арок / В. С. Шебанін, І. І. Хилько, С. І. Богданов, В. Г. Богза // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture Polish Academy of Sciences University of Engineering and Economics in Rzeszow, Lublin-Rzeszow, 2013. Vol. 15, No. 2P. 129-132, URL: http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/927 (дата звернення 14.11.18)

4. Полегшені арки криволінійного контура / В. С. Шебанін, І. І. Хилько, С. І. Богданов, В. Г. Богза // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture an International Journal on Operation of Farm and Agri-Food Industry Machinery Polish Academy of Sciences University of Engineering and Economics in Rzeszow. - Lublin-Rzeszow, 2014. Vol. 16, No. 2 – P. 5-8, URL: http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/1916 (дата звернення 14.11.18)

УДК 519.6:331.45:664.64

ІНЖЕНЕРНО-МАТЕМАТИЧНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ РИЗИКІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ НАПІВФАБРИКАТІВ

Анастасія Дідняк

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. М. Курепін,
канд.екон.наук, доцент кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Технологічний процес виробництва напівфабрикатів є багатоступеневим і включає ряд послідовних операцій, кожна з яких насичена джерелами потенційних виробничих небезпек. На етапі приймання та первинної обробки сировини працівники контактують із м'ясною продукцією, що може становити мікробіологічний ризик через можливу наявність патогенних мікроорганізмів. При недостатньому дотриманні температурного режиму зберігання або порушення санітарних норм існує ризик розвитку бактерій, що не тільки впливає на якість продукції, а й створює загрозу для здоров'я персоналу.

Під час механічної обробки сировини, зокрема подрібнення, різання та перемішування, виникають підвищені ризики травмування працівників через використання ріжучого та обертового обладнання. Типовим прикладом є робота з м'ясорубками та кутерами, де за відсутності належного захисту або порушення інструкцій можливі порізи, защемлення пальців або інші механічні ушкодження. Крім того, тривала робота з таким обладнанням сприяє підвищенню рівня шуму та вібрації [1, с. 112], що негативно впливає на нервову систему та загальну працездатність працівників.

На етапі термічної обробки працівники стикаються з дією високих температур, гарячої пари та нагрітого обладнання, що створює ризик опіків та теплового перевантаження організму. Під час роботи з варильними котлами або пароконвектоматами можливе раптове вивільнення пари, що становить додаткову небезпеку. Такі умови можуть призводити до швидкої втоми, зниження концентрації уваги та підвищення ймовірності помилок у технологічному процесі [2, с. 603].

Окремо слід відзначити етап пакування готових напівфабрикатів, де працівники можуть зазнавати впливу статичних навантажень у разі монотонної ручної праці. Тривале виконання однакових рухів при фасуванні або маркуванні продукції сприяє розвитку перевтоми, порушень опорно-рухового апарату та зниження загальної продуктивності. Додаткове використання пакувальних матеріалів та допоміжних речовин може створювати незначні хімічні або алергенні ризики.

Технологічний процес виробництва напівфабрикатів характеризується комплексом взаємопов'язаних небезпек, що охоплюють механічні, біологічні, термічні та ергономічні фактори [3, с. 374]. Їх сукупний вплив не лише підвищує ризик виробничого травматизму, а й поступово знижує працездатність працівників через розвиток втоми, стресових навантажень та професійних порушень здоров'я.

Шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що виникають у процесі виготовлення напівфабрикатів, мають безпосередній та накопичувальний вплив на працездатність працівників [4, с. 65]. У виробничих умовах працівники одночасно зазнають дії кількох факторів, що підсилюють загальний негативний ефект і призводять до зниження функціонального стану організму протягом робочої зміни.

Одним із найпоширеніших факторів є фізичне навантаження, пов'язане з тривалим перебуванням у стоячому положенні, виконанням однотипних рухів та перенесенням вантажів. Працівник, який здійснює обробку та фасування м'ясної сировини, протягом зміни виконує монотонні операції, що спричиняє м'язову втому, напруження спини та кінцівок. Внаслідок цього вже в другій половині робочого дня знижується швидкість виконання операцій [5, с. 47], погіршується координація рухів і підвищується ймовірність помилок.

Важливим фактором є мікроклімат виробничих поміщень, зокрема підвищена вологість та знижена температура в холодильних зонах. При тривалій роботі в камерах зберігання сировини працівники можуть відчувати переохолодження, що негативно впливає на кровообіг і спричиняє швидке настання втоми. У теплих цехах, навпаки, вплив підвищеної температури під час термічної обробки продукції може викликати перегрів організму, головний біль і зниження концентрації уваги.

Не менш значущим є вплив виробничого шуму та вібрації, що виникають під час роботи м'ясопереробного обладнання. М'ясорубки, кутера та пакувальні машини створюють постійне шумове навантаження, що призводить до нервового напруження, підвищеної втомлюваності та зниження здатності до тривалої концентрації. У довгостроковій перспективі це може сприяти розвитку професійних порушень слуху та хронічної втоми.

Окрему роль відіграють мікробіологічні та санітарно-гігієнічні фактори, пов'язані з роботою з сирою м'ясною продукцією. При недостатньому дотриманні гігієнічних вимог можливий контакт із потенційно небезпечними мікроорганізмами, що не тільки становить ризик для здоров'я, а й викликає психологічне напруження у працівників, які усвідомлюють можливість зараження. Це додатково знижує рівень працездатності через підвищене стресове навантаження [6, с. 334].

Сукупна дія шкідливих та небезпечних виробничих факторів призводить до поступового зниження працездатності працівників, що проявляється у фізичній втомі, зменшення уваги, уповільненій реакцій та зростанні кількості помилок у виробничому процесі. У разі тривалого впливу без належних заходів профілактики ці фактори можуть сприяти розвитку професійних захворювань та загальному погіршенню стану здоров'я персоналу.

Оцінка ефективності запропонованих заходів щодо збереження працездатності персоналу та зменшення виробничого травматизму ґрунтується на аналізі [7, с. 96] того, наскільки впроваджені організаційні, технічні та санітарно-гігієнічні рішення здатні знизити інтенсивність впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Умовно ефективність таких заходів проявляється через зменшення кількості нещасних випадків, зниження рівня професійної втоми працівників, стабілізацію продуктивності праці та покращення загального стану виробничої дисципліни.

Впровадження сучасних захисних кожухів на різальному та подрібнювальному обладнанні значно зменшує ризик механічних травм під час роботи з м'ясорубками або кутерами. Якщо раніше працівники були змушені працювати в умовах підвищеної небезпеки контакту з рухомими частинами механізмів, то після модернізації обладнання та посилення блокувальних систем кількість випадкових порізів або затискань зменшується, що безпосередньо впливає на підвищення рівня безпеки та впевненості персоналу у виконанні своїх обов'язків.

Важливим фактором ефективності є також оптимізація режимів праці та відпочинку [8, с. 327]. У разі впровадження регламентованих перерв під час виконання монотонних операцій фасування або пакування спостерігається зниження рівня фізичної втоми та підвищення концентрації уваги працівників у другій половині робочої зміни. Це дозволяє уникнути типових помилок, пов'язаних із неуважністю чи перевантаженням, що у свою чергу зменшує ймовірність виробничих інцидентів.

Не менш значущим є впровадження покращених санітарно-гігієнічних умов, зокрема систем вентиляції та підтримання оптимального мікроклімату у виробничих приміщеннях. Стабілізація температурного режиму в цехах обробки та зберігання сировини сприяє зменшенню випадків переохолодження або перегріву працівників, що позитивно впливає на їхню працездатність і загальний фізіологічний стан. У таких умовах працівники менше відчувають втому і здатні довше підтримувати стабільну продуктивність [9, с. 62].

Додатково ефективність заходів виявляється у підвищенні рівня виробничої культури [10, с. 154], коли регулярне проведення інструктажів та навчання з охорони праці формує у працівників більш відповідальне ставлення до дотримання правил безпеки. Після повторного навчання працівники частіше використовують засоби індивідуального захисту, що знижує ризики контакту з потенційно небезпечними факторами та мінімізує вплив мікробіологічних та хімічних ризиків.

Комплексна реалізація запропонованих заходів забезпечує не лише зменшення виробничого травматизму, а й стабільне збереження працездатності персоналу протягом робочого дня [11, с. 154]. Ефективність таких рішень виявляється у довгостроковій перспективі через підвищення безпеки

праці, зменшення втрат робочого часу через травми та покращення загальної результативності виробничого процесу.

У ході дослідження умов працездатності встановлено, що впровадження заходів з охорони праці є ключовим фактором зниження виробничих ризиків [12, с. 88]. Аналіз показав, що модернізація обладнання та застосування захисних пристроїв суттєво зменшують імовірність механічного травмування працівників. Визначено, що оптимізація режимів праці та відпочинку позитивно впливає на зниження втоми та підвищення концентрації уваги персоналу. Доведено, що покращення санітарно-гігієнічних умов сприяє стабілізації працездатності та зменшенню негативного впливу мікроклімату виробничих поміщень. Системне навчання та інструктажі підвищують рівень виробничої дисципліни та безпеки праці. В результаті комплексного підходу забезпечується зниження виробничого травматизму та підвищення ефективності трудового процесу.

Список використаних джерел

1. Курепін В. М., Лимар О. О. Управління людською складовою бізнесу як чинник промислового менеджменту в умовах цифрової трансформації. Modern Economics. 2026. № 57(2026). С. 107-115. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V57(2026)-14. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26709.

2. Кузнецова В. А. Специфічні риси трудових відносин на підприємствах аграрного сектору економіки. Економіко-правові аспекти господарювання: сучасний стан, ефективність та перспективи : матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, ОНЕУ, 10-11 жовтня 2025 р.). Одеса, 2025. С. 601-604. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22544.

3. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

4. Ivanenko V.S., Kurepin V.M. Security dimension of development of Ukrainian villages in the context of modern challenges. Розвиток українського села - основа аграрної реформи в Україні : матеріали Причорноморської регіональної науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу (м. Миколаїв, 15-16 квітня 2026 р.) / Інженерно-енергетичний факультет. Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 64-66. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25504.

5. Курепін В. М., Лимар О. О. Оцінка стану кадрової безпеки аграрних підприємств за допомогою відповідних індикаторів діяльності (in English). Modern Economics. 2024. № 43(2024). С. 41-50. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V43(2024)-06.

6. Іваненко В. С. Інструментарій стратегічного управління персоналом у сільському господарстві. Глокалізаційні аспекти інноваційного розвитку економіки: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених (м. Одеса, 16 жовтня 2025 р.). Одеса : ОНЕУ, 2025. С 332-334. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22739.

7. Курепін В. М., Зубєхіна-Хайят О. В. Механізми антикризового управління як основа адаптації бізнесу до турбулентного середовища. Modern Economics. 2025. № 54(2025). С. 95-103. DOI:https://doi.org/10.31521/modecon.V54(2025)-13.

8. Курепін В. М., Іваненко В. С. Застосування цифрових технологій у сільському господарстві для досягнення цілей сталого розвитку. Modern Economics. 2024. № 47(2024). С. 62-69. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V47(2024)-09.

9. Курепін В. М., Курепін Д. В., Іваненко В. С. Цивільний захист: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2025. 491 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20130.

10. Курепін В. М. Механізм фінансування та громадської участі в забезпеченні заходів безпеки на локальному та регіональному рівнях. Modern Economics. 2026. № 55(2026). С. 153-161. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V55(2026)-21.

11. Коваленко А. С. Особливості організації в сільський місцевості в умовах сучасних викликів. Економіко-правові аспекти господарювання: сучасний стан, ефективність та перспективи : матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, ОНЕУ, 10-11 жовтня 2025 р.). Одеса, 2025. С 598-601. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22543.

12. Іваненко В. С. Екокроки для відновлення природи України після війни. Продовольча безпека України в умовах післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 28-30 травня 2025 р.) / Міністерство освіти і науки України; Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв: МНАУ, 2025. С. 88-90. DOI: https://doi.org/10.31521/978-617-7149-86-5-27.

УДК 159.9.019

ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕДІНКОВИХ РЕАКЦІЙ ЛЮДИНИ

Любов Яланжи

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миковаїв, Україна

Науковий керівник Л. В. Гула,
ст.викладач кафедриметодики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Поведінка людини є складним явищем, яке досліджується за допомогою психологічних спостережень, експерементів та математичних методів. Оскільки реакція людини залежить від багатьох чинників, передбачити її поведінку абсолютно точно неможливо. Проте теорія ймовірностей і математична статистика дають змогу аналізувати результати досліджень, виявляти закономірності та оцінювати можливість аиникнення певних поведінкових реакцій[1].

Теорія ймовірності визначає закономірності випадкових подій і дає математичні засоби для оцінювання невизначеності. У психології ці методи застосовують для обробки результатів експерементів, опитувань і спостережень. Р.В. Руська у навчальному посібнику «Теорія імовірності та математична статистика в психології» розглядає теоретичні основи ймовірності та статистичні методи, необхідні для опрацювання інформації в психологічних дослідженнях[1]. Наприклад, дослідник може фіксувати реакції учасників на певні стимули, визначати частоту відповідей і порівнювати отримані результати за різних умов. Це дає змогу встановити, які реакції трапляються частіше, та оцінити ймовірність їх виникнення в аналогічних ситуаціях.

Важливу роль у прогназуванні поведінкових реакцій відігрвє статистичний аналіз.В.В.Бабенко у праці «Основи теорії йморностей і статистичні методи обробки даних у психологічних і педагогічних експерементах» розглядає застосування математичних методів для аналізу результатів психологічних і педагогічних досліджень [2]. За допомогою статистичних методів можна порівнювати результати різних груп, перевіряти дослідницькі припущення та встановлювати, чи є виявлені відмінності статистично значущими. Наприклад, під час дослідження поведінки в умовах стресу можна порівняти реакції учасників у ситуаціях із різним рівнем навантаження. Отримані результати допомагають визначити можливі зв’язки між умовами ситуації та поведінкою людини.

Теорія ймовірностей також має значення для дослідження ухвалення рішень. У повсякденному житті людина часто обирає між кількома варіантами, які відрізняються можливими наслідками. Наприклад, під час вибору нової роботи людина може враховувати ймовірність професійного успіху, ризик невдачі та власні очікування. Аналізуючи результати опитувань і психологічних експериментів, дослідники можуть визначити, які чинники пов’язані з певними рішеннями та як змінюється вибір за різних умов [1;2]. При цьому важливо розрізняти статистичний зв’язок між явищами та причинний вплив: наявніть зв’язку сама по собі не доводить, що один чинник безпосередньо спричиняє певну поведінку.

Застосування ймовірнісних методів можливе й під час вивчення соціальної поведінки. За допомогою опитувань і спостережень можна оцінювати поширеність певних поглядів, готовність людей підтримувати певні рішення або частоту конкретних реакцій у групі. На основі зібраних даних можна формувати припущення що до поведінки людей у подібних обставинах. Однак для достовірності прогнозу необхідно, щоб вибірка була достатньою та відповідала групі, яку досліджують. Результати, отримані на одній групі, не завжди можна застосовувати до всіх людей, оскільки індивідуальні особливості та життєвий досвід можуть суттєво відрізнятися.

Водночас імовірнісне прогнузування має певні обмеження. Його точність залежить від якості зібраної інормації, правильності вибору статичних методів і умов проведення дослідження [1;2]. Поведінка людини може змінюватися під впливом ємоцій, нових обставин і набутого досвіду, тому статистичні закономірності не забезпечують безпомилкового передбачення індивідуальних дій. З цієї причини результати математичного аналізу необхідно інтерпретувати обережно та враховувати психологічний контекст досліджуваної ситуації.

Важливим напрямом використання теорії ймовірностей є прогназування поведінки в умовах невизначеності,коли людина не має повної інформації про можливі наслідки своїх дій. У таких ситуаціях дослідники можуть аналізувати попередні результати спостережень, частоту певних реакцій і зміни поведінки залежно від обставин. Наприклад, під час дослідження навчальної діяльнгсті можна оцінювати ймовірність виконання завдання залежно від його складності, наявності часу та умов роботи. У соціальній психології подібний підхід дає змогу досліджувати закономірності групової поведінки й оцінювати, як змінюються реакції людей під впливом соціального оточення. Для отримання достовірних результатів важливо не лише розрахувати ймовірність певної реакції, а й перевірити, наскільки добре отримані висновки узгоджуються з фактичними результатами дослідження[1;2].

Окрім цього, під час прогнозування поведункових реакцій важливо враховувати можливість помилок у результатах дослідження. Наприклад, якщо опитування охоплює невелику кількість людей або не враховує особливостей досліджувальної групи, отримані результати можуть бути недостатньо точними. Тому для підвищення достовірності прогнозів необхідно проводити повторні спостереження, порівнювати результати різних досліджень і перевіряти висунуті припущення. Математичні методи допомагають не лише оцінювати ймовірність певної поведінки, а й визначати, наскільки обґрунтованими є отримані висновки. Це особливо важливо в психології, оскільки результати досліджень можуть використовуватися для вдосконалення навчального процесу, організації професійної діяльності та кращого розуміння взаємодії між людьми [1;2].

Отже, теорія ймовірностей є важливим інструментов прогназування поведінкових реакцій людини. У поєднанні з математичною статистикою вона дає змогу аналізувати результати психогологічних досліджень, виявляти закономірності та оцінювати ймовірність певних реакцій за конкретних умов. Водночас такі прогнози мають імовірнісний характер і не можуть повністю враховувати всі особливості індивідуальної поведінки. Тому найбільш обґрунтованим є поєднання математичних методів із психологічним аналізом та ретельною перевіркою отриманих результатів.

Список використаних джерел:

1. Руська Р.В. Теорія імовірності та математична статистика в психології: навчальний посібник. Тернопіль, 2020. 112с.

2. Бабенко В.В. Основи теорії ймовірностей і статистичні методи обробки даних у психологічних і педагогічних експериментах. Львів: Видавничий центр Львівського національного університету імені Івана Франка, 2009. 168 с.

УДК 519.233.5

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОЕФІЦІЄНТІВ КОРЕЛЯЦІЇ ПІРСОНА ТА СПІРМЕНА ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ДАНИХ

Анастасія Піскун

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, України

Науковий керівник: О. Є. Богатєнкова,
асистент Миколаївський національний аграрний університет

Кореляційний аналіз застосовують для виявлення взаємозв'язків між ознаками під час опрацювання експериментальних, освітніх та соціально-економічних даних. Проте однакові спостереження можуть давати різні оцінки залежно від обраного коефіцієнта. Це пояснюється тим, що коефіцієнт Пірсона характеризує лінійний зв'язок, а коефіцієнт Спірмена – монотонний зв'язок між рангами. Тому вибір показника має спиратися на шкалу вимірювання, форму залежності та наявність нетипових спостережень.

Мета роботи –порівняти властивості коефіцієнтів кореляції Пірсона та Спірмена для кількісних і порядкових даних та визначити умови їх обґрунтованого застосування. Для цього використано порівняння визначень і припущень методів та обчислювальний експеримент на малих модельних вибірках. Такий підхід дає змогу відокремити вплив форми залежності від впливу окремого викиду.

Коефіцієнт Пірсона визначають як відношення коваріації двох змінних до добутку їхніх стандартних відхилень. Він враховує числові відстані між значеннями та змінюється від −1 до 1. Додатний знак відповідає узгодженому зростанню змінних, від'ємний – їх зміні у протилежних напрямках. Абсолютне значення, близьке до одиниці, свідчить про сильний лінійний зв'язок. Для обчислення показника обидві змінні мають бути неконстантними; нормальність розподілу не є умовою самого розрахунку [1].

Водночас описова оцінка та статистична перевірка гіпотези мають різні передумови. Стандартний параметричний тест для коефіцієнта Пірсона спирається на модель незалежних пар спостережень із двовимірного нормального розподілу за нульової гіпотези. Відхилення від цих умов потребує обережності під час інтерпретації p-значень і довірчих інтервалів. Автоматична відмова від Пірсона лише через ненормальність однієї ознаки не враховує ані мети аналізу, ані форми зв'язку [1].

Коефіцієнт Спірмена обчислюють як кореляцію Пірсона між рангами спостережень. Однаковим значенням надають середні ранги. Метод придатний для порядкових ознак, для яких можна встановити порядок, але відстані між категоріями не обов'язково рівні. Для кількісних даних він відображає узгодженість зростання або спадання змінних без вимоги лінійної форми залежності. Натомість довільне кодування номінальних категорій числами не створює змістовного порядку і не обґрунтовує застосування рангової кореляції [2].

Рангування зменшує вплив величини екстремального значення, оскільки після перетворення зберігається його місце у впорядкованій вибірці. Однак Спірмен не усуває вплив усіх нетипових спостережень: зміна порядку пар також змінює результат. Крім того, велика кількість однакових рангів зменшує деталізацію даних. Отже, ранговий підхід забезпечує інший спосіб вимірювання зв'язку, а не універсальне виправлення недоліків вихідної вибірки [2; 3].

Для обчислювального порівняння сформовано чотири набори по п'ять пар. У першому випадку значення першої ознаки становлять 1, 2, 3, 4, 5, а другої –2, 4, 6, 8, 10. У другому перша ознака незмінна, а друга набуває значень 1, 4, 9, 16, 25. У третьому використано перший набір із заміною останнього значення другої ознаки на 100. У четвертому перша ознака становить −2, −1, 0, 1, 2, а друга –4, 1, 0, 1, 4. Коефіцієнти обчислено функціями pearsonr і spearmanr бібліотеки SciPy; результати округлено до трьох десяткових знаків [1; 2].

Таблиця 1 - Результати обчислення на модельних вибірках

Тип залежності	Пірсон, r	Спірмен, ρ
Лінійна	1,000	1,000
Монотонна нелінійна	0,981	1,000
Лінійна із заміною одного значення	0,743	1,000
Немонотонна симетрична	0,000	0,000

Як показано в таблиці 1, за точної лінійної залежності обидва показники дорівнюють одиниці. За квадратичного зростання коефіцієнт Пірсона становить 0,981, тоді як Спірмена –1,000. Відмінність зумовлена тим, що порядок значень зберігається повністю, хоча числові прирости неоднакові. Це ілюструє різницю між лінійністю та монотонністю, яку важливо враховувати під час інтерпретації результатів.

Заміна одного значення на 100 знижує коефіцієнт Пірсона до 0,743, але залишає коефіцієнт Спірмена рівним 1,000, оскільки порядок спостережень не змінюється. Цей результат стосується конкретної конструкції прикладу: викид, який змінює ранги, може змінити й рангову кореляцію. У симетричному немонотонному випадку обидва коефіцієнти дорівнюють нулю попри точну функціональну залежність. Отже, нульове значення не доводить незалежності змінних.

Наведені модельні результати є ілюстративними та не становлять емпіричного висновку про генеральну сукупність. Вибірки з п’яти пар використано для прозорого відтворення обчислень, тому p-значення не інтерпретуються. Для малих реальних вибірок перевірку рангової кореляції доцільно виконувати перестановковим методом з урахуванням умов обмінності; асимптотичні оцінки значущості можуть бути неточними [2].

Практичний порядок аналізу передбачає перевірку шкал вимірювання, пропусків, повторів і незалежності спостережень, після чого будують діаграму розсіювання. Для кількісних ознак із приблизно лінійним зв’язком інформативним є коефіцієнт Пірсона. Для порядкових даних або монотонної нелінійної залежності обґрунтованим є коефіцієнт Спірмена. Якщо форма зв’язку складніша, слід досліджувати графік і модель залежності, а не обмежуватися одним числом.

Обчислення двох показників для тих самих пар спостережень може допомогти виявити чутливість висновку до ранжування та екстремальних значень. Проте різниця між ними сама по собі не доводить наявності викидів або нелінійності. Видаляти спостереження лише для збільшення кореляції неприпустимо: спочатку потрібно з’ясувати їх походження та, за необхідності, подати аналіз чутливості. Статистичну значущість також слід відрізняти від практичної сили зв’язку [3].

Окремої уваги потребує трактування різних типів даних. Для неперервних кількісних ознак, наприклад тривалості виконання завдання або концентрації речовини, зміст мають і порядок, і відстані між вимірюваннями. У такому разі лінійна кореляція дозволяє оцінити узгодженість відхилень від середніх значень. Для порядкових відповідей, наприклад рівнів задоволеності від низького до високого, рівність відстаней між сусідніми категоріями не гарантована. Тому ранжування краще узгоджується зі способом вимірювання. Вибір коефіцієнта має враховувати зміст ознаки ще до програмного обчислення, інакше математично коректний результат може не мати предметної інтерпретації.

Дискретний характер ознаки сам по собі не визначає вибору методу. Кількість виконаних завдань є числовою величиною з інтерпретованими різницями, тоді як номер категорії може бути лише умовним позначенням. В обох випадках у таблиці даних зберігаються цілі числа, однак їх вимірювальний зміст відрізняється. Для числових балів слід з’ясувати, чи припустимо трактувати різницю між оцінками як однакову на всій шкалі. Якщо таке припущення сумнівне, ранговий аналіз може бути доцільнішим. Водночас велика кількість однакових балів потребує коректного обчислення середніх рангів і врахування повторів під час перевірки значущості [2].

Підготовка вибірки також впливає на зіставність результатів. Обидва коефіцієнти потрібно розраховувати на однаковому наборі повних пар. Якщо для різних показників застосовано різні правила вилучення пропусків, розходження оцінок може бути спричинене зміною складу вибірки. Перед аналізом слід перевірити, чи не позначено пропущені значення нулями або службовими

числами, а також чи не переплутано одиниці вимірювання. Видалення неповних рядків необхідно описати разом із кількістю залишених спостережень. Так забезпечується можливість відтворити обчислення та відокремити властивості статистичного методу від наслідків очищення даних.

Зміна одиниць вимірювання не обов'язково змінює кореляцію. Додавання сталої до всіх значень або множення на додатний сталий коефіцієнт зберігає коефіцієнт Пірсона. Наприклад, переведення тривалості із хвилин у секунди не змінює оцінки лінійного зв'язку. Коефіцієнт Спірмена зберігається за строго зростаючого перетворення, оскільки порядок значень залишається тим самим. Це пояснює його поведінку в модельному прикладі з квадратами додатних чисел. Однак застосування нелінійного перетворення може змінити лінійну кореляцію. Отже, попередні перетворення ознак потрібно зазначати в описі методики та інтерпретувати разом із результатом.

Для наочного зіставлення методів доцільно побудувати дві діаграми: вихідних значень та відповідних рангів. Перша дає змогу оцінити форму залежності, розкид і можливі екстремальні точки. Друга показує узгодженість порядку спостережень та допомагає пояснити результат рангового аналізу. Якщо на першій діаграмі простежується вигнута, але послідовно зростаюча траєкторія, високе значення Спірмена є очікуваним. Якщо ж залежність змінює напрямок, наприклад спочатку спадає, а потім зростає, низькі значення обох коефіцієнтів можуть поєднуватися з виразною структурою. Тому графічна перевірка має передувати остаточному висновку [3].

Під час аналізу кількох груп слід додатково перевіряти, чи не приховує загальний коефіцієнт відмінності між ними. Наприклад, об'єднання спостережень із різними середніми рівнями ознак може створити загальну тенденцію, яка не відтворюється всередині окремих груп. У такій ситуації доцільно порівняти спільну діаграму з діаграмами для кожної змістовно визначеної підгрупи. При цьому поділ має спиратися на предметні підстави, а не на бажання отримати більший коефіцієнт. Така перевірка допомагає точніше сформулювати, до якої сукупності належить висновок і за яких умов його можна застосовувати.

Відтворюваність обчислювального експерименту забезпечується явним поданням вихідних пар і правил обробки. Для практичного аналізу необхідно зберігати вихідний файл, програмний код, версії використаних бібліотек та результати очищення. У підсумковій таблиці варто наводити назви ознак, кількість пар, обидва коефіцієнти й пояснення форми зв'язку. Значення доцільно округлювати лише під час представлення, залишаючи повну точність для проміжних розрахунків. Порівняння результатів, які відрізняються лише в останньому десятковому знаку, без урахування вибіркової невизначеності не є достатньою підставою стверджувати перевагу одного методу.

Для подальшого дослідження доцільно розширити модельний експеримент: змінювати кількість спостережень, інтенсивність випадкового шуму та частку нетипових точок. Важливо окремо розглядати викиди, що зберігають порядок значень, і спостереження, які його порушують. Для кожного сценарію повторні симуляції дозволять оцінити мінливість коефіцієнтів, а не лише одну отриману величину. Це є напрямом подальшої роботи; у наведеному експерименті такі серії не проводилися. Практична цінність поточного порівняння полягає у прозорій демонстрації властивостей двох оцінок та формуванні послідовного правила їх вибору для конкретної аналітичної задачі.

Таким чином, коефіцієнти Пірсона та Спірмена доповнюють один одного, оскільки описують різні властивості взаємозв'язку. Обчислювальний приклад показав збіг оцінок за лінійної залежності, їх розходження за монотонної нелінійності та різну реакцію на зміну величини крайнього спостереження. Обґрунтований вибір методу потребує поєднання числової оцінки з візуальним аналізом, урахуванням типу даних і перевіркою передумов статистичного висновування. Виявлена кореляція не є доказом причинно-наслідкового зв'язку.

Список використаних джерел

1. SciPy. pearsonr. SciPy API reference. URL: https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.pearsonr.html (дата звернення: 12.10.2026).

2. SciPy. spearmanr. SciPy v1.14.1 Manual. URL: https://docs.scipy.org/doc/scipy-1.14.1/reference/generated/scipy.stats.spearmanr.html (дата звернення: 12.10.2026).

3. Schober P., Boer C., Schwarte L. A. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. Anesthesia & Analgesia. 2018. Vol. 126, no. 5. P. 1763-1768. DOI: https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864.

УДК 519.115

ПРО ОДНУ ЧИСЛОВУ ПОСЛІДОВНІСТЬ, ПОВ'ЯЗАНУ З ПЕРЕСТАНОВКАМИ, ТА ЇЇ АНАЛІТИЧНУ ФОРМУЛУ

Микола Філіпчук, Ольга Філіпчук

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна

Дослідження обмежених перестановок є класичним напрямом дискретної математики та теорії графів, що має важливе прикладне значення в сучасній криптографії при проєктуванні симетричних шифрів [1] і теорії кодування інформації [2]. Особливе місце в таких задачах посідає аналіз структурних заборон на сумісне розташування елементів. Одним із обмежень, що виникають при оцінці завадостійкості блочних кодів і нелінійних вузлів перемішування інформації, є виключення суміжних пар з простими числовими характеристиками.

Розглянемо числову послідовність $a(n)$, $n \geq 0$, члени якої визначаються наступним чином:

$a(n) =$ *загальна кількість* n*-перестановок з елементів* $1, 2, ..., n$*, у яких добуток будь-яких двох сусідніх елементів не є простим числом.*

Перш за все, нагадаємо, що число 1 не є простим.

При $n = 0$ існує одна порожня перестановка, яка тривіально задовольняє потрібну умову, тому $a(0) = 1$.

При $n = 1$ єдина існуюча перестановка (1) теж тривіально задовольняє потрібну умову, тому $a(1) = 1$.

При $n = 2$ обидві існуючі перестановки $(1,2)$ і $(2,1)$ не задовольняють потрібну умову (оскільки $1 \cdot 2 = 2 \cdot 1 = 2$, а 2 є простим числом), тому $a(2) = 0$.

При $n = 3$ жодна із шести існуючих перестановок $(1,2,3)$, $(1,3,2)$, $(2,1,3)$, $(2,3,1)$, $(3,1,2)$, $(3,2,1)$, теж не задовольняє потрібну умову, тому $a(3) = 0$.

Натомість уже при $n = 4$ із 24-х всеможливих перестановок лише перестановки $(1,4,2,3)$, $(1,4,3,2)$, $(2,3,4,1)$, $(3,2,4,1)$ задовольняють потрібну умову, тому $a(4) = 4$.

Нескладним скриптом на мовах програмування Python або C++ можна доволі швидко знайти перших 12 членів розглядуваної послідовності:

$a(0) = 1$,
$a(1) = 1$,
$a(2) = 0$,
$a(3) = 0$,
$a(4) = 4$,
$a(5) = 12$,
$a(6) = 144$,

$a(7) = 720$,
$a(8) = 8640$,
$a(9) = 100800$,
$a(10) = 1209600$,
$a(11) = 10886400$.

Зі зростанням числа n стрімко зростатиме кількість всеможливих n -перестановок (комбінаторний вибух), тому навіть їх оптимізований комп'ютерний перебір досить швидко (уже при $n \geq 15$) стає практично неможливим [3]. Використання динамічного програмування за масками дещо розширює межу обчислень на сучасному комп'ютері, але тільки до $n \leq 25$.

Разом з цим, шляхом комбінаторного аналізу шуканих перестановок, авторам вдалося встановити точну аналітичну формулу для обчислення $a(n)$ при будь-якому $n \geq 3$.

Теорема. *Для будь-якого* $n \geq 3$
$a(n) = (n - P) \cdot (n - P - 1) \cdot (n - 2)!$,

де P *– кількість простих чисел, що не перевищують* n.

Наприклад, при $n = 30$ маємо:
$P = 10$ (це прості числа 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29),
а тому
$a(30) = (30 - 10) \cdot (30 - 10 - 1) \cdot (30 - 2)! = 20 \cdot 19 \cdot 28! =$ 115857570952451266990571520000000.

Розрахунок перших 1000 членів послідовності [4] згідно зі знайденою формулою за допомогою Python-скрипта у хмарному середовищі Kaggle [5] було виконано за півсекунди. При цьому останнє число $a(1000)$ містить 2568 цифр.

Перевірка отриманої послідовності в базі даних Інтерактивної Енциклопедії цілочислових послідовностей OEIS [6] підтвердила її новизну та оригінальність.

Зауважимо, що, з погляду теорії графів, задача обчислення числа $a(n)$ еквівалентна знаходженню кількості гамільтонових шляхів у графі, що є повним підграфом K_{n-1} для вершин $\{2, 3, \ldots, n\}$, а вершина 1 має степінь $\deg(1) = n - P - 1$.

Таким чином, авторами вперше розглянуто та досліджено задачу про перестановки з непростими добутками сусідніх елементів. Отримана точна аналітична формула дозволяє уникати складних експоненціальних обчислень (комбінаторного вибуху) і знаходити значення членів послідовності для будь-яких великих n. Знайдена послідовність готується до внесення в реєстр OEIS.

Список використаних джерел

1. Menezes A. J., van Oorschot P. C., Vanstone S. A. Handbook of Applied Cryptography. CRC Press, 1996. 780 p.
2. MacWilliams F. J., Sloane N. J. A. The Theory of Error-Correcting Codes. Elsevier, 1977. 762 p.
3. Knuth D. E. The Art of Computer Programming, Volume 4A: Combinatorial Algorithms, Part 1. Addison-Wesley Professional, 2011. 883 p.
4. Table of n, a(n) for n = 0..1000. URL: https://lnk.ua/CmxZVMz7T
5. Kaggle: Your Home for Data Science. URL: https://www.kaggle.com
6. The On-Line Encyclopedia of Integer Sequences (OEIS). URL: https://oeis.org



Тематичний напрям № 2

Комп'ютерне моделювання, чисельні методи та обчислювальний експеримент

УДК 159.922.7:378.147:51

ПСИХОЕМОЦІЙНИЙ СТАН СТУДЕНТІВ ПРИ ВИВЧЕННІ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ: КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ФАКТОР ЗНИЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ ТРИВОЖНОСТІ

Дмитро Андреєв

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Л. В. Гула,
ст.викладач кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Адаптація студентів молодших курсів закладів вищої освіти до вивчення фундаментальних дисциплін, зокрема вищої математики, традиційно супроводжується різким зростанням психоемоційного напруження. Перехід від алгоритмічних шкільних шаблонів до високого рівня абстракції університетського курсу нерідко провокує розвиток «математичної тривожності» (*math anxiety*) - специфічного когнітивно-афективного розладу навчальної діяльності, що супроводжується страхом, почуттям безпорадності та внутрішнім напруженням.

Психофізіологічний механізм цього явища полягає у функціональному перевантаженні робочої пам’яті (working memory). Ситуативний стрес та нав’язливі негативні думки щодо можливої помилки активують захисні реакції організму й поглинають обмежені ресурси префронтальної кори головного мозку. У результаті виникає ефект «когнітивного ступору», за якого вільний ресурс уваги, необхідний для утримання логічних зв'язків та виконання аналітичних операцій, критично скорочується.

Традиційна методика викладання, орієнтована на статичні формульні записи на дошці та громіздку алгебраїчну символіку, лише підсилює стороннє когнітивне навантаження (extraneous cognitive load). Студент змушений витрачати ментальні ресурси не на розуміння суті математичних законів, а на розшифровку формалізованого запису та самостійну просторову реконструкцію процесів. Систематичний стрес закріплює синдром вивченої безпорадності, руйнує академічну впевненість і веде до прокрастинації.

З огляду на це, пошук ефективних засобів корекції психоемоційного стану здобувачів вищої освіти шляхом залучення динамічного комп'ютерного моделювання, яке дозволяє екстерналізувати абстрактні концепти у наочний інтерактивний процес та знизити рівень тривожності, є вкрай актуальним завданням сучасної психолого-педагогічної та комп'ютерної науки.

Сучасні дослідження феномену математичної тривожності та нейрокогнітивних процесів у вищій школі доводять, що суб'єктивні труднощі студентів при вивченні абстрактних розділів математики зумовлені тимчасовим дефіцитом ресурсів робочої пам’яті. Математична тривожність викликає ефект когнітивної інтерференції, коли нав'язливі тривожні думки й страх академічної невдачі конкурують з аналітичними операціями за ресурси префронтальної кори мозку, провокуючи функціональний ступор та погіршення математичної продуктивності [1].

Для пояснення причин загострення цього стресового стану традиційними методами викладання фундаментальним залишається сучасне переосмислення теорії когнітивного навантаження. Як підкреслюють дослідники цифрових освітніх технологій, загальне ментальне навантаження студента інтегрує внутрішню складність самого математичного поняття, стороннє навантаження, викликане нераціональною формою подачі матеріалу, та продуктивне релевантне навантаження, спрямоване на утворення нових ментальних схем. Класичний лекційний формат, переобтяжений статичними символьними записами на дошці та громіздкою алгебраїчною мовою кванторів, штучно максимізує стороннє когнітивне навантаження. Студент витрачає лімітовані ресурси пам'яті не на осягнення суті понять, а на самостійну просторову реконструкцію динамічних процесів, що веде до когнітивного перевантаження та запуску захисних реакцій у формі апатії й прокрастинації.

Дієвим інструментом розв'язання цього протиріччя виступає динамічне комп'ютерне моделювання, розвиток якого спирається на сучасні мультимедійні моделі та концепції подвійного кодування інформації. Оскільки мозок опрацьовує візуально-просторові та символьно-вербальні дані двома паралельними каналами, застосування інтерактивних математичних середовищ дозволяє розвантажити вербальну підсистему пам'яті. Сучасні емпіричні дослідження підтверджують, що залучення динамічної геометрії та чисельних симуляцій забезпечує зовнішню когнітивну опору, усуваючи необхідність утримувати просторову динаміку уразливою робочою пам'яттю. Крім зниження когнітивного тиску, інтерактивне керування параметрами моделі створює психологічно безпечне середовище, де помилка сприймається не як оціночне фіаско, а як природна дослідницька ітерація, що нормалізує емоційний стан і знижує математичну тривожність.

Для наочної демонстрації висунутих теоретичних положень було проаналізовано серію інтерактивних динамічних моделей у середовищі комп'ютерної математики GeoGebra, орієнтованих на найбільш абстрактні теми початкового курсу математичного аналізу. Як приклад — геометричний зміст похідної та процес граничного переходу січної в дотичну, оскільки саме формальне означення границі відношення приросту функції до приросту аргументу за умови прямування приросту аргументу до нуля традиційно викликає у студентів найбільше когнітивне напруження.

У класичному форматі студент стикається зі статичним кресленням і сухим аналітичним виразом, що вимагає самостійної уявної екстраполяції нескінченного наближення точок. У досліджуваній динамічній моделі процес побудовано за принципом безпосереднього інтерактивного керування: користувач за допомогою повзунка плавно зменшує крок приросту аргументу, одночасно спостерігаючи в реальному часі наближення рухомої точки до фіксованої, поворот січної прямої до граничного положення дотичної та синхронний перерахунок числового значення кутового коефіцієнта. Завдяки візуалізації динамічного зв'язку абстрактне алгебраїчне поняття трансформується у наочний фізичний процес. Як зазначають Пінчук О. П., Соколюк О. М., Бобровицька С. В у дослідженнях сучасного цифрового освітнього середовища, інтеграція динамічних симуляцій суттєво оптимізує навчальний процес, знижуючи рутинні перепони у сприйнятті фундаментальних наукових концептів [2].

У межах теоретичного обґрунтування розроблено комплексну методику діагностики психоемоційного стану здобувачів вищої освіти для подальшої емпіричної апробації. Діагностичний комплекс базується на адаптованій скороченій шкалі оцінки математичної тривожності AMAS та методиці оцінки ситуативної тривожності Ч.Спілбергера у модифікації Ю.Ханіна. Запропонована схема передбачає порівняльний моніторинг показників у два етапи: під час традиційного аналітичного розв'язання завдань та після роботи з інтерактивними візуалізаціями. Як підкреслює Н.В.Морзе у дослідженнях цифрової трансформації університетського простору, правильне проєктування інтерактивного навчального середовища не лише розвиває цифрову компетентність, а й формує сприятливий психологічний мікроклімат, забезпечуючи перехід студента від пасивного споглядання до впевненої дослідницької позиції [3].

Здійснений концептуальний аналіз дає підстави стверджувати, що застосування динамічного комп'ютерного моделювання виступає дієвим компенсаторним механізмом, здатним істотно оптимізувати психоемоційний стан студентів при вивченні складних абстрактних розділів вищої математики. Теоретичний зв'язок між параметричним візуальним середовищем та психоемоційним

станом здобувача освіти базується на структурному розвантаженні центрального виконавчого механізму робочої пам’яті. Коли динаміка граничного переходу екстерналізується на екран комп'ютера, стороннє когнітивне навантаження мінімізується, що автоматично усуває дефіцит ментального ресурсу. За таких умов ризик виникнення деструктивної математичної тривожності різко падає, оскільки зникає головне джерело когнітивного напруження — потреба утримувати в уяві громіздкі абстрактні перетворення без зовнішньої наочної опори.

Важливим теоретичним аспектом запропонованого підходу є трансформація психологічної атмосфери навчальної діяльності. Традиційний математичний формалізм часто провокує відчуття загрози через жорстку фіксацію помилки, тоді як інтерактивне середовище динамічної геометрії переводить навчальний процес у площину безпечного експериментування. Можливість вільно маніпулювати числовими значеннями параметрів та миттєво спостерігати геометричний відгук системи формує у студента суб'єктивне відчуття контролю над ситуацією. Це блокує розвиток синдрому вивченої безпорадності, нейтралізує психосоматичні прояви тривоги та сприяє переходу від захисних поведінкових реакцій і прокрастинації до активної дослідницької пізнавальної діяльності.

У підсумку проведене теоретичне дослідження свідчить, що інтеграція динамічного моделювання у викладанні вищої математики є ефективним психолого-педагогічним інструментом профілактики математичної тривожності у студентів молодших курсів. Гармонійне поєднання візуального та вербально-символьного каналів сприйняття дозволяє подолати абстрактний бар'єр на початкових етапах вивчення математичного аналізу, зберігає ресурси оперативної пам'яті для релевантного осмислення суті понять та створює сприятливий когнітивний базис для успішної адаптації першокурсників до вимог вищої школи.

Список використаних джерел

1. A meta-analysis of the relation between math anxiety and math achievement / C. Barroso et al. Psychological Bulletin. 2024. Vol. 150, no. 4. P. 415–442.

2. Пінчук О. П., Соколюк О. М., Бобровицька С. В. Використання програмно-методичного комплексу комп’ютерної математики GeoGebra у навчальному процесі. Інформаційні технології і засоби навчання. 2023. Т. 94, № 2. С. 48–63.

3. Морзе Н. В., Буйницька О. П., Варченко-Троценко Л. О. Цифрова трансформація університету: інноваційні технології та психолого-педагогічні виклики. Освітній простір України. 2024. Вип. 28, № 1. С. 45–59.

4. Гула Л. Використання ІТ в психології. Цифрова гуманістика: Інформаційні технології та інформаційне моделювання на сучасному етапі розвитку суспільства : матеріали ІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції, 22-23 травня 2025 року, м. Кропивницький. С. 24-26.

УДК 539.3:534.1

ЗГИННІ КОЛИВАННЯ КРУГОВОГО ТОНКОГО ПРУЖНОГО ВКЛЮЧЕННЯ В НЕОБМЕЖЕНОМУ ПРУЖНОМУ СЕРЕДОВИЩІ: ІНТЕГРАЛЬНЕ РІВНЯННЯ ТА КОЕФІЦІЄНТ ІНТЕНСИВНОСТІ НАПРУЖЕНЬ

Лариса Вахоніна

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Анотація: У роботі розглянуто задачу гармонічних згинних коливань кругового тонкого пружного включення в необмеженому пружному середовищі. Побудовано математичну модель, яку зведено до інтегрального рівняння Фредгольма другого роду. Запропоновано чисельний підхід на основі квадратур Гаусса для визначення коефіцієнта інтенсивності напружень та аналізу впливу пружних характеристик включення на концентрацію напружень.

Динамічний розрахунок пружних тіл, що містять сторонні прошарки або пластинчасті включення, залишається однією з актуальних задач прикладної математики та математичного

моделювання в механіці деформівного твердого тіла. У переважній більшості інженерних методик такі включення умовно вважають абсолютно жорсткими, оскільки це істотно спрощує постановку крайової задачі. Проте подібне припущення не дає змоги врахувати вплив пружних характеристик самого включення на розподіл і концентрацію напружень у його околі, а цей вплив, як показують дослідження динаміки тіл зі смуговими та дископодібними включеннями, за певних співвідношень жорсткостей матриці й включення може бути суттєвим.

Метою роботи є побудова математичної моделі гармонічних згинних коливань кругового тонкого пружного включення, вбудованого у необмежене пружне середовище, та зведення відповідної крайової задачі до розв'язної системи інтегральних співвідношень, придатної для чисельної реалізації.

Постановка задачі. Нехай у необмеженому пружному середовищі (матриці) міститься тонке пружне включення у формі кругової пластини товщиною h і радіусом a. У циліндричній системі координат, вісь якої проходить через центр включення, останнє займає область серединної площини $z=0$. На включення діє нормальне гармонічне навантаження інтенсивності p_r, що змінюється за законом e^{-iwt}. Оскільки включення є тонким, умови його взаємодії із середовищем зводяться до умов повного механічного контакту, записаних відносно серединної площини: стрибок нормальних напружень при переході через включення пов'язується з невідомою функцією χ_r, а нормальні переміщення обох берегів включення прирівнюються прогину його серединної поверхні W_r. Сам прогин задовольняє рівняння згинних коливань тонкої кругової пластини з циліндричною жорсткістю D, що залежить від модуля пружності, товщини та коефіцієнта Пуассона матеріалу включення, за граничних умов вільного краю на контурі $r=a$ та вимоги обмеженості розв'язку в центрі пластини [1].

$$D\nabla^4 w(r,t)+\rho h\frac{\partial^2 w(r,t)}{\partial t^2}=q(r,t), \qquad (1)$$

де $w(r,t)$ — прогин пластини, $q(r,t)$ — інтенсивність навантаження, ρ — густина матеріалу включення.

Циліндрична жорсткість пластини визначається співвідношенням:

$$D=\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \qquad (2)$$

де E — модуль пружності, h — товщина пластини, ν — коефіцієнт Пуассона матеріалу включення.

Метод розв'язання. Переміщення в необмеженому середовищі, спричинені хвилями, джерелом яких є коливне включення, подаються у вигляді розривного розв'язку рівнянь Ламе зі стрибком, що визначається функцією χ_r. Це дає змогу виразити нормальне переміщення матриці через інтеграл від χ_r з відповідним ядром, побудованим на основі перетворень Ганкеля. Прогин серединної поверхні включення, своєю чергою, виражається через той самий стрибок напружень за допомогою функції Гріна крайової задачі про згинні коливання кругової пластини вільного краю [2]. Підстановка обох зображень у контактну умову рівності переміщень призводить до одного інтегрального рівняння відносно χ_r.

Отримане рівняння після заміни змінних, регуляризації особливості ядра та парного продовження невідомої функції набуває структури рівняння Фредгольма другого роду відносно допоміжної функції g_y, пов'язаної зі стрибком напружень інтегральним перетворенням. Аналіз ядра показує, що воно є неперервною функцією обох аргументів, що обґрунтовує застосування до рівняння прямих чисельних методів. Права частина рівняння визначається виключно законом розподілу зовнішнього навантаження на включенні [3].

Для чисельного розв'язання інтегральне рівняння Фредгольма зводиться до системи лінійних алгебричних рівнянь заміною інтеграла квадратурною формулою Гаусса з вузлами у коренях многочлена Лежандра. Розв'язок цієї системи дає значення шуканої функції у вузлах інтерполяції,

після чого сама функція відновлюється інтерполяційним многочленом Лагранжа. Це дозволяє обчислити коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) у матриці поблизу краю включення як границю добутку кореня з відстані до контуру на функцію стрибка напружень; у термінах розв'язку системи КІН виражається лінійною комбінацією її невідомих із вагами, що залежать від вузлів квадратури Гаусса.

Результати чисельного аналізу. Чисельні розрахунки виконано для випадку рівномірно розподіленого навантаження на включенні за однакової густини матриці й включення та однакових коефіцієнтів Пуассона ($\nu_0 = \nu_1 = 0,25$). Використання до 30 вузлів квадратурної формули забезпечило відносну похибку визначення КІН, меншу за 0,1 % у всьому дослідженому діапазоні хвильового числа. Встановлено, що зі зменшенням відношення модулів пружності включення й матриці e_0 залежність модуля КІН від хвильового числа набуває дедалі складнішого характеру з декількома локальними мінімумами й максимумами, а загальний рівень концентрації напружень поблизу включення знижується [4]. Водночас навіть для порівняно жорстких включень на окремих частотах значення КІН може перевищувати відповідне значення для абсолютно жорсткого включення, що суперечить інтуїтивному очікуванню монотонного зближення розв'язків.

Розрахунки для конкретних пар матеріалів (сталеве включення в бетонній матриці та сталеве включення у свинцевій матриці) підтвердили, що врахування пружності включення суттєво змінює як абсолютні значення КІН, так і характер його частотної залежності порівняно з моделлю абсолютно жорсткого включення. Збіг результатів пружної та жорсткої моделей спостерігається лише за штучно малого відношення модулів пружності порядку 10^{-5} , яке практично не реалізується для конструкційних матеріалів, що застосовуються в деталях машин, будівельних конструкціях і композитах [5].

Висновки. Запропонована математична модель, що ґрунтується на методі розривних розв'язків рівнянь Ламе, дає змогу звести задачу про гармонічні згинні коливання кругового тонкого пружного включення в необмеженому середовищі до однозначно розв'язного інтегрального рівняння Фредгольма другого роду та ефективно реалізувати її чисельний аналіз методом квадратур Гаусса. Отримані результати свідчать, що для переважної більшості реальних поєднань матеріалів матриці та включення заміна пружного включення абсолютно жорстким є некоректним спрощенням, здатним призвести до суттєвих похибок під час оцінювання концентрації напружень і, відповідно, розрахунків міцності елементів конструкцій із тонкими включеннями.

Список використаних джерел

1. Sadovoy O., Vakhonina L., Koshkin D., Martynenko V. Comparison of Active Power Losses of Single-Phase Electromagnetic Static Devices by Radial Electromagnetic System. In: 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). 2022. DOI: 10.1109/MEES58014.2022.10005760.

2. Martynenko V., Vakhonina L., Kostin A. Integrated Assessment of Weldability of Steel with Increased Strength. Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science. 2022. Vol. 26(2). P. 9–15.

3. Wang Y., Zhang X. Dynamic stress analysis of elliptical inclusions in an inhomogeneous medium with modulus and density variations under the action of shear horizontal (SH) waves. Mechanics of Materials. 2023. Vol. 181. Article 104659. DOI: 10.1016/j.mechmat.2023.104659.

4. Вахоніна Л. В. Изгибные колебания кругового тонкого упругого включения в неограниченном теле. Теорія і практика процесів подрібнення, розділення, змішування і ущільнення. Одеса : ОНМА, 2006. Вип. 12. С. 24–31.

5. Kotsinis G., Chatzaki Z., Gómez E.V., Sotiriadis G. Vibration-Induced Variations in Dynamic Mode I Interlaminar Fracture Toughness. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2025. Vol. 198. Article 109151. DOI: 10.1016/j.compositesa.2025.109151.

УДК 331.45:330.322

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНВЕСТИЦІЙ В ОХОРОНУ ПРАЦІ

Марина Костка

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. М. Курепін,
канд.екон.наук, доцент кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Охорона праці на підприємствах досі розглядається переважно як стаття витрат, тому кошти на неї виділяють за залишковим принципом, а їх результативність майже не оцінюють. Водночас виробничий травматизм і професійні захворювання спричиняють втрати робочого часу, компенсаційні виплати та зниження продуктивності праці. В умовах воєнного стану й дефіциту кадрів збереження життя та здоров'я працівників набуває також економічного значення. Тому виникає потреба в обґрунтуванні економічної ефективності інвестицій в охорону праці та визначенні напрямів її підвищення.

Проблематику охорони праці та її економічного обґрунтування досліджують українські науковці у кількох напрямах: А. Нестер, Л. Мітюк і К. Паршенко [1] проаналізували аудит як інструмент підвищення безпеки працівників, Є. С. Руднєв і Ю. А. Романченко [2] висвітлили соціально-економічний ефект інвестицій в охорону праці на прикладі вугільної галузі, а І. В. Тацій [3] розкрив питання обліку й аналізу витрат на охорону праці. Водночас питання комплексної оцінки економічної ефективності таких інвестицій з урахуванням воєнних ризиків і специфіки окремих галузей, зокрема деревообробної, залишається недостатньо розкритим, що зумовлює актуальність цього дослідження.

Мета дослідження – обґрунтувати економічну ефективність інвестицій в охорону праці та визначити напрями її підвищення на підприємствах в умовах воєнного стану й повоєнної відбудови на основі зіставлення витрат на профілактичні заходи із соціально-економічним ефектом від зниження травматизму та втрат робочого часу.

Інвестиції в охорону праці доцільно розглядати не як вимушені витрати, а як вкладення, що забезпечують збереження трудового потенціалу, стабільність виробничого процесу та зниження непрямих втрат підприємства. До основних напрямів таких інвестицій належать придбання засобів колективного та індивідуального захисту, модернізація обладнання, облаштування укриттів, навчання персоналу, проведення атестації робочих місць і аудит системи управління охороною праці. Основою для оцінювання результативності цих вкладень є повний і достовірний облік витрат, а також визначення очікуваних економічних і соціальних результатів [3].

Економічну ефективність інвестицій в охорону праці визначають шляхом порівняння сумарного економічного ефекту з обсягом витрат на реалізацію відповідних заходів. Ефект формується за рахунок скорочення кількості нещасних випадків і професійних захворювань, зменшення витрат на лікарняні, компенсації та штрафні санкції, зниження простоїв і збереження кваліфікованих кадрів. Показник економічної ефективності можна розрахувати за формулою:

$$E = \frac{E_з}{З},$$

де $E_з$ - річний економічний ефект від упровадження заходів, грн; З — витрати на їх реалізацію, грн.

Інвестиції вважають економічно доцільними, якщо отриманий ефект перевищує витрати на реалізацію заходів, тобто $E > 1$. Строк окупності визначають за формулою $T = З / E_з$. Його значення має відповідати встановленим підприємством критеріям інвестиційної доцільності. Приклад соціально-економічної оцінки таких вкладень на основі прогнозування небезпечних чинників

наведено в роботі [2], де запобігання аварійним ситуаціям розглядається як джерело вимірюваного економічного ефекту.

Отже, інвестиції в охорону праці доцільно розглядати як вкладення, що забезпечують збереження трудового потенціалу та стабільність діяльності підприємства, а їх ефективність визначається зіставленням витрат на профілактичні заходи із сукупним економічним ефектом (скорочення травматизму, втрат робочого часу, компенсацій і простоїв) за показниками економічної ефективності та строку окупності. В умовах війни та повоєнної відбудови їх значення зростає через дефіцит кадрів і додаткові витрати на укриття та навчання, тому результативність вкладень потребує пріоритизації заходів на основі оцінювання ризиків, аудиту охорони праці та моніторингу показників травматизму. Перспективи подальших досліджень пов'язані з удосконаленням методики комплексної оцінки ефективності таких інвестицій з урахуванням воєнних ризиків та розрахунками на прикладі підприємств деревообробної галузі.

Список використаних джерел

1. Курепін В. М. Механізм фінансування та громадської участі в забезпеченні заходів безпеки на локальному та регіональному рівнях. Modern Economics. 2026. № 55(2026). С. 153-161. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V55(2026)-21.

2. Курепін В. М., Сухорукова А. Л. Державне управління формуванням механізму економічного функціонування туристичної індустрії в умовах євроінтеграції України. Маркетингові та організаційні механізми повоєнного розвитку галузі гостинності та туризму України : монографія. Харків : Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2026. С. 227-240. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/23901.

3. Іваненко В. С. Шляхи виживання та розвитку українського бізнесу під час воєнного стану. Економіко-правові аспекти господарювання: сучасний стан, ефективність та перспективи : матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, ОНЕУ, 10-11 жовтня 2025 р.). Одеса, 2025. С 595-598. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22542.

4. Іваненко В. С. Макроекономічні аспекти економічної безпеки підприємств аграрного профілю. Управління механізмами гарантування фінансово-економічної безпеки соціально-економічних систем різних рівнів функціонування : матеріали IV всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Миколаїв; 26–28 листопада 2025 р.). Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 27-28. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/23929.

5. Курепін В. М., Зубєхіна-Хайят О. В. Механізми антикризового управління як основа адаптації бізнесу до турбулентного середовища. Modern Economics. 2025. № 54(2025). С. 95-103. DOI:https://doi.org/10.31521/modecon.V54(2025)-13.

6. Іваненко В.С. Сталий розвиток громад: економічні імперативи та стратегічні орієнтири. Розвиток територіальних громад: правові, економічні та соціальні аспекти : матеріали V міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 3 грудня 2025 р.). Миколаїв: МНАУ, 2025. С. 40-43. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/23691.



Тематичний напрям № 3
Штучний інтелект, машинне навчання та інтелектуальний аналіз даних

UDC 004.93

SOFTWARE ARCHITECTURE OF A SYSTEM FOR AI-GENERATED IMAGE DETECTION BASED ON THE XCEPTION NETWORK

Vladyslav Rogachko
National University «Odesa Polytechnic» Odesa, Ukraine

Abstract: The paper specifies a software architecture for a system that detects AI-generated images using a configured Xception network. Because the discriminative evidence in this problem consists of low-amplitude generation artifacts, the software architecture is subject to correctness requirements that are not typically encountered in conventional image-classification systems. Three design principles are formulated; based on them, the system is decomposed into four components with stable interfaces. The architectural decisions dictated by the problem are summarized in a table, and the anti-patterns prevented by the proposed architecture are analyzed.

Introduction. Generative models can synthesise images that are virtually indistinguishable from real photographs. This capability introduces information-security risks and creates a need for automated detection of AI-generated visual content. The problem is formulated as a binary classification task: given an input image, the system estimates the probability that the image belongs to the class of AI-generated images [1]. A distinguishing characteristic of this problem is that the discriminative evidence is represented by low-amplitude, generation-specific artifacts in the texture and frequency characteristics of the image rather than by its semantic content [2]. This characteristic has direct implications for the software architecture: any inconsistency in image representation or processing along the execution path may alter or eliminate the evidence on which the classification decision depends.

The Xception network [3] is a suitable baseline for the problem. Its depthwise separable convolutions factorise a standard convolution into depthwise and pointwise operations, model spatial and cross-channel correlations independently and reduce the number of trainable parameters while preserving representational capacity. Weights pretrained on a large-scale corpus transfer to the problem because the lower layers encode edges, textures and colour gradients common to most computer vision problems [4]. Configuring the network for detection means structural tuning of its classification stage together with transfer learning.

Network configuration, however, represents only one development activity within the complete system. Data preparation, input validation, dataset integrity verification, model serialisation, experiment and run management, configuration management, and delivery of the trained model to the end user constitute a substantial part of the supporting software. These components directly affect maintainability, reproducibility, testability, and the cost of subsequent modifications. Technical debt arising in this supporting code when it is treated as secondary to model development has been documented in the software-engineering literature on machine-learning systems [5]. In contrast, publications on AI-generated image detection typically describe the neural-network architecture and report experimental performance, while providing little or no specification of the software architecture responsible for data processing, model execution, experiment management, and model delivery.

Aim. The aim of this paper is to specify a software architecture for a system that solves the AI-generated image detection problem with a configured Xception network: to state the design principles, to derive the decomposition into components and the interfaces between them, to identify the architectural

decisions that the problem itself dictates, and to name the anti-patterns that the architecture is intended to prevent.

Materials and methods. Three design principles drive the decomposition [6]. The first is separation of concerns by execution cost: normalising a large collection and training the network are measured in hours, recomputing a performance measure in seconds, so a component boundary is placed wherever re-execution would be expensive. The second is loose coupling through persistent interfaces: components exchange files and no component imports another, which yields a batch-sequential style over a shared repository and allows any component to be re-executed, reimplemented or relocated without invalidating the outputs of its predecessors. The third is a single source of truth: every rule obeyed by more than one component — the image preprocessing above all — has exactly one definition. For AI-generated image detection the third principle is a correctness requirement and not merely a maintainability one.

Component decomposition. The principles yield four components and the artefacts they exchange (Fig. 1). The implementation platform is Python: the network is configured and trained with a deep learning framework [7] through its high-level API [8], the performance measures are computed with a general machine learning library [9], and the inference service is built on a browser-oriented framework [10].

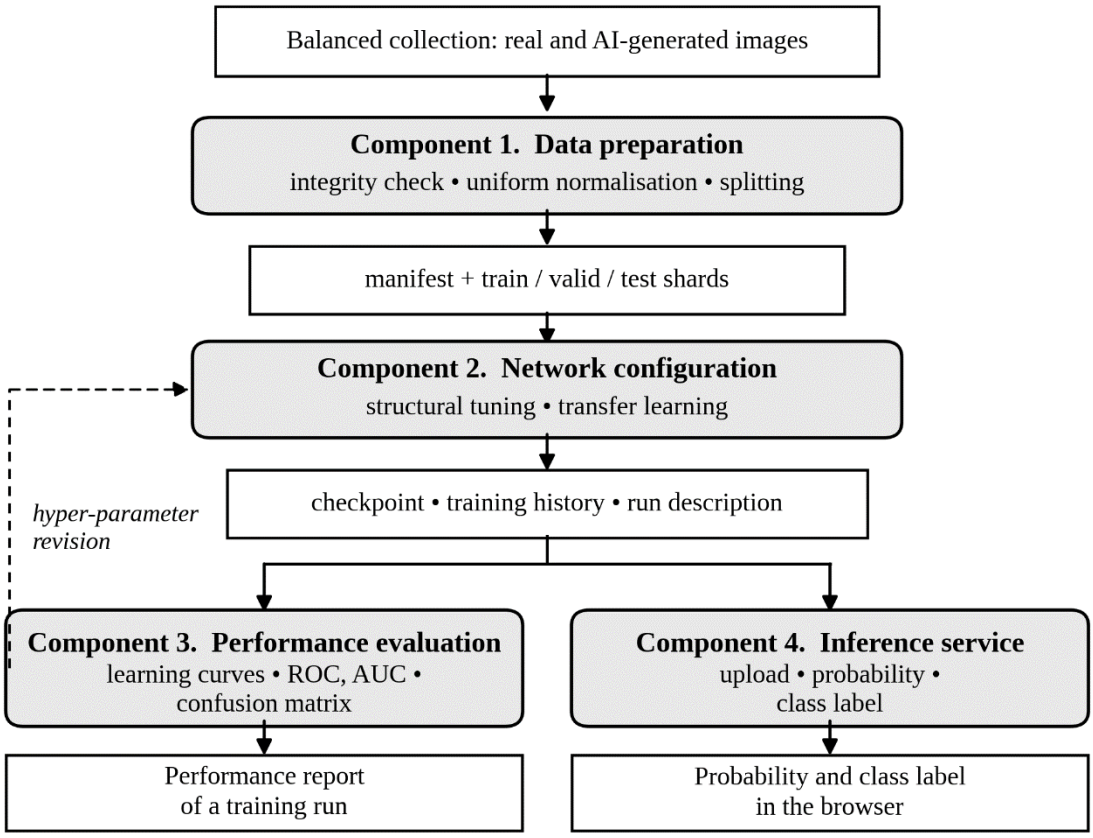


Fig. 1. Component decomposition of the software and the artefacts exchanged between the components.

Data preparation component. The component enumerates the balanced collection of real and AI-generated images, assigns to every image its class label, and verifies file integrity: each file is opened, its internal structure is parsed, and whatever cannot be decoded is logged and excluded. A collection assembled from several corpora invariably contains truncated files, and performing this verification once is cheaper than a decoder exception that aborts a training run after several hours.

Normalisation, ordinarily a routine activity, is the critical one in this problem. Unifying the geometry to the input resolution of the configured network and scaling the pixel values to the interval [0, 1] alter the very statistics on which the decision rests, so the operations must be identical for both classes: one resampling filter, one target resolution, one container format and one quality setting for the whole collection. If the two classes arrive in different formats or at different resolutions and are normalised differently, the classifier

learns the handling instead of the origin. This is a data leakage defect in the architectural sense: the class label reaches the network through a channel other than the image content, and the reported performance figures become meaningless. The decisions this consideration fixes are collected in Table 1.

The normalised collection is shuffled once and split into training, validation and test subsets in the proportion 70/20/10, and the prepared images are serialised into a small number of large sequential containers rather than kept as separate files: at a scale of hundreds of thousands of images, sequential access is what determines whether an epoch lasts minutes or hours. The split itself is recorded in a separate manifest that lists the records and the subset each belongs to, rather than being frozen into the containers; the manifest is the artefact that documents the absence of leakage between subsets and permits the proportions to be revised without regenerating the collection.

Network configuration component. The input pipeline is composed as a chain of parallel reading, caching, shuffling, parallel decoding, batching and prefetching. The decoding routine restores the tensor, sets its shape explicitly, since a deserialised tensor carries none, and applies the normalisation prescribed by the backbone.

Configuration proper consists of structural tuning and transfer learning. Structural tuning replaces the classification stage of the base architecture: the pooled feature maps are converted into a one-dimensional vector by a Flatten layer, a Dropout layer with a rate of 0.5 regularises the representation [11], an intermediate Dense layer with ReLU activation learns nonlinear combinations of the discriminative features, and a single-neuron Dense output layer with Sigmoid activation estimates the probability of the AI-generated class. Binary cross-entropy serves as the loss function, and an adaptive optimiser [12] is used for weight optimisation.

Training is organised in two stages within one executable. During the frozen-weights stage the base layers are fixed and only the new classification head is trained, so that a randomly initialised head does not disturb the pretrained filters with large initial gradients — a material risk in this problem, since those filters are what responds to the discriminating texture. During the fine-tuning stage all layers are unfrozen and jointly optimised until early stopping halts the run. Every run is written into a directory of its own holding the checkpoint, the per-stage training history and a description of the configuration; this journal is the traceability mechanism of the system, and without it a series of experiments cannot be reconstructed afterwards. The hyper-parameters are held in a configuration file read by this component and by the next one, rather than as literals in the source.

Performance evaluation component. Separated from training because it is cheap and re-executed often, the component reloads the checkpoint and the stored histories, joins the two stages into continuous learning curves and marks the epoch at which the base layers were unfrozen, the effect of that transition being easy to misread when the curves are presented apart. Inference over the test subset is performed once and the predicted probabilities are persisted before any threshold is applied. The evaluation is thereby made threshold-independent: the ROC curve, the AUC, the operating point and the confusion matrix are recomputed in seconds, whereas repeating inference over tens of thousands of images costs hours. Selection of the operating point requires separate attention, because the costs of the two error types are not symmetric - classifying an authentic photograph as AI-generated is the more damaging outcome - and a single accuracy figure conceals that asymmetry.

Inference service component. The component loads the artefact produced by training and returns the verdict to the user; delivery through a browser removes any installation requirement on the client side. The model is loaded once per session rather than once per request, and the predicted probability is reported alongside the class label, a value near the operating point being a different statement from a confident one. One rule governs this component above all others: the preprocessing it applies must be the same function that was used during training, imported from the shared module, and not an independent reimplementation.

Results and discussion. Table 1 collects the architectural decisions that the AI-generated image detection problem itself dictates, together with the rationale for each; everything outside that list is ordinary engineering and may be reused from any other image processing system. The architecture repays its cost where the components are genuinely expensive to execute; for a collection of a few thousand images that

trains in minutes, four executables and an intermediate format are an unnecessary ceremony. Its value grows with the execution time of the components and with the number of configurations to be compared.

Table 1 Architectural decisions dictated by the detection problem.

Element	Decision	Rationale
Geometry and resampling	one target resolution and one filter for both classes	rescaling alters the statistics that carry the decision
Re-encoding	one container format and one quality setting	otherwise compression traces become the discriminative feature
Classification stage	Flatten, Dropout, Dense with ReLU, single-neuron Dense with Sigmoid	a compact head preserves the pretrained features
Loss function	binary cross-entropy	the output is interpreted as a class probability
Persisted evaluation output	the predicted probabilities, before any threshold	the operating point is selected after inference
Preprocessing	one function shared by training and inference	a divergence is undetectable by offline measurement

Of the anti-patterns the architecture prevents, one is specific to this problem and deserves emphasis. When the preprocessing is implemented once in the training pipeline and a second time in the inference service, the two implementations diverge sooner or later - a different scaling of the pixel values or a different resampling filter is sufficient. For an ordinary classifier the consequence is a modest loss of accuracy; in AI-generated image detection it is worse, because the decision rests on regularities of the same order as the divergence itself, so the deployed system may be reading the artefacts of its own serving path instead of those of the generator. Every offline measurement remains intact, since the offline path never executes the code of the inference service. This training-serving skew is a recognised form of technical debt in machine learning systems [5], and the architectural remedy is the one stated above: a single preprocessing function in a shared module, imported by both paths.

Conclusions. A software architecture has been specified for a system that solves the AI-generated image detection problem by means of a configured Xception network. Three design principles - separation of concerns by execution cost, loose coupling through persistent interfaces, and a single source of truth for every shared rule - yield a decomposition into four components whose boundaries fall where re-execution would be expensive. The distinguishing property of the problem is that the evidence carrying the decision is faint enough to be destroyed by the software itself, which converts the uniform normalisation of the collection and the sharing of a single preprocessing function between training and inference from questions of style into correctness requirements. Further work is seen in extending the architecture to an ensemble of configured backbones and to periodic retraining as new generative models appear.

References

1. J. J. Bird and A. Lotfi. CIFAKE: Image Classification and Explainable Identification of AI-Generated Synthetic Images. IEEE Access, vol. 12, pages 15642–15650, 2024.

2. F. Marra, D. Gragnaniello, L. Verdoliva, and G. Poggi. Do GANs Leave Artificial Fingerprints? In IEEE Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR), pages 506–511, 2019.

3. F. Chollet. Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pages 1251–1258, 2017.

4. J. Yosinski, J. Clune, Y. Bengio, and H. Lipson. How Transferable Are Features in Deep Neural Networks? In Advances in Neural Information Processing Systems, volume 27, pages 3320–3328, 2014.

5. D. Sculley, G. Holt, D. Golovin, et al. Hidden Technical Debt in Machine Learning Systems. In Advances in Neural Information Processing Systems, volume 28, pages 2503–2511, 2015.

6. L. Bass, P. Clements, and R. Kazman. Software Architecture in Practice. 4th edition. Addison-Wesley, Boston, 2021, 464 pages.

7. M. Abadi, P. Barham, J. Chen, et al. TensorFlow: A System for Large-Scale Machine Learning. In Proceedings of the 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI), pages 265–283, 2016.

8. Keras API documentation [Electronic resource]. URL: https://keras.io/.

9. F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python. Journal of Machine Learning Research, vol. 12, pages 2825–2830, 2011.

10. Streamlit documentation [Electronic resource]. URL: https://docs.streamlit.io/.

11. N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever, and R. Salakhutdinov. Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting. Journal of Machine Learning Research, vol. 15, pages 1929–1958, 2014.

12. T. Dozat. Incorporating Nesterov Momentum into Adam. In International Conference on Learning Representations, Workshop Track, 2016.

УДК 004.932

QUATERNION CONVOLUTIONS IN LARGE-MASK IMAGE INPAINTING

Дмитро Колодочка, Марина Полякова

Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

Introduction. Image inpainting is the process of restoring missing or corrupted image regions so that the result is visually plausible and semantically consistent with its surroundings. The problem splits into two broad regimes. In large-mask inpainting the unknown regions are wide and reconstruction depends on long-range propagation of structure and color. In the fine-grained missing-pixel regime many pixels are absent but the gaps between known pixels stay small. Large-mask inpainting is the harder and more practically relevant case: it is used in tasks like object removal, film rig removal, and region editing in generative systems, where large gaps require semantic reconstruction of background, geometry, and lighting rather than simple texture copying.

Recent quaternion inpainting work covers different missing-pattern regimes: Miao et al. [1] study a matrix-completion setting with evenly distributed missing pixels and small local gaps, while Wang et al. [2] explore hole-like masks closer to large-mask inpainting. Building on that direction, we study quaternion convolution (QConv) inside a LaMa-style architecture rather than a standard QConv GAN, and push the evaluation toward larger mask gaps. We chose LaMa-Fourier because its Fast Fourier Convolution (FFC) design [3] targets wide missing regions and global context, making it a good baseline for studying QConv beyond local completion.

QConv treats RGB information as a coupled entity rather than three independently mixed scalar channels. This may improve color consistency in broad smooth regions, but stronger channel coupling may reduce the flexibility needed for fine local texture. We therefore expect to measure a trade-off between color consistency and texture detail.

Aim. The aim of this work is to introduce selective QConv components into a LaMa-Fourier generator and to measure their effect on reconstruction quality, inference speed, and model size. Training stays fixed. Only the locations at which QConv replaces standard convolutions in the up-scaling, down-scaling, and local FFC paths are varied. We report FID, LPIPS, PSNR, SSIM, parameter count, throughput, and qualitative behavior on thin, medium, wide, and ultrawide masks, against a LaMa-Fourier baseline trained under the same data and optimization settings.

Materials and methods. The baseline generator follows LaMa's FFC design, which is strong for large-mask completion because global context is injected early through Fourier operators [3]. The LaMa-Fourier generator (Fig. 1) takes a three-channel masked image and a binary mask, uses a 7x7 convolution that lifts the input to 64 channels, downsamples through three 2D convolutions, processes the result with a stack of residual FFC blocks, upsamples through three transpose convolutions, and shrinks the image back to 3 channels with a 7x7 transpose convolution. Each FFC block splits features into local and global branches

and applies Fourier transform in the global branch. The path-specific modules LocalConvLayer, UpsampleConvLayer, DownsampleConvLayer are the blocks we vary across variants.

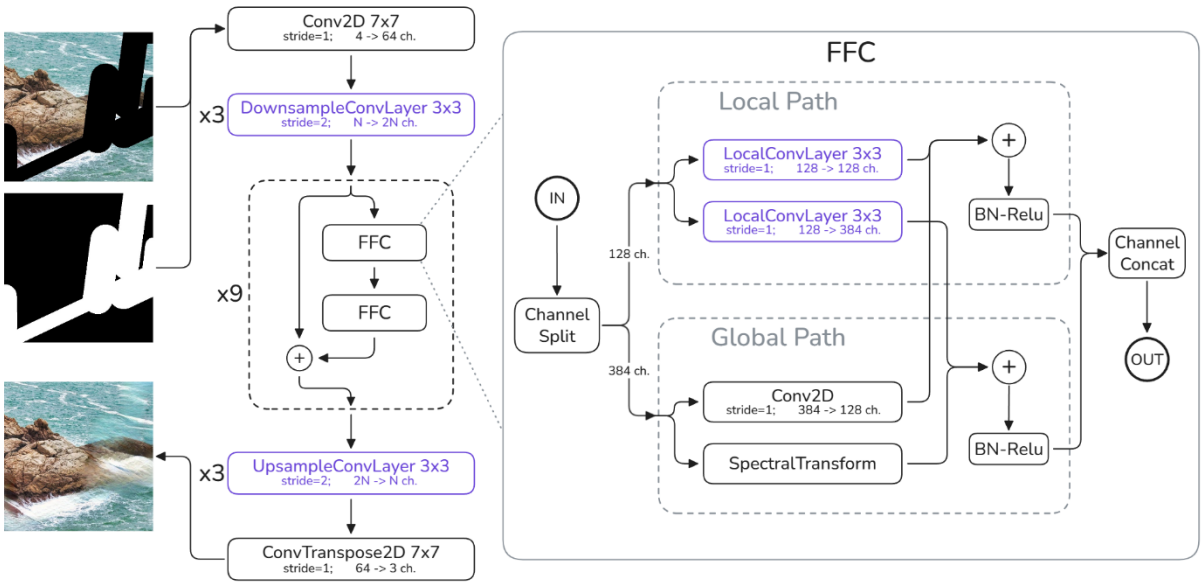


Fig. 1. Generator architecture. The Downsample, Upsample, and Local convolution layers vary across model variants.

Quaternion convolution. A quaternion is a hypercomplex number $q = q_0 + q_1 i + q_2 j + q_3 k$ with one real part and three imaginary parts, where i, j, k are the imaginary units of the quaternion algebra. The product of two quaternions is the Hamilton product, which mixes all four components. For $y = qx$ the four output components are:

$$y_0 = q_0 x_0 - q_1 x_1 - q_2 x_2 - q_3 x_3$$
$$y_1 = q_0 x_1 + q_1 x_0 + q_2 x_3 - q_3 x_2$$
$$y_2 = q_0 x_2 + q_2 x_0 + q_3 x_1 - q_1 x_3$$
$$y_3 = q_0 x_3 + q_3 x_0 + q_1 x_2 - q_2 x_1$$

A quaternion convolution [4] applies this coupling between four real-valued kernels and four input channel groups, so every kernel component interacts with every input component. This captures structured cross-channel dependencies that standard real-valued convolution does not model directly. It is also parameter-efficient: a quaternion layer learns only four kernels and defines the rest algebraically, reducing the parameter count.

Our quaternion convolutions implementation groups feature channels into tuples of four real channels, following the standard decomposition used in deep quaternion networks [5], so any tensor processed by a QConv layer must have a channel count divisible by four. Each layer is parameterized by four real-valued kernels coupled through the Hamilton product.

Training setup. We keep the training setup fixed and modify only the locations at which QConv replaces standard convolutions. LaMa-Fourier is the baseline with standard Conv2D/ConvTranspose2D modules, and each QConv variant changes a specific routing choice: Q-Up (QConv in UpsampleConvLayer only); Q-Down (DownsampleConvLayer only); Q-Local (LocalConvLayer only); Q-UpDown (UpsampleConvLayer and DownsampleConvLayer); and Q-DownLocal (DownsampleConvLayer and LocalConvLayer).

Training used the 1.44M-image training split of Places365 with runtime validation on the remaining split. All models were trained by us on random 256x256 crops resampled each epoch, with a batch size of 30 for 16 epochs, using the same discriminator, loss computation and hyperparameters as the original LaMa study, with learning rates of $lr_G = 10^{-3}$ and $lr_D = 10^{-4}$ for generator and discriminator respectively. The

LaMa-Fourier baseline was trained and evaluated on this dataset, rather than taken from a published checkpoint.

Evaluation setup. For final evaluation we used a separate fixed set of 1000 images randomly sampled from the LHQ-1024 dataset. For each mask preset, every image is processed with 9 pre-generated masks. FID is reported over those image-mask pairs and PSNR, SSIM, and LPIPS are aggregated over them, computed on the full output against the full ground truth using each run's last checkpoint. Masks were generated in four presets that differ mainly in target coverage and stroke width: thin (narrow irregular masks, 20-30% area), medium (irregular and box masks, 35-45%), wide (larger strokes, 50-60%), and ultrawide (70-80%). Examples are shown in Fig. 2.

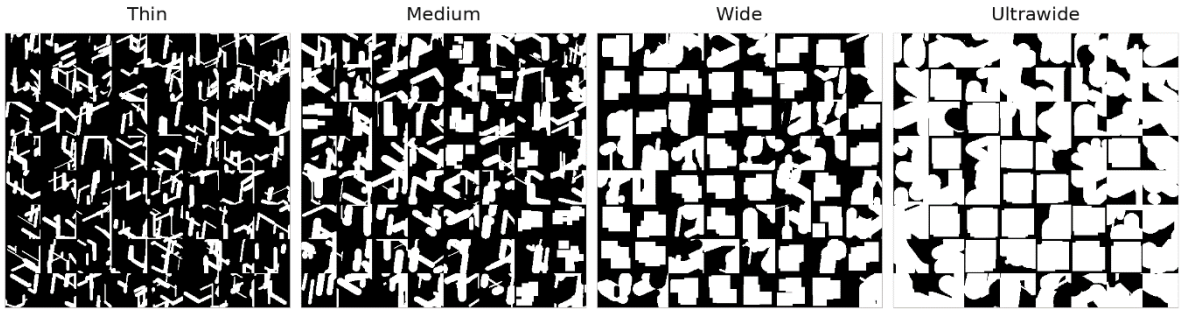


Fig. 2. Example masks for the four evaluation presets. 64 masks per image.

Results and discussion. Tables 1 and 2 report the metrics for each variant on 256x256 images, broken down by mask preset. Throughput is the mean batch-size-1 forward speed measured over 256 timed passes on an Intel Core i7-13700K CPU and a single NVIDIA RTX 4080 SUPER GPU workstation. Compared to LaMa-Fourier, every QConv model uses fewer parameters, is slower, and has lower PSNR. FID worsens on thin and medium masks and improves on ultrawide masks; on wide masks only the local-path models improve. SSIM rises for the scale-path placements and falls when QConv is used in the local path.

Table 1. FID, LPIPS, parameters, and throughput per variant and mask preset.

Model	FID Thin	FID Med	FID Wide	FID Ultra	LPIPS Thin	LPIPS Med	LPIPS Wide	LPIPS Ultra	Params M	Speed img/s
LaMa-Fourier	**8.21**	**14.98**	37.50	84.32	**0.087**	0.161	0.266	0.417	27.05	**37.58**
Q-Up	10.43	18.66	38.54	74.20	0.091	0.165	0.272	0.422	25.89	35.49
Q-Down	9.12	16.08	38.56	81.19	0.092	0.162	**0.261**	**0.400**	25.89	36.58
Q-Local	8.47	15.43	**34.99**	73.96	0.090	0.164	0.270	0.426	19.08	27.47
Q-UpDown	10.56	18.64	37.82	78.60	0.095	0.169	0.276	0.433	24.73	33.08
Q-DownLocal	8.49	16.17	36.49	**69.99**	**0.087**	**0.160**	0.273	0.443	**17.92**	24.67

Table 2. PSNR and SSIM per variant and mask preset.

Model	PSNR Thin	PSNR Med	PSNR Wide	PSNR Ultra	SSIM Thin	SSIM Med	SSIM Wide	SSIM Ultra
LaMa-Fourier	**27.42**	**24.07**	**20.91**	**17.76**	0.877	0.796	0.691	0.553
Q-Up	27.09	23.86	20.68	17.58	**0.885**	**0.805**	**0.703**	**0.567**
Q-Down	27.04	23.90	20.83	17.74	0.881	0.800	0.697	0.559
Q-Local	27.13	23.94	20.84	17.68	0.870	0.789	0.684	0.534
Q-UpDown	26.72	23.63	20.59	17.39	0.876	0.795	0.693	0.551
Q-DownLocal	27.33	23.99	20.54	17.01	0.884	0.802	0.695	0.541

Q-Up worsens FID and LPIPS but raises SSIM the most. Q-Local reaches the best wide-mask FID and lowers SSIM on every preset. Q-Down improves SSIM and is the only model that improves LPIPS on wide and ultrawide masks. Q-DownLocal shows the lowest ultrawide-mask FID and the smallest parameter count, with the largest speed and PSNR cost.

The qualitative samples show a trade-off in high and low frequency image detail (Fig. 3). Up-scaling QConv often introduces grid-like structures and blurrier reconstructions near image boundaries, and local-path QConv degrades texture further. Up-scaling QConv can still produce more coherent color in smooth regions such as sky. Q-Down shows the strongest behavior: it reconstructs straighter large structures interrupted by wide masks and preserves color continuity over large missing areas. Q-Up sometimes introduces a weak color tint into muted regions.

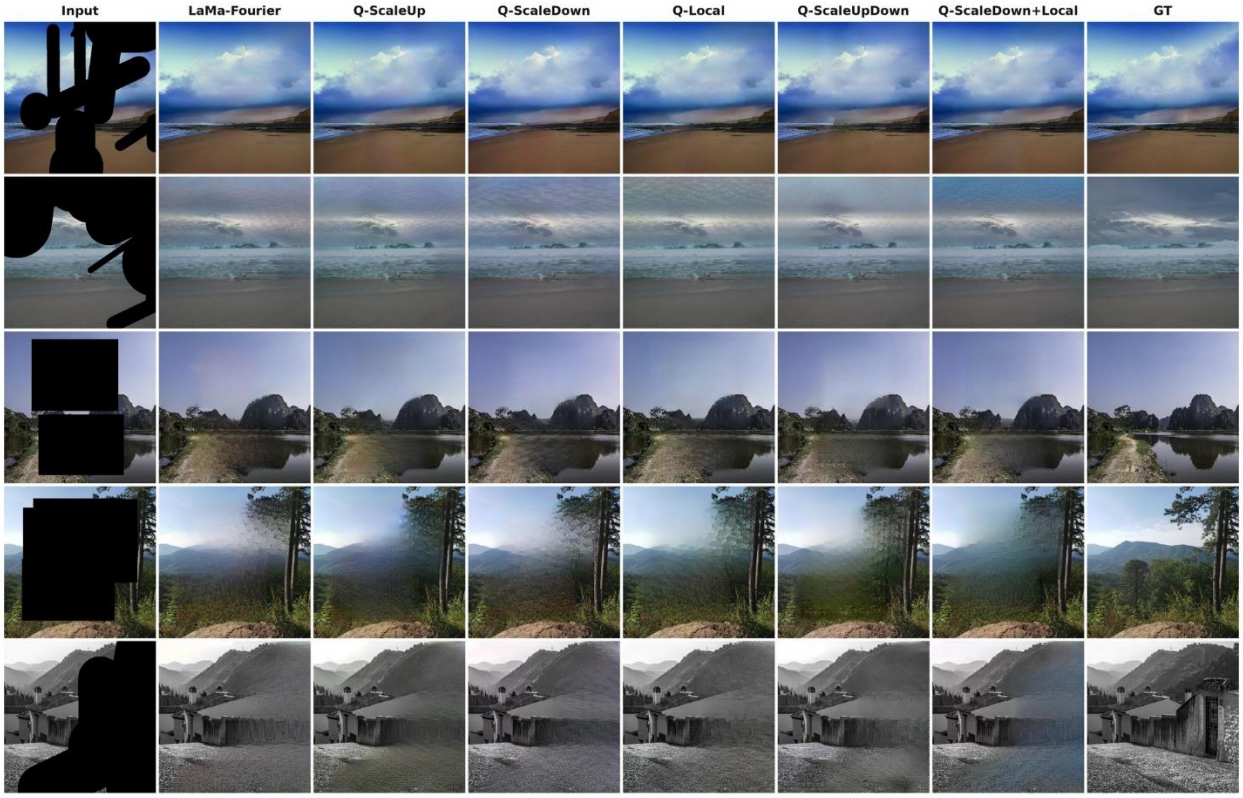


Fig. 3. Wide-mask result samples for baseline and studied model variants.

Taken together, the outcome depends on placement. Q-Down is the strongest large-mask placement, while Q-Up gives the highest SSIM and is weaker on FID and LPIPS. Q-DownLocal cuts the most parameters and is the slowest. Fewer parameters make QConv attractive for memory-constrained, non-real-time deployments. The main limitations are a single training regime inherited from LaMa and training on Places365 only. Tuning the loss per variant and validating on additional datasets are promising directions for future work.

Conclusions. Selective QConv integration in LaMa-style inpainting is feasible, and the effect depends on placement. Up-scaling QConv raises SSIM, down-scaling QConv is the most balanced large-mask placement, and local-path QConv improves wider-mask FID while lowering SSIM. The reduced parameter count points to a lower memory footprint, at the cost of slower inference and lower PSNR. The most promising direction is to keep these placement-specific gains while narrowing the LPIPS and PSNR gap.

References

1. Miao J., Kou K. I., Yang L., Han J. Quaternion matrix completion using untrained quaternion convolutional neural network for color image inpainting. arXiv.org. 2023. URL: https://arxiv.org/abs/2305.00416 (дата звернення: 16.06.2026).

2. Wang D., Zhu D., Zhao M., Jia Z. Quaternion generative adversarial neural networks and applications to color image inpainting. arXiv.org. 2024. URL: https://arxiv.org/abs/2406.11567 (дата звернення: 16.06.2026).

3. Suvorov R., Logacheva E., Mashikhin A. et al. Resolution-robust large mask inpainting with Fourier convolutions. Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). Waikoloa, 2022. P. 2149–2159.

4. Zhu X., Xu Y., Xu H., Chen C. Quaternion convolutional neural networks. Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV). Munich, 2018. P. 631–647.

5. Gaudet C. J., Maida A. S. Deep quaternion networks. 2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). Rio de Janeiro, 2018. P. 1–8.

УДК 338.48:004.8

ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У СФЕРІ ГОСТИННОСТІ

Дар'я Гречко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Сучасна індустрія гостинності активно трансформується під впливом цифрових технологій. Готелі, ресторани та інші підприємства сфери гостинності використовують електронні системи бронювання, мобільні сервіси, автоматизовані системи управління, CRM-технології, чат-боти та засоби аналізу даних. Особливого значення набуває штучний інтелект (ШІ), можливості якого дозволяють автоматизувати окремі операції, аналізувати значні масиви інформації та вдосконалювати взаємодію з гостями.

Використання ШІ у сфері гостинності має не лише технологічний та економічний, а й психологічний вимір. Результативність упровадження інтелектуальних технологій значною мірою залежить від того, як їх сприймають гості та працівники. Особливого значення набувають довіра до технології, готовність взаємодіяти з автоматизованими системами, ставлення до заміщення традиційного обслуговування цифровим, а також психологічна адаптація персоналу до технологічних змін.

Одним із ключових психологічних чинників прийняття ШІ споживачами є довіра. Дослідження O. H. Chi, C. G. Chi, D. Gursoy та R. Nunkoo показує, що довіра до взаємодії з роботами на основі ШІ істотно впливає на намір клієнтів користуватися такими технологіями у сфері гостинності [1]. Отже, впровадження ШІ потребує не лише технічної надійності системи, але й формування позитивного користувацького досвіду та зрозумілої взаємодії між клієнтом і технологією. Водночас технологічна зручність не усуває потреби в людському компоненті обслуговування. Для сфери гостинності важливо поєднувати можливості автоматизації з професійною комунікацією персоналу, особливо коли ситуація потребує індивідуального підходу, пояснення або емоційної підтримки гостя. Такий підхід дає змогу використовувати переваги цифрових технологій без повної заміни безпосередньої взаємодії між працівником і клієнтом.

Використання ШІ в закладах індустрії гостинності також пов'язане з автоматизацією бізнес-процесів. Н. А. Антошкова, Л. О. Гризовська та Н. В. Прилепа розглядають ШІ як технологію автоматизації закладів готельно-ресторанного бізнесу та підкреслюють його роль в інтеграції інформаційних систем і технологій підприємств гостинності [2]. Автоматизовані системи доцільно використовувати для стандартизованих і повторюваних операцій, тоді як у нестандартних і конфліктних ситуаціях особливого значення набувають індивідуальний підхід, гнучкість комунікації та людська взаємодія.

Окремим напрямом використання ШІ є персоналізація обслуговування. Ю. О. Шейко визначає штучний інтелект як перспективний інструмент персоналізації послуг індустрії гостинності та розглядає його використання для кращого розуміння і задоволення потреб клієнтів на різних етапах обслуговування [3]. Цифрові системи можуть опрацьовувати інформацію про попередню взаємодію

клієнта з підприємством, його замовлення та вибір послуг, що створює можливості для адаптації пропозицій до потреб конкретного гостя.

Штучний інтелект впливає не лише на клієнтів, але й на працівників індустрії гостинності. Автоматизація змінює зміст окремих професійних функцій і потребує опанування нових цифрових компетентностей. При цьому технологічні зміни можуть викликати психологічну невпевненість щодо майбутнього робочого місця. J. J. Li, M. A. Bonn та B. H. Ye встановили, що сприйнята працівниками готелів невпевненість у зайнятості, пов'язана із ШІ, істотно впливає на залученість у роботу та опосередковано — на намір звільнитися [4]. Отже, цифрова трансформація потребує уваги не лише до технічної підготовки персоналу, але й до психологічного сприйняття організаційних змін.

Психологічна адаптація персоналу до цифрових змін передбачає зрозуміле пояснення ролі нових технологій, навчання працівників і формування впевненості у використанні цифрових інструментів. Це особливо важливо з огляду на результати досліджень, які пов'язують сприйняття ШІ працівниками готелів із невпевненістю у зайнятості, залученістю в роботу та намірами щодо звільнення [4]. Психологічний аспект упровадження штучного інтелекту визначається насамперед характером взаємодії людини з технологією. Для працівників сфери гостинності важливими є адаптація до нових цифрових інструментів, готовність до професійних змін, розвиток цифрової компетентності, критичного мислення та здатності контролювати результати роботи штучного інтелекту. Водночас надмірна технологізація може зменшувати безпосередню міжособистісну взаємодію, що потребує збереження балансу між автоматизованими сервісами та людським спілкуванням.

Таким чином, підготовка майбутніх фахівців готельно-ресторанної справи повинна передбачати розвиток не лише професійних, але й цифрових та комунікативних компетентностей. Підвищення рівня інтелектуальних і емоційних компетентностей має стати пріоритетом у навчальних закладах, оскільки це не лише покращує навчальні результати, але й сприяє формуванню ефективних професійних та соціальних навичок[5]. Працівник має розуміти можливості ШІ, уміти використовувати цифрові інструменти у професійній діяльності та водночас зберігати ті складові обслуговування, у яких особливого значення набуває безпосередня міжособистісна взаємодія.

Отже, застосування штучного інтелекту у сфері гостинності має виражений психологічний аспект. Для клієнтів важливими чинниками є довіра до технології, готовність взаємодіяти з автоматизованими системами та збереження можливості людського контакту. Для персоналу впровадження ШІ пов'язане з необхідністю професійної адаптації, опанування нових компетентностей, а також із такими психологічними чинниками, як невпевненість у зайнятості. Ефективною моделлю цифрової трансформації сфери гостинності є поєднання можливостей ШІ з професійними та комунікативними компетентностями персоналу, що дозволяє використовувати переваги автоматизації, не втрачаючи значення людської взаємодії у формуванні досвіду гостя. Перспективним напрямом подальших досліджень є вивчення психологічної готовності персоналу й споживачів до взаємодії зі ШІ, впливу автоматизації на професійну мотивацію працівників, довіру клієнтів та якість міжособистісної комунікації у сфері гостинності.

Список використаних джерел

1. Chi O. H., Chi C. G., Gursoy D., Nunkoo R. Customers' acceptance of artificially intelligent service robots: The influence of trust and culture. International Journal of Information Management. 2023. Vol. 70. Art. 102623. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2023.102623.

2. Антошкова Н. А., Гризовська Л. О., Прилепа Н. В. Штучний інтелект як технологія автоматизації закладів індустрії гостинності: сучасні тенденції та перспективи. Інновації та технології в сфері послуг і харчування. 2025. № 2 (16). С. 81–86. DOI: 10.32782/2708-4949.2(16).2025.13.

3. Шейко Ю. О. Штучний інтелект як інструмент персоналізації послуг індустрії гостинності. Економіка та суспільство. 2024. № 64. DOI: 10.32782/2524-0072/2024-64-68.

4. Li J. J., Bonn M. A., Ye B. H. Examining the impact of artificial intelligence on hotel employees through job insecurity perspectives. International Journal of Hospitality Management. 2021. Vol. 95. Art. 102763. DOI: 10.1016/j.ijhm.2020.102763.

5. Короленко В. Л., Мардзявко К. О., Гула Л. В., Улітіна К. А. Психологія інтелекту: теорії вимірювання інтелекту та роль у різних сферах життя. Перспективи та інновації науки. 2026. № 4(62). С. 3765-3773. URL:https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-4(62)-3765-3773.

UDC 621.391.8:004.89

APPLICATION OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR AUTOMATIC MODULATION CLASSIFICATION OF RADIO SIGNALS

Daria Mazurenko

Institute of Special Communications and Information Protection,
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
Kyiv, Ukraine

Language adviser: Yefimova O. M., PhD in Pedagogy
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Introduction and Problem Relevance. The rapid advancement of modern wireless telecommunications, the exponential increase in Internet of Things (IoT) devices, and the intensive utilization of electromagnetic spectrum have led to unprecedented congestion in the radio frequency environment. In contemporary civilian and tactical radio communications, cognitive radio systems, and electronic surveillance, radio environments are characterized by high signal density, non-cooperative transmissions, dynamic frequency sharing, and severe channel distortions. Under these conditions, the receiver often possesses no prior knowledge regarding the parameters of incoming emissions, such as carrier frequency, symbol rate, pulse-shaping filters, or modulation scheme.

Automatic Modulation Classification (AMC) functions as a crucial intermediate processing step situated between signal detection and subsequent demodulation or intelligence analysis. Traditional demodulators require exact knowledge of the modulation type to configure matched filters and recovery loops. AMC algorithms enable non-cooperative receivers, cognitive transceivers, and spectrum monitoring stations to recognize transmitted signal formats autonomously. Achieving real-time, highly accurate modulation identification under hostile propagation conditions-characterized by low Signal-to-Noise Ratio (SNR), fading channels, and active jamming-is a foundational requirement for modern electronic communications and radio intelligence.

Limitations of Conventional Approaches. Historically, AMC algorithms have been categorized into two principal methodologies: Likelihood-Based (LB) decision approaches and Feature-Based (FB) pattern recognition techniques. Likelihood-based methods, including the Average Likelihood Ratio Test (ALRAT), Generalized Likelihood Ratio Test (GLRT), and Hybrid Likelihood Ratio Test (HLRT), treat modulation classification as a formal composite hypothesis testing problem. While LB techniques are theoretically optimal in the sense of minimizing classification error probability in additive white Gaussian noise (AWGN) channels, they exhibit severe computational complexity. The evaluation of multi-dimensional likelihood functions requires intensive numerical integration over unknown parameters such as phase jitter, timing offsets, and channel gains, rendering real-time execution intractable on embedded receivers. Furthermore, LB algorithms suffer from extreme sensitivity to channel modeling mismatches.

Conversely, feature-based methods extract hand-crafted expert statistical features from intercepted signals and utilize classical decision trees, spectral thresholding, or shallow classifiers (such as support vector machines or k-nearest neighbors). Key extracted descriptors include instantaneous amplitude, instantaneous phase, instantaneous frequency, higher-order statistics (HOS), and cyclic cumulants (such as fourth- and sixth-order cumulants C40, C42, and C63). Although FB algorithms offer significantly reduced computational complexity compared to likelihood formulations, their diagnostic reliability degrades abruptly

at low SNR regimes (below 0 dB). Moreover, hand-crafted features are highly susceptible to carrier frequency offsets (CFO), symbol timing jitter, and non-stationary multipath fading, demanding extensive domain expertise and manual recalibration for every newly introduced modulation format.

Deep Learning Framework and Data Representation. Over the past decade, the paradigm of Machine Learning (ML), and specifically Deep Learning (DL), has transformed digital signal processing by replacing manual feature engineering with automated, hierarchical feature extraction directly from empirical data. In deep AMC architectures, neural networks learn optimal invariant representations straight from intercepted digitized radio waveforms. The performance of deep learning AMC is intrinsically linked to the domain representation of input radio signals.

Three primary signal representation formats are widely employed in machine learning pipelines: raw time-domain In-phase and Quadrature (I/Q) complex sequences, time-frequency distributions, and spatial constellation diagrams. Raw I/Q data representation forms a two-dimensional tensor of dimensions $2 \times N$, preserving complete amplitude and phase trajectory information without information loss caused by heuristic pre-processing. Time-frequency representations, obtained via the Short-Time Fourier Transform (STFT), Continuous Wavelet Transform (CWT), or Wigner-Ville Distribution (WVD), map non-stationary radio signals into two-dimensional spectral images, highlighting instantaneous spectral energy transitions. Constellation diagrams map clustered complex symbol points onto the complex plane, allowing computer vision models to exploit geometric cluster symmetry characteristic of phase-shift keying (PSK) and quadrature amplitude modulation (QAM).

Architectural Analysis of Deep Neural Networks. Various deep neural network architectures demonstrate distinct inductive biases when processing digitized radio signals. Convolutional Neural Networks (CNN) have emerged as the foundational architecture for modulation classification. When applied to raw I/Q sequences, one-dimensional convolutional filters act as adaptive finite impulse response (FIR) filter banks, automatically synthesizing optimal filtering operations to isolate carrier harmonics, phase transitions, and modulation envelopes. Deep CNN architectures with residual skip connections (ResNet) mitigate the vanishing gradient problem, enabling the extraction of multi-scale abstract features. For two-dimensional time-frequency spectrograms and constellation images, deep 2D CNNs extract shift-invariant spatial patterns, demonstrating robust classification capabilities across analog (AM-DSB, AM-SSB, WFM) and digital (BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM, 64QAM, GFSK, CPFSK) schemes.

Recurrent Neural Networks (RNN), including Long Short-Term Memory (LSTM) networks and Gated Recurrent Units (GRU), are exceptionally well-suited for modeling temporal dynamics and sequential context across successive symbol intervals. While CNNs excel at extracting localized waveform patterns, recurrent networks capture long-range temporal dependencies and phase continuity inherent to continuous-phase modulations and differential encoding schemes. However, recurrent architectures exhibit higher computational latency due to sequential processing bottlenecks.

To synthesize the complementary strengths of spatial filtering and temporal sequence modeling, Convolutional Long Short-Term Deep Neural Networks (CLDNN) integrate cascading convolutional layers, recurrent layers, and fully connected dense layers into a unified pipeline. The front-end convolutional layers perform dimensionality reduction and spatial feature extraction from I/Q sequences, intermediate LSTM layers track sequential symbol transitions over time, and terminal dense layers perform softmax modulation classification. In this pipeline, front-end convolutional layers reduce dimensionality and extract spatial features from I/Q sequences. Subsequently, intermediate LSTM layers capture temporal symbol transitions, while terminal dense layers execute softmax modulation classification. Furthermore, modern Transformer architectures based on multi-head self-attention mechanisms are increasingly adopted, computing global pairwise correlations across all time samples in a signal burst and demonstrating superior resilience against burst interference and localized fading dips.

Robustness, Generalization, and Practical Implementation. The operational deployment of machine learning models in real-world radio environments requires addressing critical generalization challenges. Practical wireless propagation is plagued by physical channel impairments, including Rayleigh and Rician multipath fading, Doppler frequency spreading, Carrier Frequency Offset (CFO) caused by local oscillator instability, and Sampling Rate Offset (SRO) resulting from analog-to-digital converter clock drift. When

deep models are trained exclusively on idealized synthetic datasets (such as AWGN-only channels), their classification performance degrades severely when confronted with physical hardware non-idealities.

To ensure robust generalization, modern training pipelines incorporate comprehensive data augmentation strategies, injecting stochastic CFO shifts, phase rotations, Rayleigh fading profiles, and additive colored noise during the training cycle. Furthermore, domain adaptation techniques and adversarial training frameworks enable neural networks to map radio signals from diverse propagation environments into a shared, domain-invariant latent feature space.

From an implementation standpoint, deploying deep AMC algorithms on Software-Defined Radio (SDR) platforms (e.g., USRP, HackRF) and tactical edge devices necessitates stringent adherence to size, weight, power, and cost (SWaP-C) constraints. High-parameter deep models require significant memory bandwidth and computational throughput. Consequently, model optimization techniques-including INT8 post-training quantization, structural network pruning, and knowledge distillation from large teacher networks into lightweight student models-are vital. These techniques enable real-time inference latencies on the order of several milliseconds on embedded tensor accelerators (such as NVIDIA Jetson or FPGA-based neural processing units) without compromising classification fidelity.

Conclusions. 1. Machine learning and deep neural network algorithms provide a transformative methodology for Automatic Modulation Classification, overcoming the prohibitive computational overhead of likelihood-based tests and the sensitivity of hand-crafted feature-based methods under severe channel impairments.

2. Hierarchical deep architectures-specifically Residual CNNs, CLDNN hybrids, and Self-Attention Transformers-demonstrate superior classification performance directly on raw I/Q time-series samples and time-frequency distributions, achieving robust discrimination across complex analog and digital modulation schemes at low Signal-to-Noise Ratios.

3. Successful operational deployment in cognitive radio, electronic intelligence, and special communication systems hinges on training with augmented non-ideal channel conditions and applying model compression techniques (quantization and pruning) to satisfy strict real-time SWaP-C requirements on embedded software-defined radio platforms.

References

1. Methodological recommendations for improving the level of cyber protection of critical infrastructure objects. Administration of the State Service of Special Communications and Information Protection of Ukraine, 2023. URL: https://cip.gov.ua/1.

2. Закон України про кібербезпеку: Law of Ukraine "On the Basic Principles of Ensuring Cybersecurity of Ukraine" No. 2163-VIII of October 5, 2017. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-192.

3. Закон України про критичну інфраструктуру: Law of Ukraine "On Critical Infrastructure" No. 1882-IX of November 16, 2021. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-202.

УДК 631.559:519.86

ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ КУКУРУДЗИ НА ОСНОВІ БАЙЄСОВСЬКОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК

Ярослав Ставніченко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Є. Ю. Борчик,
к.ф.-м.н., доцент Миколаївський національний аграрний університет

Сучасне сільськогосподарське виробництво залежить від сукупного впливу погодних, ґрунтових та агротехнологічних факторів. Оскільки врожайність сільськогосподарських культур формується під дією багатьох взаємопов’язаних чинників, її прогнозування в умовах невизначеності є складним

завданням. Традиційні статистичні методи потребують достатнього обсягу фактичних даних, які не завжди доступні на рівні окремого господарства. Одним із перспективних підходів до розв'язання цієї проблеми є використання байєсовських мереж - імовірнісних графічних моделей, що дають змогу формалізувати експертні знання, оцінювати невизначеність та аналізувати можливі наслідки різних сценаріїв [1, 2].

Метою роботи є розроблення байєсовської мережі для ймовірнісного прогнозування рівня врожайності кукурудзи та дослідження зміни ймовірностей її рівнів залежно від погодних і агротехнологічних умов.

Для побудови моделі обрано такі фактори: температурний режим, кількість опадів, рівень азотного живлення та фітосанітарний стан посівів. Вихідною змінною моделі є «Урожайність», яка має три дискретні стани: низька, середня та висока.

Для врахування взаємозв'язку погодних факторів і зменшення кількості умовних імовірностей у моделі введено проміжний вузол «Вологозабезпечення». Температурний режим та опади визначають стан вологозабезпечення, а вологозабезпечення, азотне живлення та фітосанітарний стан впливають на кінцеву змінну «Урожайність».

Структуру запропонованої байєсовської мережі наведено на рис. 1.

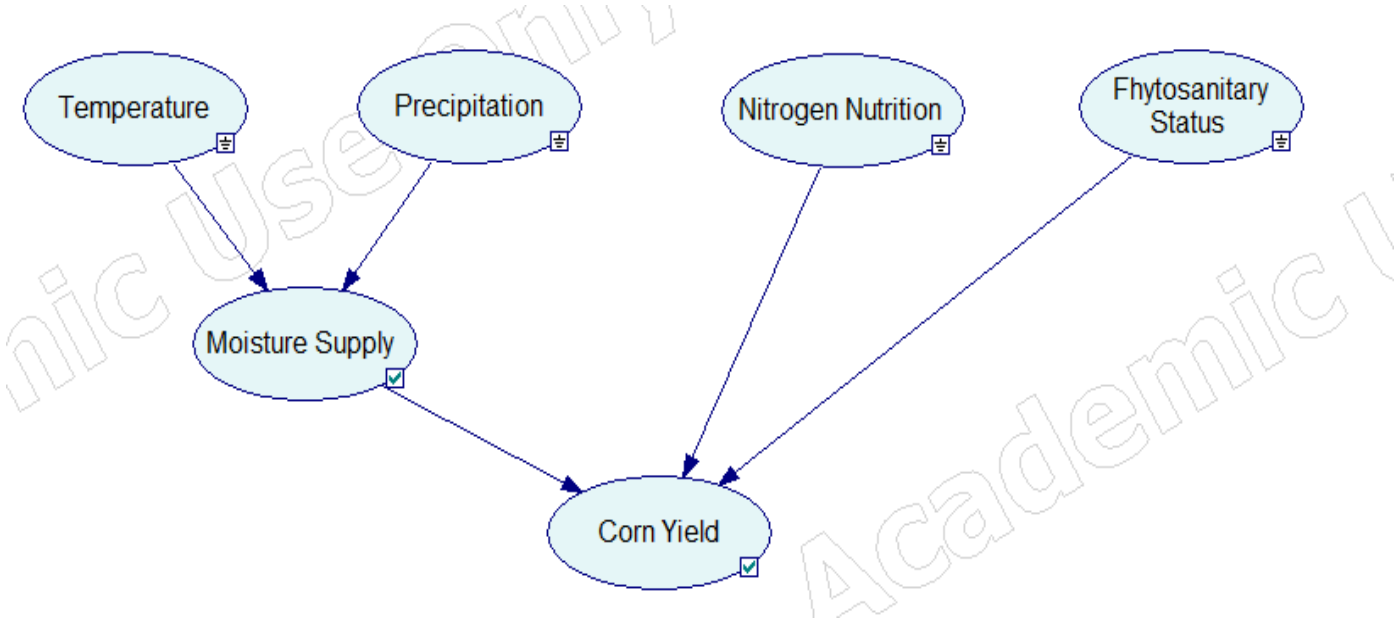


Рисунок 1. Структура байєсовської мережі для прогнозування врожайності кукурудзи

Для вузлів мережі використано дискретні стани. Температурний режим характеризується станами «сприятливий» та «несприятливий», опади - «достатні» та «недостатні», вологозабезпечення - «достатнє» та «недостатнє». Азотне живлення поділяється на «достатнє» та «недостатнє», а фітосанітарний стан - на «добрий» та «несприятливий».

На початковому етапі параметри умовних розподілів імовірностей задавалися на основі експертних оцінок. Для вузла «Вологозабезпечення» використано наведені в табл. 1 значення.

Таблиця 1. Умовні ймовірності станів вузла «Вологозабезпечення»

Температурний режим	**Опади**	**Достатнє вологозабезпечення**	**Недостатнє вологозабезпечення**
Сприятливий	Достатні	0,95	0,05
Сприятливий	Недостатні	0,40	0,60
Несприятливий	Достатні	0,55	0,45
Несприятливий	Недостатні	0,10	0,90

Для вузла «Урожайність» за умови достатнього азотного живлення та доброго фітосанітарного стану експертно задано умовні ймовірності, наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Умовні ймовірності рівнів урожайності залежно від вологозабезпечення

Вологозабезпечення	Низька врожайність	Середня врожайність	Висока врожайність
Достатнє	0,05	0,25	0,70
Недостатнє	0,35	0,55	0,10

Модель реалізовано в програмному середовищі GeNIe Modeler. Для дослідження її реакції на зміну вхідних умов проведено сценарний аналіз. В обох сценаріях азотне живлення вважалося достатнім, а фітосанітарний стан посівів - добрим. Відмінність між сценаріями полягала в поєднанні температурного режиму та кількості опадів.

У першому сценарії задавалися сприятливий температурний режим і достатня кількість опадів (рис. 2). Згідно з експертними оцінками, ймовірність достатнього вологозабезпечення за цих умов становить 0,95. У результаті байєсовського виведення отримано такий розподіл імовірностей рівнів урожайності: низька - 0,065, середня - 0,265, висока - 0,670. Отже, найбільш імовірним є високий рівень урожайності.

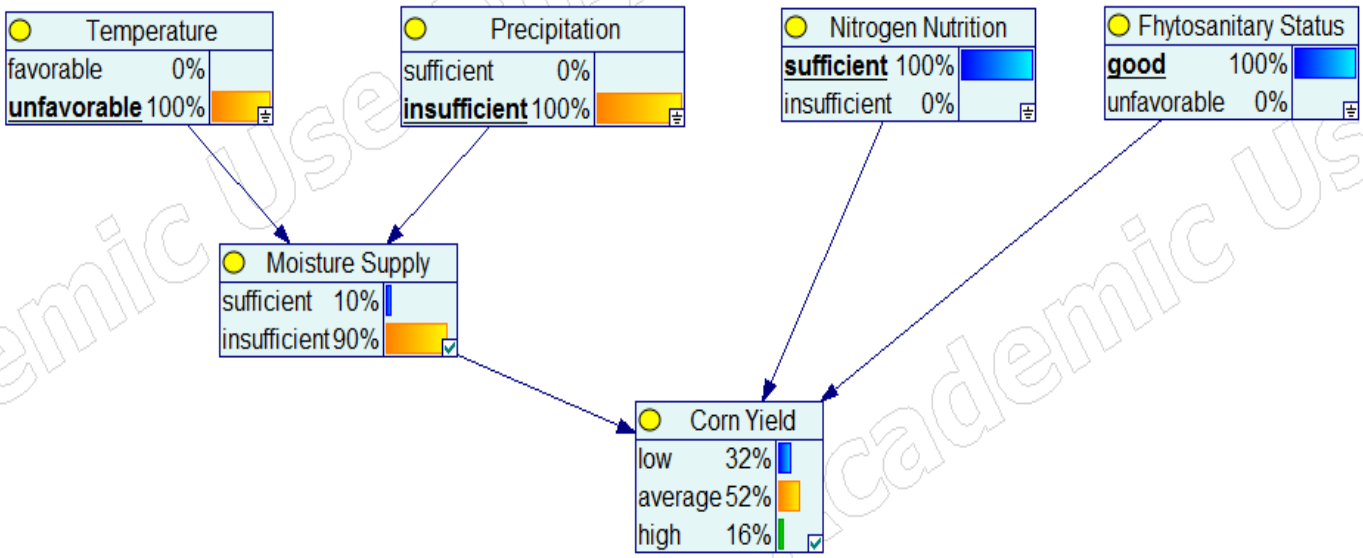


Рисунок 2. Результати байєсовського виведення за першим сценарієм

У другому сценарії задавалися несприятливий температурний режим і недостатня кількість опадів (рис. 3). Імовірність достатнього вологозабезпечення в цьому випадку становить 0,10. За результатами байєсовського виведення отримано ймовірності низького, середнього та високого рівнів урожайності відповідно 0,320, 0,520 та 0,160. Таким чином, за несприятливих погодних умов найбільш імовірним стає середній рівень урожайності, а ймовірність високого рівня істотно зменшується.

Порівняння результатів моделювання наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Розподіл імовірностей рівнів урожайності за різних сценаріїв

Стан урожайності	Сприятливі умови	Несприятливі умови
Низька	0,065	0,320
Середня	0,265	0,520
Висока	0,670	0,160

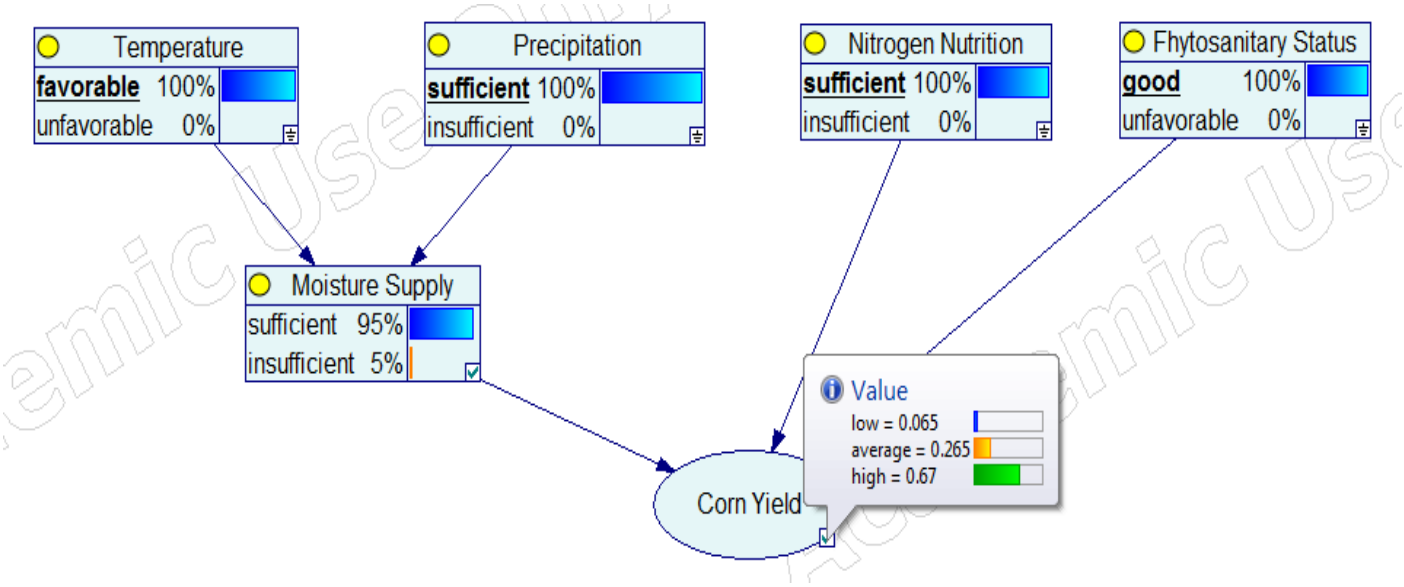


Рисунок 3. Результати байєсовського виведення за другим сценарієм

Результати сценарного аналізу демонструють, що запропонована модель відображає зміну ймовірнісного розподілу рівнів урожайності залежно від погодних умов. При переході від сприятливого до несприятливого температурно-вологісного режиму ймовірність високого рівня врожайності зменшується з 0,670 до 0,160, тобто на 0,510, або 51 відсотковий пункт. Водночас імовірність низького рівня збільшується з 0,065 до 0,320, а середнього — з 0,265 до 0,520.

Практична цінність запропонованого підходу полягає в можливості аналізувати альтернативні сценарії та оцінювати ймовірнісні наслідки зміни погодних і агротехнологічних умов. Це створює передумови для використання байєсовської мережі як компонента інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень у сільськогосподарському виробництві.

Водночас отримані результати є попередніми, оскільки умовні ймовірності на цьому етапі визначено експертно. Вони характеризують поведінку побудованої моделі, але самі по собі не підтверджують точність прогнозування фактичної врожайності. Подальші дослідження передбачають уточнення параметрів мережі за фактичними даними про погодні умови, агротехнологічні заходи та врожайність кукурудзи, а також оцінювання прогностичної якості моделі.

Таким чином, розроблена байєсовська мережа забезпечує формалізацію експертних знань і дає змогу досліджувати ймовірнісні наслідки зміни погодних умов для врожайності кукурудзи. Запропонований підхід може бути основою для подальшого створення інтелектуальних засобів прогнозування та підтримки прийняття рішень в аграрному виробництві.

Список використаних джерел

1. Uusitalo L. Advantages and challenges of Bayesian networks in environmental modelling. Ecological Modelling. 2007. Vol. 203, Issues 3–4. P. 312–318. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.11.033.

2. A survey of the applications of Bayesian networks in agriculture. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2017. Vol. 65. P. 29–42. DOI: https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.07.003.

3. Embedding expert opinion in a Bayesian network model to predict wheat yield from spring-summer weather. Smart Agricultural Technology. 2023. Vol. 4. Article 100224. DOI: https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100224.

УДК 004.89:7.05

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У МИСТЕЦТВІ ТА ДИЗАЙНІ: ОГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ ГЕНЕРАТОРІВ ЗОБРАЖЕНЬ (MIDJOURNEY, DALL-E)

Олександр Нікулін

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: М. Г. Алєксєєв,
асистент Миколаївський національний аграрний університет

Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту (ШІ) та глибокого навчання (Deep Learning) протягом останніх років суттєво трансформував уявлення про творчий процес у галузі візуальних мистецтв та графічного дизайну [1]. Поява та вдосконалення мультимодальних генеративних моделей, зокрема дифузійних моделей (Diffusion Models) та генеративно-змагальних мереж (GANs), уможливили автоматизовану генерацію високодеталізованих растрових зображень на основі текстових описових запитів (текстових підказок / промптів) [4].

Серед розмаїття сучасних інструментів генеративного ШІ особливе місце посідають такі платформи, як Midjourney (розробка лабораторії Midjourney, Inc.) та DALL-E (версії DALL-E 2 та DALL-E 3 від OpenAI) [2]. Завдяки здатності синтезувати складні художні образи, адаптуватися до різноманітних стилів (від фотореалізму та концептуального арту до імпресіонізму та векторної графіки) та високій швидкості обробки запитів, ці системи перетворилися з експериментальних академічних розробок на повноцінні інструменти професійної діяльності дизайнерів, ілюстраторів, арт-директорів та творців візуального контенту [1, 2].

Аналіз архітектурно-функціональних можливостей Midjourney та DALL-E. Технологічний базис сучасних генераторів зображень базується на дифузійній архітектурі, яка передбачає поступове усунення зашумлення з випадкової матриці пікселів до моменту формування чіткого візуального об'єкта, що відповідає семантичному вектору текстового промпту [2]. Однак Midjourney та DALL-E мають виразні функціональні відмінності та сфери застосування:

1. Midjourney орієнтована першочергово на високу художню виразність, стилізацію, атмосферність та художню деталізацію зображень [1]. Інструмент вирізняється глибиною опрацювання текстур, контролем освітлення, можливістю налаштування параметрів стилізації (`--stylize`), співвідношення сторін (`--ar`), якісних характеристик (`--q`) та варіативності композицій [5]. Завдяки цьому Midjourney посідає лідуючі позиції при створенні концепт-арту, ілюстрацій для книг та обкладинок, фентезійних та фантастичних сцен, а також художніх фонів [5].

2. DALL-E (DALL-E 3) інтегрована у середовище великих мовних моделей OpenAI (ChatGPT), що забезпечує глибоке семантичне розуміння складних і багаторівневих текстових запитів [2, 4]. DALL-E точніше дотримується заданої кількості об'єктів у кадрі, текстових написі та просторових взаємозв'язків між елементами. Крім того, платформа підтримує функції редагування зображень — *Inpainting* (заміна або домальовування фрагментів усередині кадру) та *Outpainting* (розширення меж наявного зображення зі збереженням загальної стилістики) [4].

Інтеграція Midjourney та DALL-E у робочі процеси (workflows) графічного дизайну не означає повну автоматизацію чи витіснення людини з творчої сфери [1]. Натомість відбудеться перерозподіл професійних ролей та оптимізація традиційних етапів проектування [1, 5]:

Прискорення фази дослідження та концептуалізації: Дизайнери отримують можливість генерувати десятки альтернативних візуальних ідей, ескізів та мудбордів за кілька хвилин, що значно скорочує фазу пре-продакшну [4].

Еволюція «Prompt Engineering» як нової компетентності: Вагомого значення набуває вміння фахівця правильно сформулювати текстове завдання для ШІ, враховуючи стилістику, композиційні закони, колірну гаму, типи лінз/камер та художні техніки [4].

Гібридні робочі процеси (Hybrid Workflows): Згенеровані ШІ зображення рідко є фінальним продуктом. Здебільшого вони слугують базовими ресурсами або концептами, які надалі

доопрацьовуються, векторизуються, компонуються та корегуються фахівцями у растрових і векторних графічних редакторах (Adobe Photoshop, Illustrator, Figma тощо) [1, 2].

Практичні сфери застосування AI-генераторів зображень. Дослідження практичного досвіду впровадження Midjourney та DALL-E дозволяє виділити такі ключові напрями їх використання у графічному дизайні та медіа [1, 2]:

1. Створення унікальних книжкових ілюстрацій, обкладинок для часописів, музичних альбомів, афіш та рекламних постерів без потреби у тривалій ручній графічній розробці або купівлі стандартних стокових фото [3].

2. Генерація кастомних фонів, інфографічних елементів, тематичних ілюстрацій до слайдів, які точно відповідають контексту виступу або корпоративному брендингу, уникнення типових шаблонів [4].

3. Пошук метафор для логотипів, створення банерів для соціальних мереж (SMM), візуалізація концепцій UX/UI інтерфейсів, генерація 3D-іконографіки та текстур [5].

Попри потужний потенціал, впровадження генераторів зображень супроводжується низкою технічних, правових та етичних проблем [3]:

Відсутність чітко врегульованої законодавчої бази щодо прав на зображення, створені за допомогою нейромереж, а також питання використання робіт реальних художників для тренування моделей [3].

Складність забезпечення однакового візуального стилю персонажів чи елементів у серії ілюстрацій при послідовних генераціях [2].

Наявність графічних викривлень (некоректна генерація дрібних деталей, пальців рук, текстових символів тощо), що вимагає ручного ретушування [4].

Генератори зображень на основі штучного інтелекту, такі як Midjourney та DALL-E, стали потужними каталізаторами інновацій у галузі мистецтва та дизайну. Вони не замінюють людську креативність, а виступають у ролі «цифрового співавтора» (co-creator), який кардинально підвищує продуктивність, розширює межі творчого пошуку та прискорює реалізацію візуальних ідей. Подальший розвиток галузі вимагає від майбутніх фахівців із графічного дизайну засвоєння навичок інжинірингу промптів, критичного аналізу згенерованого контенту та гармонійного поєднання інструментів штучного інтелекту із класичними графічними технологіями.

Список використаних джерел

1. Midjourney // Вікіпедія : вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Midjourney (дата звернення: 14.10.2026).

2. DALL-E // Вікіпедія : вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/DALL-E (дата звернення: 14.10.2026).

3. SKVOT. Як штучний інтелект стає машиною візуального креативу. *Блог про креативні індустрії SKVOT*. 2022. URL: https://skvot.io/uk/blog/neural-networks-for-artists (дата звернення: 13.10.2026).

4. IBM Think. What is Generative AI? *IBM Official Educational Resources*. 2024. URL: https://www.ibm.com/think/topics/generative-ai (дата звернення: 13.10.2026).

5. Learn about Midjourney 2025 URL: https://docs.midjourney.com/ (дата звернення: 14.10.2026).

УДК 159.9:004.8

ШІ ЯК ПСИХОЛОГІЧНА ПІДТРИМКА: МОЖЛИВОСТІ ТА ОБМЕЖЕННЯ

Аліна Скоропляс
Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник Л. В. Гула,
ст. викладач кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Штучний інтелект у сфері психологічної допомоги краще сприймати як інструмент, що допомагає людям дізнаватися більше про ментальне здоров'я, краще розуміти себе та опановувати певні практики. Його ефективність напряму залежить від того, як саме розроблена система та як її використовують. Тут важливо розрізняти три різні речі: універсальні чатботи, спеціальні програми для самодопомоги та цифрові інструменти, якими користуються професійні психологи. Звичайні мовні моделі можуть відповісти на будь-яке питання, але спеціалізовані системи працюють за чіткими психологічними протоколами та проходять перевірку на реальних користувачах. Тому не варто думати, що якщо один терапевтичний бот працює добре, то всі інші ШІ будуть такими ж. Також не варто плутати емоційне полегшення від приємної розмови зі справжнім покращенням стану. Те, що користувачеві приємно спілкуватися з ботом, ще не означає, що він лікується. Щоб зрозуміти реальну користь, науковцям потрібно дивитися не лише на те, що каже ШІ, а й на те, як змінюється життя людини, чи триває цей ефект і чи немає побічних наслідків. На практиці ШІ найкраще проявляє себе у структурованій самодопомозі. Через діалог бот може допомогти людині розібратися в складній ситуації, відокремити саму подію від того, як вона її сприймає, назвати свої емоції або просто впорядкувати думки перед візитом до психолога. Наприклад, якщо студент каже: "Я провалив один тест, отже, я нічого не вартий", ШІ може допомогти йому проаналізувати це: що саме сталося, які є факти, а які лише висновки, і чи існують інші пояснення. Тут користь у тому, щоб підтримати процес роздумів. Проте важливо, щоб відповіді були адекватними. Якщо людина розповідає про насильство чи небезпеку, бот не має просто казати, що це "негативне мислення". Якість підтримки залежить від того, чи вміє система враховувати контекст і не переходити межі.

Емпіричні дослідження демонструють перспективність окремих цифрових втручань, проте водночас виявляють обмеженість підстав для широких узагальнень. У рандомізованому дослідженні К. К. Фіцпатрік, Е. Дарсі та М. Вірхіле 2017 року взяли участь 70 осіб віком 18–28 років. Протягом двох тижнів одна група користувалася чатботом Woebot, який пропонував матеріали самодопомоги на основі когнітивно-поведінкових принципів, а інша отримала інформаційне електронне видання. У групі Woebot зафіксовано статистично значущу перевагу щодо зменшення депресивної симптоматики за шкалою PHQ-9. Водночас зниження тривожності серед учасників, які завершили дослідження, спостерігалося в обох групах, тому приписувати цей результат виключно чатботу некоректно. Невелика вибірка, коротка тривалість втручання та специфічний віковий склад обмежують перенесення висновків на інші категорії населення. Крім того, один зі співавторів мав фінансову зацікавленість у компанії-розробнику, що підсилює значення незалежного відтворення результатів [1].

Новіші дані представлені у дослідженні М. Гайнца та співавторів, опублікованому в NEJM AI у 2025 році. До нього залучили 210 дорослих із клінічно значущими симптомами депресії, генералізованої тривоги або високим ризиком розладів харчової поведінки. Учасників розподілили на групу чотиритижневого використання спеціалізованого генеративного чатбота Therabot та контрольну групу очікування. Оцінювання через чотири й вісім тижнів показало більше зниження відповідної симптоматики серед користувачів Therabot. Однак методологічно важливо, що порівняння проводили з очікуванням доступу, а не з повноцінною психотерапією чи іншим активним втручанням. Відповідно, дослідження підтверджує перспективність конкретної системи за визначених умов, але не доводить рівноцінності ШІ та роботи психотерапевта. Високі оцінки терапевтичного альянсу також характеризують суб’єктивне сприйняття взаємодії, а не тотожність

професійних можливостей людини й алгоритму. Обмежений період спостереження залишає відкритим питання стійкості результатів у довготривалій перспективі [2].

Особливе місце в аналізі посідає співвідношення емпатійного стилю відповіді та надійності психологічної допомоги. Здатність системи формулювати теплі, уважні й персоналізовані повідомлення може створювати відчуття прийняття, однак не гарантує правильного розуміння ситуації. У дослідженні Дж. Мура та співавторів 2025 року виявлено, що протестовані мовні моделі могли відтворювати стигматизувальні установки щодо психічних розладів і неналежно реагувати на окремі клінічно значущі сценарії, зокрема підтримувати маячні переконання. Ці результати стосуються конкретних моделей і умов тестування, проте вказують на суттєву проблему: орієнтація на згоду з користувачем може суперечити вимогам психологічної безпеки. arxiv.org Звідси випливає необхідність чітко розмежовувати визнання емоцій і підтвердження інтерпретацій. Наприклад, висловлювання «ця ситуація викликає у вас сильний страх» визнає переживання людини, тоді як твердження «вас справді переслідують» без достатніх підстав може посилювати небезпечне переконання. Для психологічної підтримки важливо зберігати доброзичливість одночасно з обережністю щодо неперевірених висновків [3, с. 175].

Іншим обмеженням є неповнота інформації, на основі якої ШІ формує відповідь. Текстове повідомлення відображає лише частину досвіду користувача й може не містити даних про тривалість симптомів, соматичний стан, уживання речовин, сімейні обставини або попереднє лікування. Навіть докладний опис не забезпечує повноцінного клінічного оцінювання, а переконливість сформульованої відповіді не дорівнює її достовірності. Всесвітня організація охорони здоров'я у рекомендаціях 2024 року звертає увагу на ризики хибних, неточних, упереджених або неповних відповідей генеративних моделей, а також на автоматизаційне упередження – схильність надмірно довіряти алгоритмічним результатам. who.int У сфері психологічної підтримки практичним наслідком цього ризику може стати необґрунтоване самодіагностування або відкладання професійного звернення. Тому інтерпретація симптомів має супроводжуватися позначенням невизначеності, а результати опитувальників слід розглядати як допоміжну інформацію, що потребує належного професійного тлумачення.

Окремого дослідження потребує вплив регулярного спілкування із ШІ на автономність користувача. Аналітично доцільно розрізняти два можливі сценарії: технологія допомагає людині опанувати навички саморегуляції та застосовувати їх поза чатом або поступово стає постійним зовнішнім джерелом підтвердження кожного рішення. Другий сценарій слід розглядати як потенційний ризик, а не як неминучий наслідок використання ШІ. Наприклад, багаторазове звернення з однаковим запитом про гарантію безпеки може давати короткочасне полегшення, але саме по собі не свідчить про розвиток здатності витримувати невизначеність. Відповідно, показниками успішності цифрової підтримки варто вважати не лише частоту звернень і тривалість діалогів, а й здатність користувача самостійно діяти, підтримувати соціальні контакти та звертатися по необхідну допомогу. Такий підхід дозволяє відрізняти корисну залученість від використання сервісу, яке витісняє інші способи подолання труднощів.

Етична прийнятність ШІ у психологічній підтримці залежить також від умов оброблення конфіденційної інформації. Психологічна розмова може містити відомості про травматичний досвід, сексуальність, сімейні конфлікти, стан здоров'я та інших людей. Відчуття приватності під час діалогу не є доказом того, що повідомлення не зберігаються й не використовуються надалі. ВООЗ наголошує на необхідності захисту приватності, врахування кібербезпеки, незалежного оцінювання та контролю впливу таких систем після впровадження. who.int Для психологічного сервісу ці положення доцільно конкретизувати через зрозуміле інформування про мету збору даних, строки зберігання, доступ до повідомлень і можливості їх видалення. Не менш важливо відкрито повідомляти про автоматизований характер взаємодії та межі компетентності системи. Етичний дизайн повинен підтримувати усвідомлений вибір користувача, а не формувати хибне враження гарантованої конфіденційності чи необмеженої професійної спроможності [4, с. 265].

Для України перспективним є підхід, де цифровий інструмент допомагає людині знайти шлях до реального фахівця. ШІ може допомагати з психоосвітою, готувати до консультацій або допомагати

вести щоденник переживань. Але важливо, щоб ці системи розуміли наш контекст: досвід війни, втрат та постійної невизначеності. Це потребує спеціальної адаптації та перевірки. У підсумку, якщо впроваджувати ШІ з розумом і контролем з боку людини, він може стати потужним помічником, не втрачаючи при цьому головного — безпеки та потреб самої людини.

Список використаних джерел

1. Fitzpatrick K. K., Darcy A., Vierhile M. Delivering Cognitive Behavior Therapy to Young Adults With Symptoms of Depression and Anxiety Using a Fully Automated Conversational Agent (Woebot): A Randomized Controlled Trial. JMIR Mental Health. 2017. Vol. 4, no. 2. Article e19. DOI: https://doi.org/10.2196/mental.7785.

2. Randomized Trial of a Generative AI Chatbot for Mental Health Treatment / M. V. Heinz et al. NEJM AI. 2025. Vol. 2, no. 4. DOI: https://doi.org/10.1056/AIoa2400802.

3. Типтюк Ю. А., Т. В. Іванова. Використання систем штучного інтелекту для психологічної підтримки в умовах воєнного стану в Україні. Журнал соціальної та практичної психології. 2025. С. 171-177.

4. Палько Т.В. Парадокс антропоморфізму: психологічні межі емоційної прив'язаності до неігрових персонажів та чат-ботів з підтримкою ШІ. The III International scientific and practical conference «Technology development: shaping modern thinking and scientific approaches», January 19-21, 2026, Krakow, Poland, 265 p.

УДК 004.85:631.559

MACHINE LEARNING APPROACHES TO CROP YIELD PREDICTION USING MULTISOURCE AGRICULTURAL DATA

Mykhailo Negria

Institute of Special Communications and Information Protection,
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Abstract. This paper looks at how machine learning can be used to forecast crop production by combining information from different sources. It looks at the key things that affect crop production, the kinds of information used in today's prediction tools, how the most widely used machine learning methods work, and how these methods are specifically applied to data from farming. The benefits of using machine learning compared to traditional statistical methods are discussed, along with the difficulties that come with putting these technologies into practice. Special care is taken to mix weather, soil, and satellite information, check how good the weather prediction tools are, and help make better farming choices.

Keywords: machine learning, crop yield prediction, multisource data, remote sensing, vegetation indices,

Research Relevance: Agriculture is facing more challenges because of changing weather patterns, higher costs to produce food, and the need to keep food supplies steady and reliable. Under these conditions, accurate yield predictions are becoming an important tool for planning fertilization, irrigation, storage, logistics, and sales. At the same time, the amount of data available is increasing quickly: weather stations, soil sensors, farm equipment, and Earth observation satellites produce a lot of information each day. This research is important because there's a need for better forecasting tools that can handle different types of data, help reduce uncertainty in planning for farming, and make using resources more efficient.

Research Objective: This study aims to look into how machine learning can be used to predict crop yields using data from different sources.It also seeks to find out the benefits, challenges, and future possibilities of using smart models in farming.

Crop yield comes from many factors working together, like the weather, the type of soil, the kind of crop planted, and the farming methods used. Traditional methods like linear regression or process-based crop simulation models need strong assumptions about how these relationships work or require careful calibration

for each individual field. In real situations, the connections between things are not always straight forward, and how one thing affects another can change based on what other factors are involved. For example, the same amount of rain can be good when plants are growing quickly but bad when it's time to collect the harvest. That's why it's especially important to use methods that can learn these relationships directly from the data.

Several groups of data are typically used to predict crop yield. Meteorological data include air temperature, precipitation, humidity, and solar radiation. Soil data include information about how much humus is present, how acidic or basic the soil is, its texture, and how much moisture it can hold. Remote sensing data gives information about plants, like the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which shows how well plants are doing during the growing season. Agronomic data include when the seeds were planted, the fertilizers used, the crops grown in previous years, and the type of crop variety planted. Each of these sources has its own limits when used by itself. Weather data don't show what's really happening to the crops.Satellite images can be blocked by clouds and don't show the real condition of the soil. By putting them together, you get a better understanding of the situations in which a crop grows.

Modern open data services allow small agricultural businesses to easily access forecasts from multiple sources. Satellite missions like Sentinel-2, which are part of the European Copernicus program, capture images in different color ranges with a detail level as fine as 10 meters and return images every five days, allowing farmers to check the health of each field throughout the entire growing season. Meteorological reanalysis datasets, like ERA5, provide ongoing records of temperature, rainfall, and sunlight even in places that don't have close weather stations. Cloud platforms like Google Earth Engine let researchers work with big data collections without needing powerful computers at their own location. So now, the biggest challenge isn't getting the data, but figuring out which variables are important and making sure they match up in time and place.

Before modeling, the data must be prepared. This step involves dealing with missing data, getting rid of extreme values, aligning data from various sources to the same time and location standards, and scaling numerical data to a common range. Feature engineering is especially important because raw daily data is often grouped together to create indicators for different growth stages, like the total active temperatures, rainfall during flowering, or the highest NDVI value. How well you prepare usually has a bigger impact on the outcome than which algorithm you choose.

You can divide algorithms into several main groups. Linear regression models are easy to understand and explain, which is why they are commonly used as a starting point for comparing other models. Decision tree ensembles, like random forests, create many trees using different groups of data and combine their predictions, which helps them handle noise and avoid overfitting. Gradient boosting techniques, like XGBoost, create trees one after another, and each new tree helps fix the mistakes made by the earlier ones, which usually leads to very good results when working with table-like data. Support vector regression can work well even when there are not many data points. Deep learning methods have a special role: convolutional neural networks can work directly with satellite images, and recurrent networks can study weather and vegetation data over time during the season. Their weakness is that they require big sets of training data and are harder to understand.

The method you choose depends on how much data you have, how accurate the results need to be, the resources you can use for calculations, and whether you need to explain the outcome to an expert. For small farms with not much data, simpler models might work well.But bigger systems that predict for whole regions or countries might mix different algorithms to get better results. The quality of models is checked using things like the root mean square error (RMSE), the mean absolute error (MAE), and the coefficient of determination (R^2). To get a good estimate, cross-validation is used, and it's important that the data used for validation comes from different areas or different years than the data used for training. Otherwise, the model might look correct but could not work well in new situations.

An smart system for predicting crop yields has different steps that work together.First, it gathers information from weather stations, sensors, and satellites.Then, it cleans and prepares the data, and builds important features from it.After that, it uses this data to train and check the model.Once the model is ready, it creates a forecast.Finally, the results are shown to the users in an easy way. Weather predictions can change

throughout the season as more information comes in, which helps experts make timely changes to their plans for adding nutrients to the soil or giving plants water. Feature importance analysis is useful because it helps to see which factors have the biggest impact on crop yield in a certain area and during different stages of the plant's growth.

Yield prediction is very useful in areas where the moisture levels are not stable, like the southern part of Ukraine.In this region, dry periods greatly affect the outcome of the farming season. Early predictions made several weeks before the harvest allow companies to guess how much they will produce, plan how to use their storage and transportation resources, and decide on selling strategies and future agreements. In precision agriculture, forecasts can be made for different areas of a field, which helps apply fertilizers and water more carefully and lowers the cost of these materials. So, machine learning models are part of a larger system that helps make decisions, not just a tool used on its own.

Even though there are many benefits, using machine learning in farming still has several difficulties. Agricultural datasets are usually small, spread out unevenly in different areas, and often have missing data entries. A model that learns from data in one area might not work well in another place because the weather and ground conditions are different there. Extreme weather events happen very seldom, which is why they are not well shown in the data used to train models. Also, complicated models can be hard to understand, which makes agronomists and farm managers less confident in them. So, the outcomes from machine learning models should be seen as a tool to help make decisions, not as a substitute for the expertise of professionals.

So, machine learning provides a real way to bring together different kinds of farming data into one smooth system for making predictions. Right now, ensemble methods are considered the best choice for handling tabular data from multiple sources, and deep learning models show great potential for working with satellite images and time series data. More studies should aim to gather more data from different areas, make sure models work well across different regions, and create clear and easy-to-understand tools for predicting outcomes that farmers and agricultural businesses can use in their work.

References

1. Breiman L. Random Forests. Machine Learning. 2001. Vol. 45, No. 1. P. 5–32. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1010933404324.

2. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 2016. P. 785–794. DOI: https://doi.org/10.1145/2939672.2939785.

3. van Klompenburg T., Kassahun A., Catal C. Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. Computers and Electronics in Agriculture. 2020. Vol. 177. Article 105709. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709.

4. Khaki S., Wang L., Archontoulis S. V. A CNN-RNN Framework for Crop Yield Prediction. Frontiers in Plant Science. 2020. Vol. 10. Article 1750. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01750.

5. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment. 2017. Vol. 202. P. 18–27. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031.

6. Pedregosa F. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python. Journal of Machine Learning Research. 2011. Vol. 12. P. 2825–2830.

УДК 004.8:78.01

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МУЗИЧНИХ ЖАНРІВ І ПІДЖАНРІВ

Олег Вишневський

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: О. Є. Богатєнкова,
асистент кафедри економічної кібернетики,
комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Миколаївський національний аграрний університет

Стрімкий розвиток цифрових технологій і збільшення обсягів музичного контенту зумовлюють потребу в автоматизованих методах його аналізу та систематизації. Сучасні музичні платформи містять значну кількість аудіозаписів, які необхідно впорядковувати за жанрами, стилями та іншими характеристиками. Традиційна класифікація музичних творів переважно передбачає участь людини, що потребує часу та може залежати від суб'єктивного сприйняття. У зв'язку з цим особливого значення набувають методи машинного навчання, здатні автоматично визначати характерні ознаки музичних композицій на основі аналізу аудіосигналів.

Одним із перспективних напрямів розвитку таких систем є застосування глибокого навчання. На відміну від традиційних підходів, які часто потребують попереднього ручного визначення характеристик звукового сигналу, нейронні мережі можуть самостійно виявляти складні закономірності у вхідних даних. Це створює передумови для розроблення моделей, здатних розпізнавати не лише загальні музичні жанри, а й окремі піджанри, що мають подібні акустичні характеристики. Метою дослідження є теоретичне вивчення можливостей застосування методів глибокого навчання для класифікації музичних жанрів і піджанрів на основі аналізу аудіосигналів, визначення основних етапів обробки звукових даних та обґрунтування доцільності використання нейронних мереж у цьому процесі.

Музичний жанр є категорією, яка характеризує твір за сукупністю властивостей, зокрема інструментальним складом, ритмічною організацією, гармонічною структурою та особливостями звучання. Як зазначають Дж. Танакіс і П. Кук, автоматична класифікація музики може ґрунтуватися на аналізі темброві, ритмічних і тональних характеристик аудіосигналів [1]. Такий підхід став важливим підґрунтям для подальшого розвитку систем пошуку та автоматизованої класифікації музичного контенту.

Класифікація музичних піджанрів є складнішим завданням, оскільки відмінності між ними не завжди мають чітко виражений характер. Наприклад, композиції в межах рок- і метал-музики можуть використовувати подібні інструменти, темпи, ритмічні структури та прийоми виконання. Водночас на їхню стилістичну належність впливають характер гітарного звучання, особливості вокалу, ритмічні рисунки, структура композиції та співвідношення різних звукових компонентів. Тому для надійного розпізнавання піджанрів необхідно враховувати сукупність ознак, а не спиратися на одну окрему характеристику.

Основою автоматизованої класифікації є цифровий аудіосигнал, який представляє звукові коливання у вигляді послідовності числових значень. Безпосереднє використання повного аудіозапису як вхідних даних може вимагати значних обчислювальних ресурсів, особливо якщо композиції мають велику тривалість. Тому перед передаванням даних до моделі зазвичай здійснюють попередню обробку: декодування аудіофайлу, приведення сигналу до узгодженої частоти дискретизації, за потреби перетворення стереозапису на монофонічний сигнал і поділ композиції на фрагменти однакової або контрольованої тривалості. Це дає змогу уніфікувати вхідні дані та спростити їх подальший аналіз.

Важливим етапом є представлення звукової інформації у формі, придатній для обробки нейронною мережею. Одним із поширених засобів такого представлення є спектрограма, яка відображає розподіл енергії сигналу за частотами в часі. На відміну від звичайного часового графіка

аудіосигналу, спектрограма дає змогу досліджувати частотну структуру звуку та зміни його спектрального складу протягом композиції.

Для музичної класифікації особливий інтерес становить мел-спектрограма, побудована з використанням мел-шкали, яка наближено враховує особливості сприйняття частот людським слухом. Таке представлення може допомагати виявляти відмінності між звуковими текстурами, характером інструментального звучання та іншими акустичними властивостями. Мел-спектрограми часто використовують як вхідні дані для згорткових нейронних мереж, оскільки їхня двовимірна структура дає змогу аналізувати локальні закономірності одночасно в часовому та частотному вимірах [2].

Іншим поширеним способом опису аудіосигналу є мел-частотні кепстральні коефіцієнти MFCC. Вони формують компактне представлення спектральних характеристик звуку та традиційно застосовуються в задачах розпізнавання мовлення й аналізу музики. Використання MFCC дає змогу зменшити розмірність ознак і зосередитися на певних властивостях тембрової структури. Вибір між MFCC, мел-спектрограмами або іншими представленнями залежить від особливостей навчальної вибірки, архітектури моделі та поставленого завдання.

Для обробки таких даних перспективним інструментом є згорткові нейронні мережі Convolutional Neural Networks. Їхня робота ґрунтується на застосуванні згорткових операцій, які дають змогу виявляти локальні закономірності у вхідних даних. На початкових етапах навчання мережа може формувати детектори простих спектральних структур, тоді як глибші шари поєднують отримані ознаки у складніші представлення. У контексті музики це створює можливість аналізувати комбінації акустичних характеристик, які можуть бути пов’язані з певними жанровими особливостями. Дослідження К. Чоя, Дж. Фазекаса та М. Сендлера розглядає особливості роботи глибоких згорткових мереж під час класифікації музики на основі спектрограм [2].

Процес навчання моделі передбачає використання набору аудіозаписів, для кожного з яких відомий відповідний жанр або піджанр. Під час навчання нейронна мережа отримує вхідні дані, формує прогноз і порівнює його з правильною міткою. На основі визначеної помилки коригуються параметри моделі, що поступово дає змогу покращувати відповідність між акустичними ознаками та класами музичних творів. Для багатокласової класифікації вихідний шар може формувати оцінки належності композиції до кожного з визначених класів, після чого обирається клас із найвищою оцінкою.

Водночас якість класифікації залежить не лише від архітектури нейронної мережі, а й від характеристик навчальних даних. Вибірка повинна достатньо повно представляти кожен із досліджуваних піджанрів. Якщо певні класи містять значно більше аудіозаписів, ніж інші, модель може надавати перевагу поширенішим категоріям. Додатковою проблемою є правильність жанрового маркування, оскільки одна композиція може поєднувати ознаки кількох стилів, а її класифікація іноді залежить від обраних критеріїв.

Особливу увагу необхідно приділяти поділу даних на навчальну, валідаційну та тестову вибірки. Навчальна вибірка використовується для налаштування параметрів моделі, валідаційна допомагає добирати архітектуру й гіперпараметри, а тестова призначена для підсумкового оцінювання якості класифікації. Якщо фрагменти однієї композиції потрапляють одночасно до різних вибірок, модель може запам’ятати специфічні характеристики запису замість того, щоб навчитися розпізнавати загальні ознаки піджанру. Аналогічна проблема виникає, коли в навчальних і тестових даних представлені композиції тих самих виконавців. Тому для об’єктивнішої перевірки здатності моделі узагальнювати закономірності доцільно, за можливості, розділяти дані з урахуванням виконавців.

Для оцінювання ефективності класифікації використовують низку кількісних показників. Accuracy характеризує частку правильно класифікованих прикладів серед усіх тестових даних. Precision відображає точність віднесення композицій до певного класу, Recall показує, яку частину всіх композицій цього класу вдалося правильно виявити, а F1-score узагальнює Precision і Recall за допомогою їхнього гармонійного середнього. У багатокласових задачах ці показники можна обчислювати окремо для кожного класу та узагальнювати різними способами. Додатковим засобом аналізу є матриця помилок, яка дає змогу визначити, між якими саме піджанрами найчастіше виникає

плутанина. Застосування кількох показників забезпечує повніше уявлення про сильні та слабкі сторони моделі, особливо за нерівномірного представлення класів.

Таким чином, застосування глибокого навчання для класифікації музики передбачає поєднання методів цифрової обробки аудіосигналів, ефективного представлення акустичних ознак і навчання нейронних мереж. Для завдань розпізнавання рок- і метал-піджанрів особливого значення набуває здатність моделі враховувати складні комбінації тембрових, ритмічних і спектральних характеристик. Водночас отримання надійних результатів потребує якісно сформованої навчальної вибірки, коректного розподілу даних та комплексного оцінювання моделі.

Методи глибокого навчання є перспективним інструментом автоматизованої класифікації музичних жанрів і піджанрів. Використання мел-спектрограм, MFCC та згорткових нейронних мереж створює можливості для виявлення характерних закономірностей в аудіосигналах без необхідності вручну визначати всі ознаки музичного твору. Водночас ефективність класифікації залежить від репрезентативності даних, якості жанрового маркування, обраної архітектури та способу перевірки результатів. Подальше дослідження цих підходів може стати теоретичною основою для розроблення систем автоматичного розпізнавання піджанрів рок- і метал-музики.

Список використаних джерел:

1. Tzanetakis G., Cook P. Musical Genre Classification of Audio Signals. IEEE Transactions on Speech and Audio Processing. 2002. Vol. 10, No. 5. P. 293-302.

URL: https://doi.org/10.1109/TSA.2002.800560.

2. Choi K., Fazekas G., Sandler M. Explaining Deep Convolutional Neural Networks on Music Classification. arXiv preprint arXiv:1607.02444. 2016.

URL:https://www.researchgate.net/publication/305119391_Explaining_Deep_Convolutional_Neural_Networks_on_Music_Classification

3. McFee B., Raffel C., Liang D., Ellis D. P. W., McVicar M., Battenberg E., Nieto O. librosa: Audio and Music Signal Analysis in Python. Proceedings of the 14th Python in Science Conference. 2015 P. 18-25. URL: https://doi.org/10.25080/Majora-7b98e3ed-003.

УДК 004.85:004.89

ЗАЛЕЖНІСТЬ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО РЕЗУЛЬТАТУ ПОЗИЦІЙ ГРИ «ЧОТИРИ В РЯД» ВІД ОБСЯГУ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ

Людмила Венгура, Олександр Пархоменко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

У клієнт-серверній інтелектуальній системі гри «Чотири в ряд» серверна частина отримує від клієнта поточну позицію й повертає хід або її оцінку. Теоретичний результат позиції точно визначають розв'язувачі [1–4], однак без бази дебютів на це йде орієнтовно 0,7–1 с на позицію на одному ядрі процесора (власні вимірювання), що ускладнює масові запити. Модель машинного навчання, навчена на розмічених розв'язувачем позиціях, може слугувати швидкою оцінною функцією, але обсяг розмічених даних визначає і вартість їх підготовки, і якість оцінки. Тому доцільно кількісно оцінити, як точність залежить від обсягу навчальної вибірки.

В архітектурі такого типу клієнт (веб-інтерфейс) надсилає на сервер стан дошки, а сервер поєднує два компоненти: розв'язувач, що дає точний результат і використовується для розмітки даних, та класифікатор, що за мілісекунди повертає наближену оцінку. Гра розв'язана: у 1988 р. Allis показав, що перший гравець виграє, починаючи з центрального стовпця [1]; Tromp згодом визначив результати для різних розмірів дошки [3] і оприлюднив набір усіх позицій восьмого напівходу з теоретичними оцінками [2], який використовують у задачах класифікації. Саме така задача – передбачення теоретичного результату за станом дошки – відповідає ролі швидкого оцінювача на сервері.

Мета роботи – оцінити залежність точності класифікації теоретичного результату (перемога, нічия, поразка першого гравця) позицій після восьмого напівходу від обсягу навчальної вибірки для двох моделей: випадкового лісу [5] і логістичної регресії.

Сформовано вибірку з 1200 різних позицій на дошці 7×6 після восьми напівходів, у яких ще ніхто не виграв і наступний хід не є вимушеним (жоден гравець не має виграшного ходу). Послідовності ходів генерували випадково, позиції дедублювали за станом дошки. Постановка відповідає набору Tromp [2], який містить усі такі позиції. Мітку (знак теоретичної оцінки для першого гравця) визначав розв'язувач Pons [4] у слабкому режимі. Частки класів: перемога – 65,7 %, нічия – 10,4 %, поразка – 23,9 %. Позицію кодували 84 бінарними ознаками (клітини, зайняті першим і другим гравцем). Для n ∈ {50, 100, 200, 400, 800} випадково відбирали навчальну підвибірку, а тестувальну (300 позицій) не перетинали з навчальною; процедуру повторювали для R = 30 стратифікованих розбиттів. Модель випадкового лісу мала 200 дерев, решта параметрів – за замовчуванням бібліотеки scikit-learn [6]; логістична регресія – з L2-регуляризацією (C = 1). Точність на тесті обчислювали за формулою:

$$Acc = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} 1(\hat{y}_i = y_i) \qquad (1)$$

де m – розмір тестової вибірки; $\hat{y}_i$ і y_i – прогнозована та істинна мітки i-ї позиції. Приріст відносно мажоритарного класифікатора:

$$\Delta(n) = \frac{1}{R}\sum_{r=1}^{R} Acc_r(n) - p_{maj} \qquad (2)$$

де $Acc_r(n)$ – точність у r-му розбитті при навчальній вибірці n; p_{maj} – точність мажоритарного класифікатора (частка класу «перемога» в тесті).

Результати подано в табл. 1 та на рис. 1.

Таблиця 1 - Точність класифікації результату позицій, % (середнє ± стандартне відхилення а 30 розбиттями)

n, позицій	Мажоритарний клас	Логістична регресія	Випадковий ліс
50	65,7	65,3 ± 4,2	66,0 ± 2,1
100	65,7	68,7 ± 2,9	68,4 ± 1,5
200	65,7	71,1 ± 2,5	69,4 ± 1,8
400	65,7	73,4 ± 2,2	71,9 ± 1,6
800	65,7	74,6 ± 1,9	73,3 ± 2,0

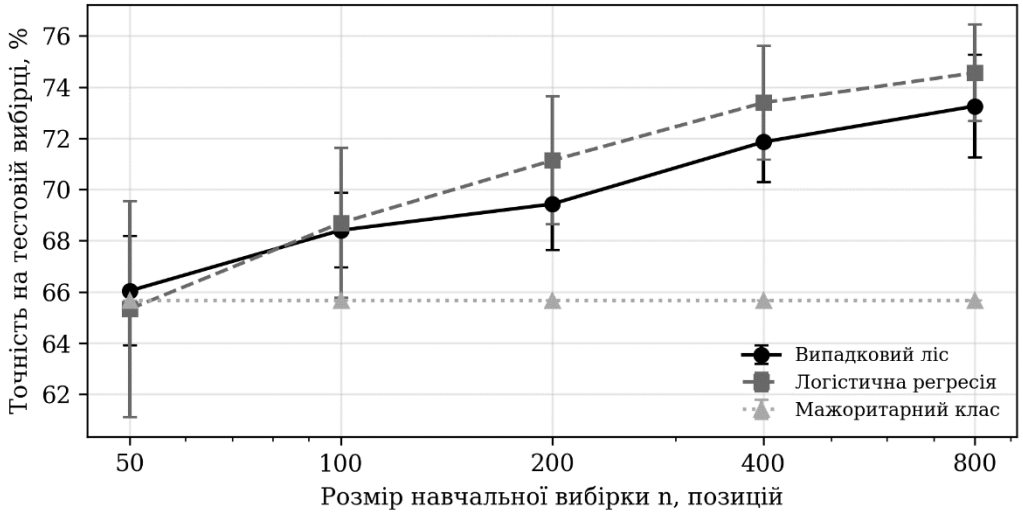


Рис. 1. Залежність точності від розміру навчальної вибірки (вуса - стандартне відхилення за 30 розбиттями)

Мажоритарний класифікатор дає 65,7 %. За n = 50 обидві моделі відрізняються від цього рівня менше, ніж на розкид результатів між розбиттями (випадковий ліс – 66,0 %, логістична регресія – 65,3 %). Зі збільшенням n до 800 точність зростає до 74,6 % у логістичної регресії та 73,3 % у випадкового лісу, тобто на 8,9 і 7,6 п.п. вище за формулою (2). Для n ≥ 200 логістична регресія вища на 1,3–1,7 п.п., проте ця різниця не перевищує розкид результатів між розбиттями (близько 2 п.п.), тому переваги однієї моделі не доведено. Крива не виходить на плато: подвоєння вибірки з 400 до 800 позицій дає ще +1,2 п.п. (логістична регресія) і +1,4 п.п. (випадковий ліс).

Аналіз за класами (рис. 2) показує, що близькість загальної точності моделей приховує різну поведінку. При n = 800 випадковий ліс розпізнає 95,8 % позицій класу «перемога», але лише 41,7 % класу «поразка», тоді як логістична регресія – 90,9 % і 59,4 % відповідно. Тобто ліс більшою мірою схиляється до мажоритарного класу, а лінійна модель краще виявляє позиції, програшні для першого гравця. Клас «нічия» (10,4 % вибірки) практично не розпізнається обома моделями (повнота 6,0 % і 3,5 %), тому оцінка за однією лише точністю для задач, де важливі саме нічиї, є недостатньою.

Для серверного модуля оцінювання позицій на сирих бінарних ознаках простий лінійний класифікатор виявився не гіршим за ліс, а отримана точність (близько 75 % при 800 позиціях) недостатня, щоб замінити розв'язувач. Тому модель доцільно розглядати як швидку евристику для впорядкування ходів, а розмітку нових даних вести розв'язувачем. Подальше зростання якості потребує більшого обсягу розмічених позицій або змістовніших ознак (наприклад, кількості відкритих трійок у лініях).

Дослідження охоплює лише позиції восьмого напівходу; вибірка (1200 позицій) згенерована випадковою грою і не є рівномірною за всім простором позицій; розбиття перетинаються, тому стандартні відхилення відображають мінливість між розбиттями, а не незалежні вимірювання; гіперпараметри не підбирали; значущість різниці між моделями формально не перевіряли.

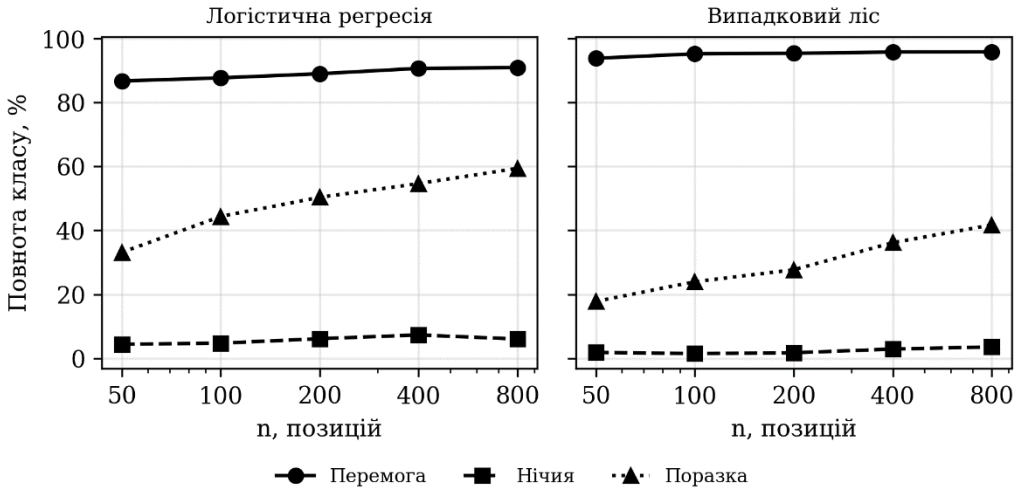


Рис. 2. Повнота (частка правильно розпізнаних позицій класу) за класами залежно від n

Висновки. 1) Точність прогнозування теоретичного результату позицій зростає з обсягом вибірки від рівня мажоритарного класу (65,7 %) до 73,3–74,6 % при n = 800. 2) Між логістичною регресією та випадковим лісом на сирих ознаках статистично підтвердженої різниці не виявлено. 3) У діапазоні до 800 позицій насичення не досягнуто, тому для модуля оцінювання потрібні більші розмічені вибірки.

Список використаних джерел

1. Allis L. V. A knowledge-based approach of Connect-Four: the game is over, white to move wins : M.Sc. thesis. Report No. IR-163. Amsterdam : Vrije Universiteit, Faculty of Mathematics and Computer Science, 1988.

2. Tromp J. Connect-4 [Dataset]. UCI Machine Learning Repository. 1995. DOI: https://doi.org/10.24432/C59P43.

3. Tromp J. Solving Connect-4 on medium board sizes. ICGA Journal. 2008. Vol. 31, No. 2. P. 110–112. DOI: 10.3233/ICG-2008-31205.

4. Pons P. Connect4 Game Solver [Electronic resource]. URL: https://github.com/PascalPons/connect4 (date of access: 14.10.2026).

5. Breiman L. Random forests. Machine Learning. 2001. Vol. 45, No. 1. P. 5–32. DOI: 10.1023/A:1010933404324.

6. Pedregosa F. et al. Scikit-learn: machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research. 2011. Vol. 12. P. 2825–2830.

УДК 658.8:004.738.5

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІЗУАЛЬНИХ ФОРМАТІВ КОНТЕНТУ В INSTAGRAM ЯК ІНСТРУМЕНТУ ФОРМУВАННЯ ІМІДЖУ ОРГАНІЗАЦІЇ В ЦИФРОВОМУ ПРОСТОРІ

Світлана Тищенко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

У цифровому просторі імідж організації формується значною мірою через візуальні матеріали: візуальність стала визначальним чинником комунікації в мережевому середовищі [1], а фірмовий стиль і візуальні засоби віднесено до чинників формування іміджу підприємства [2]. Первинне візуальне враження виникає швидко: за результатами експериментів оцінка візуальної привабливості вебсторінки формується приблизно за 50 мс [3]. Для платформ, орієнтованих на зображення, постає прикладне питання вибору формату контенту (Reels, карусель чи статичне зображення), адже формати різняться за залученістю аудиторії [4], а наявність і характеристики зображень пов’язані із залученістю в соціальних мережах [5].

Метою дослідження є кількісне порівняння трьох форматів візуального контенту Instagram за показником залученості та оцінювання того, як зміна структури контент-плану за незмінного обсягу публікацій впливає на очікувану залученість акаунта організації. Дослідницьке питання: наскільки перерозподіл часток форматів змінює середню залученість контент-плану?

Вихідними даними є узагальнені бенчмарки Socialinsider, отримані аналізом 35 млн дописів із 447 613 сторінок упродовж 2025 р. [4]: середня залученість за форматами у 2024 та 2025 рр. і середня місячна кількість публікацій кожного формату (табл. 1). У джерелі [4] залученість допису визначається як відношення суми вподобань і коментарів до кількості підписників:

$$ER = \frac{L+C}{F} \cdot 100\% \qquad (1)$$

де ER – залученість, %; L – кількість вподобань; C – кількість коментарів; F – кількість підписників. Оскільки значення ER за форматом є середнім на один допис, середня залученість контент-плану дорівнює середньозваженому:

$$ER_{mix} = \sum_{i=1}^{3} w_i ER_i\,,\ w_i = \frac{n_i}{\sum_{j=1}^{3} n_j} \qquad (2)$$

де i = 1, 2, 3 – Reels, каруселі, статичні зображення; w_i – частка формату в контент-плані; n_i – кількість публікацій формату на місяць. Для порівняння форматів уведено індекс відносної переваги над статичним зображенням:

$$I_i = \frac{ER_i}{ER_{img}} \qquad (3)$$

Таблиця 1. Залученість ER, кількість публікацій на місяць (Публ./міс.) та індекс відносної переваги I форматів Instagram (за даними [4], розрахунки автора)

Формат	ER 2024, %	ER 2025, %	Публ./міс. 2024	Публ./міс. 2025	I, 2024	I, 2025
Reels	0,50	0,52	6	8	1,11	1,41
Каруселі	0,55	0,55	4	5	1,22	1,49
Статичні зображення	0,45	0,37	10	7	1,00	1,00

Підстановка даних 2025 р. дає ваги w = 8/20 = 0,40 (Reels), 5/20 = 0,25 (каруселі), 7/20 = 0,35 (зображення) і ER_{mix} = 0,40·0,52 + 0,25·0,55 + 0,35·0,37 = 0,475 %. Це збігається із середнім показником 0,48 %, наведеним у [4], що підтверджує коректність розрахунку. За структури 2024 р. (ваги 0,30; 0,20; 0,50) і тих самих значень ER 2025 р. маємо 0,451 %, тобто перерозподіл публікацій від зображень до Reels і каруселей підвищив очікувану залученість приблизно на 5,3 % (0,475/0,451 = 1,053).

Індекс *I* (табл. 1, рис. 1) показує, що перевага каруселей над зображеннями зросла з 1,22 до 1,49, а Reels – з 1,11 до 1,41. Це зумовлено передусім зниженням ER зображень з 0,45 до 0,37 %, тоді як ER каруселей залишився на рівні 0,55 %. Контрольна перевірка за квартальними даними Q3 2026 р. [4] (Reels – 0,48 %, каруселі – 0,50 %, зображення – 0,35 %) зберігає ранг форматів: індекс каруселей становить 1,43.

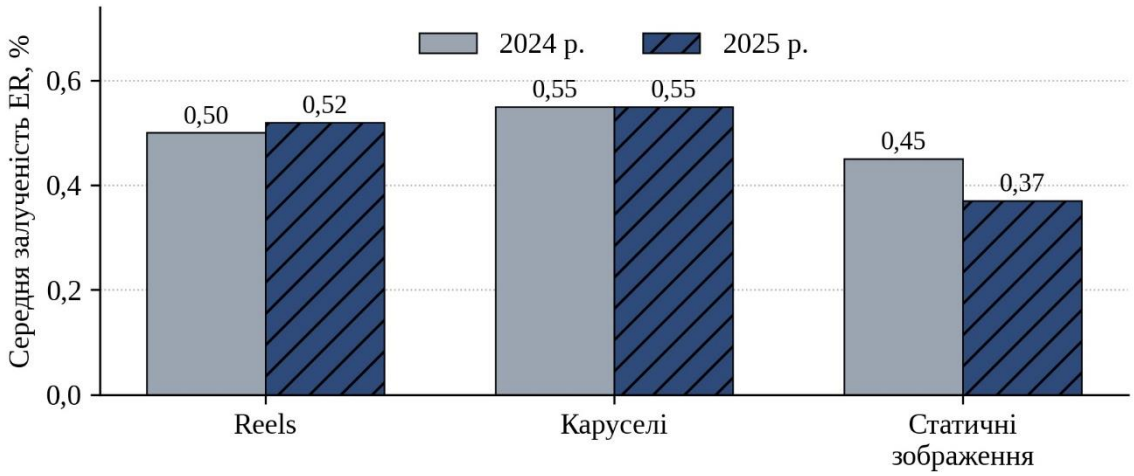


Рис. 1. Середня залученість ER за форматами Instagram, 2024–2025 рр. (за даними [4])

Для оцінювання варіантів контент-плану за 20 публікацій на місяць розглянуто чотири сценарії (табл. 2); ER форматів прийнято на рівні 2025 р.

Таблиця 2. Очікувана залученість контент-плану за сценаріями (ER форматів – 2025 р.; розрахунки автора за формулою (2))

Сценарій	Частки Reels / каруселей / зображень, %	ER_{mix}, %	Зміна відносно структури 2025 р., %
Структура 2024 р.	30 / 20 / 50	0,451	−5,1
Структура 2025 р. (базовий)	40 / 25 / 35	0,475	0
Відеоорієнтований	65 / 25 / 10	0,513	+7,9
Пріоритет каруселей	40 / 50 / 10	0,520	+9,5

Найвищу очікувану залученість (0,520 %) забезпечує сценарій із пріоритетом каруселей, що на 9,5 % перевищує структуру 2025 р.; відеоорієнтований сценарій дає 0,513 % (+7,9 %). Аналіз чутливості за фіксованої частки Reels (0,40) показує: кожен відсотковий пункт частки, перенесений із зображень до каруселей, збільшує ER_{mix} на (0,55 − 0,37)/100 = 0,0018 в. п., тобто приблизно на 0,4 % від базового рівня. Для приросту на 5 % частку зображень потрібно скоротити з 35 до ≈22 % (приблизно з 7 до 4–5 публікацій на місяць), а каруселей збільшити з 25 до ≈38 %.

Інтерпретуючи результати, слід ураховувати, що ER є непрямим показником: він відображає реакцію аудиторії на візуальний матеріал, а не сам імідж організації. Водночас формат визначає, наскільки повно реалізуються демонстративна й ідентифікаційна функції іміджу – візуалізація цінностей та формування впізнаваного візуального коду [2]. Каруселі лідирують і за переглядами: в усіх п’яти груп акаунтів за кількістю підписників вони мають у 1,5–2,4 раза більше переглядів, ніж статичні зображення [4]. Практичне значення полягає в тому, що наведена розрахункова схема дає змогу SMM-команді організації (зокрема закладу освіти) оцінити очікуваний ефект зміни контент-плану й порівняти власну залученість із загальним орієнтиром до проведення платних експериментів.

Обмеження дослідження: бенчмарки агрегують бренди різних галузей і розмірів, а не організації певного типу; ER враховує лише вподобання та коментарі без збережень і поширень; наведено середні значення без розподілів, тому статистичну значущість відмінностей не перевіряли; зв’язок формату із залученістю не можна трактувати як причинний, адже на нього впливають якість і зміст матеріалів [5]; сценарії припускають незмінність ER форматів за зміни їхніх часток.

Висновки. 1) За даними 2025 р. каруселі (0,55 %) і Reels (0,52 %) перевищують за залученістю статичні зображення (0,37 %); індекс переваги каруселей зріс з 1,22 до 1,49. 2) Середньозважена залученість контент-плану становить 0,475 % і узгоджується з опублікованим середнім 0,48 %. 3) Перенесення частки публікацій із зображень до каруселей чи Reels за незмінного обсягу може підвищити очікувану залученість на 7,9–9,5 % залежно від сценарію. 4) Результати орієнтовні й потребують перевірки на власних даних конкретної організації.

Список використаних джерел

1. Денисюк Ж. З. Візуальна комунікація як феномен масової культури. Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв. 2022. № 2. С. 9-14.

2. Гарматюк О. В., Подзігун С. М. Формування іміджу підприємства засобами маркетингових комунікацій: стратегічні підходи та комунікативні інструменти. Економіка та суспільство. 2025. Вип. 75. С. 174-179. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-75-21.

3. Lindgaard G., Fernandes G., Dudek C., Brown J. Attention web designers: you have 50 milliseconds to make a good first impression! Behaviour & Information Technology. 2006. Vol. 25, No. 2. P. 115-126. DOI: https://doi.org/10.1080/01449290500330448.

4. Cucu E. 2026 Instagram organic benchmarks. Socialinsider. 2026. URL: https://www.socialinsider.io/social-media-benchmarks/instagram (дата звернення: 14.10.2026).

5. Li Y., Xie Y. Is a picture worth a thousand words? An empirical study of image content and social media engagement. Journal of Marketing Research. 2020. Vol. 57, No. 1. P. 1-19.

УДК 004.8:631

ІНТЕГРАЦІЯ ІНСТРУМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ Й ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ У ПІДГОТОВКУ ФАХІВЦІВ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ (НА ПРИКЛАДІ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ПОСІВІВ ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ)

Тетяна Рижкова, Юлія Овсієнко

Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

Впровадження інструментів Штучного інтелекту (Artificial Intelligence, AI) й Інтелектуального аналізу даних (Data Mining) в агропромисловий комплекс (АПК) є стратегічним пріоритетом, закріпленим у державних ініціативах, зокрема в Стратегії цифрового розвитку інновацій України до

2030 року «WINWIN» [1]. Реалізація ініціатив вимагає від сучасних фахівців навичок ефективно використовувати цифрові інструменти для прийняття управлінських рішень. Відповідно, Міністерство освіти і науки України в актуальних рекомендаціях (2025 р.) визначає формування цифрових компетентностей і відповідальне впровадження AI в освітній процес ключовим завданням закладів вищої освіти (ЗВО). Серед іншого, наголошуючи, що технології мають трансформувати навчання через практико-орієнтовані підходи, а не ізольоване вивчення теорії [2].

Проте аналіз сучасних освітніх програм ЗВО аграрного профілю засвідчує, що дисципліни з Машинного навчання (Machine Learning, ML) часто викладаються на основі синтетичних або абстрактних наборів даних, без використання актуальної локальної інформації (наприклад, супутникових знімків конкретних полів, даних польових сенсорів) і без формулювання конкретних агрономічних завдань (наприклад, розрахунку диференційованих норм внесення добрив). Це знижує готовність випускників застосовувати AI на практиці, попри те, що алгоритми Випадкового лісу (Random Forest), Градієнтного бустингу (Gradient Boosting) і Нейронних мереж (Artificial Neural Networks, ANN) вже успішно використовуються у світовій практиці для моніторингу посівів і прогнозування врожайності за вегетаційними індексами [3; 4]. Вітчизняні дослідження також підтверджують ефективність цих підходів в умовах України: від оцінювання аномалій урожайності до прогнозування врожайності соняшнику на рівні окремих полів [5; 6; 7]. Таким чином, виникає суперечність між вимогами ринку праці, продиктованими державною стратегією, й існуючою методикою викладання, що зумовлює необхідність розробки наскрізних навчальних кейсів на основі реальних геопросторових даних.

Дослідження полягає в обґрунтуванні методичного підходу до інтеграції інструментів AI й Data Mining у підготовку майбутніх фахівців аграрної галузі через наскрізний навчальний кейс прогнозування стану посівів на основі супутникових даних.

Навчальний кейс побудовано за схемою, що має п’ять взаємопов’язаних компонентів: дані, ознаки, модель, оцінювання, рішення. Вихідними даними є знімки Sentinel-2 (рівень обробки L2A) за вегетаційний сезон, дані про врожайність за попередні роки і метеорологічні показники. На першому етапі здобувачі обчислюють нормалізований диференційний вегетаційний індекс за формулою (1):

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{\mathrm{Re}d}}{\rho_{NIR} + \rho_{\mathrm{Re}d}} \qquad (1)$$

де ρ_{NIR}, ρ_{Red} – коефіцієнти відбиття в ближньому інфрачервоному (канал B8) і червоному (канал B4) діапазонах.

Часовий ряд NDVI разом із метеорологічними ознаками (сума активних температур, кількість опадів) формує вектор ознак x. Для прогнозування застосовано регресію Random Forest, прогноз якої є середнім значенням прогнозів окремих дерев рішень, що визначається за формулою (2):

$$\hat{y} = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} T_k(x) \qquad (2)$$

де K – кількість дерев у моделі; $T_k(x)$ – прогноз k-го дерева для вектора ознак x.

Якість моделі оцінюють за середньоквадратичною похибкою (RMSE) і коефіцієнтом детермінації (R^2) за формулами (3) і (4):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2} \qquad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y}_i)^2} \qquad (4)$$

де y_i – фактичне значення врожайності, т/га; $\hat{y}_i$ – прогнозоване значення; $\bar{y}$ – середнє фактичне значення; n – кількість спостережень.

Методично кейс реалізовано як цикл із чотирьох лабораторних занять у середовищі Python (бібліотеки scikit-learn, rasterio): підготовка й очищення даних; розрахунок індексів і формування ознак; навчання й перехресна перевірка моделі; інтерпретація результатів і формулювання агротехнологічного рішення.

Апробацію навченої моделі передбачено на дослідному полі Полтавського державного аграрного університету (49,70583° пн. ш., 34,53544° сх. д.). На його прикладі продемонстровано розв'язування двох типових завдань професійної діяльності.

Приклад 1. Моніторинг вегетації і прогноз урожайності. Фахівець формує часовий ряд NDVI для поля і за даними до середини вегетації отримує прогноз урожайності за кілька тижнів до збирання. Карта залишків ($y_i - \hat{y}_i$) показує ділянки, де модель систематично помиляється. Це сигнал для польової перевірки: ґрунтової неоднорідності, вимокання, пошкодження шкідниками.

Приклад 2. Прогнозування потреби в добривах. Карту NDVI кластеризують методом *k*-середніх на 3-4 зони з різним станом посівів. Для кожної зони норму азотного підживлення диференціюють за компенсаційною схемою, представленою формулою (5):

$$N_j = N_0 + k\left(\overline{NDVI} - NDVI_j\right) \qquad (5)$$

де N_j – норма азоту для *j*-ї зони, кг/га; N_0 – базова норма для поля, кг/га; $\overline{NDVI}$ – середнє значення індексу по полю; $NDVI_j$ – середнє значення індексу в *j*-й зоні; k – коефіцієнт чутливості, кг/га на одиницю NDVI, що встановлюється за агрохімічними рекомендаціями.

За результатами апробації на дослідному полі отримано RMSE = 0,42 т/га і R^2 = 0,87. Методичну цінність кейсу визначає не лише точність моделі: здобувачі проходять повний цикл роботи з даними, вчаться критично оцінювати прогноз (хмарність знімків, мала вибірка, перенавчання) і пов'язувати результат ML з конкретним агротехнологічним рішенням.

Інтеграцію AI в підготовку фахівців агропромислового комплексу доцільно здійснювати через наскрізні кейси на реальних даних, а не через ізольоване вивчення алгоритмів. Запропонований кейс поєднує розрахунок вегетаційних індексів, регресію Random Forest, кластеризацію і завершується практичним рішенням: прогнозом урожайності і диференційованою нормою добрив.

З метою підвищення прикладної цінності і масштабованості представленого в дослідженні підходу доцільним є: урахування еколого-економічного ефекту: диференційоване внесення добрив на основі ML-моделей дозволяє не лише оптимізувати витрати (економія до 15-20 %), але й суттєво знижувати вуглецевий слід аграрного виробництва, що відповідає глобальним цілям сталого розвитку; робота з неповними даними, коли оптичні знімки Sentinel-2 залежать від хмарності, до навчального кейсу доцільно додати використання радарних даних (Sentinel-1), що забезпечують всепогодний моніторинг вологості ґрунту і біомаси; розвиток Data Literacy, що націлено на розвиток технічних навичок (Python, scikit-learn), кейс формує критичне мислення: здобувачі вчаться розпізнавати Зміщення даних (Data Bias) та інтерпретувати «чорну скриньку» ML-моделі через аналіз Важливості ознак (Feature Importance).

Використання даних дослідного поля університету робить навчання прив'язаним до знайомої локації й придатним до відтворення в інших аграрних закладах освіти.

Список використаних джерел

1. Про схвалення Стратегії цифрового розвитку інновацій України до 2030 року "WINWIN" : розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 січ. 2025 р. URL: https://winwin.gov.ua

2. Штучний інтелект у закладах вищої освіти: рекомендації для викладачів, студентів і працівників ЗВО : Міністерство освіти і науки України, 2025. URL: https://mon.gov.ua/news/shtuchnyi-intelekt-u-zakladakh-vyshchoi-osvity-rekomendatsii-dlia-vykladachiv-studentiv-i-pratsivnykiv-zvo

3. Application of machine learning methods and remote sensing data for crop yield forecasting / V. Zatserkovnyi et al. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology. 2025. No. 4 (111). P. 114-121. DOI: https://doi.org/10.17721/1728-2713.111.13.

4. Aslan M. F., Sabanci K., Aslan B. Artificial intelligence techniques in crop yield estimation based on Sentinel-2 data: a comprehensive survey. Sustainability. 2024. Vol. 16, No. 18. Article 8277. DOI: https://doi.org/10.3390/su16188277.

5. Estimates of crop yield anomalies for 2022 in Ukraine based on Copernicus Sentinel-1, Sentinel-3 satellite data, and ERA-5 agrometeorological indicators / E. Panek-Chwastyk et al. Sensors. 2024. Vol. 24, No. 7. Article 2257. DOI: https://doi.org/10.3390/s24072257.

6. Machine learning in agriculture: a comprehensive updated review / L. Benos et al. Sensors. 2021. Vol. 21, No. 11. Article 3758. DOI: https://doi.org/10.3390/s21113758.

7. Site-specific sunflower yield forecasting based on spatial analysis and machine learning / V. H. Hnatiienko et al. Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2025. No. 4. P. 17-26. DOI: https://doi.org/10.15407/dopovidi2025.04.017.

УДК 004.8

ПОРІВНЯННЯ ЛІНІЙНОГО ТА КОСИНУСНОГО ГРАФІКІВ ШУМУ ДЛЯ ВИБОРУ КІЛЬКОСТІ КРОКІВ СЕМПЛЮВАННЯ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ГЕНЕРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ДИФУЗІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

Дмитро Мокан

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. В. Співак,
асистент Миколаївський національний аграрний університет

Дифузійні моделі [1, 4] стали основою сучасних інформаційних систем генерації зображень. Час відповіді такої системи майже пропорційний кількості кроків семплювання, тому цей параметр є ключовим під час проєктування. Графік шуму визначає, як відношення сигнал/шум (ВСШ) розподіляється вздовж процесу, а отже, скільки кроків припадає на область, де зображення майже повністю втрачене [2, 5].

Принцип дифузійних моделей полягає в поступовому додаванні гауссового шуму до зображення в прямому процесі та навчанні нейромережі відновлювати зображення в зворотному процесі [1]. У вихідній постановці DDPM для генерації одного зображення потрібно близько тисячі послідовних викликів мережі, а детерміністичні семплери типу DDIM [3] дозволяють істотно скоротити їх кількість без повторного навчання. Саме тому питання, які кроки зберегти під час скорочення, має практичну вагу для проєктувальника системи.

Типова інформаційна система генерації зображень містить інтерфейс введення запиту, модуль кодування тексту, модуль семплювання, що багатократно викликає нейромережу-денойзер, та декодер; у моделях латентної дифузії [4] семплювання виконується в стисненому латентному просторі, проте кількість викликів денойзера залишається головним чинником затримки. Саме тому модуль налаштування параметрів семплера потребує обґрунтованих критеріїв вибору кількості кроків.

Мета дослідження – кількісно порівняти лінійний [1] і косинусний [2] графіки шуму за розподілом ВСШ уздовж $T = 1000$ кроків та оцінити частку кроків семплювання DDIM [3], що припадає на майже чистий шум.

Дослідження обчислювальне й не передбачає навчання моделі: використано лише аналітичні означення графіків із [1, 2]. У прямому процесі зашумлення зображення x_0 до кроку t має вигляд $x_t = \sqrt{\bar{\alpha}_t}\cdot x_0 + \sqrt{(1-\bar{\alpha}_t)}\cdot \varepsilon$, де ε – гауссів шум, а

$$\bar{\alpha}_t = \prod_{s=1}^{t}(1 - \beta_s) \qquad (1)$$

Для лінійного графіка β_t зростає від 10^{-4} до 0,02 [1]. Для косинусного $\bar{\alpha}_t = f(t)/f(0)$, $f(t) = \cos^2[(t/T + s)/(1 + s)\cdot\pi/2]$, $s = 0{,}008$, $\beta_t = \min(1 - \bar{\alpha}_t/\bar{\alpha}_{t-1}; 0{,}999)$ [2]. ВСШ на кроці t:

$$SNR(t) = \frac{\bar{\alpha}_t}{1-\bar{\alpha}_t} \qquad (2)$$

Крок вважали майже шумовим, якщо ВСШ < 0,01, тобто частка сигналу в x_t не перевищує приблизно 1 % (для даних одиничної дисперсії); цей поріг є умовним і задається дослідником. Для DDIM [3] розглянуто S = 50 рівномірних кроків t = 20, 40, …, 1000. Обчислення виконано в Python (NumPy).

Вибір ВСШ як показника зумовлений тим, що з виразу для x_t відношення дисперсії сигналу до дисперсії шуму дорівнює $\bar{\alpha}_t/(1-\bar{\alpha}_t)$, тобто воно напряму характеризує, скільки інформації про вихідне зображення зберігається на кроці t. Для наочності на рис. 1 ВСШ подано в децибелах ($10\cdot\lg$ SNR). Такий підхід не потребує навчання нейромережі, тому його можна застосувати на етапі проєктування системи ще до запуску дорогих експериментів.

Основні показники подано в табл. 1, залежність ВСШ від t – на рис. 1. За лінійного графіка ВСШ опускається нижче одиниці вже при t* = 260, а 326 кроків із 1000 (32,6 %) мають ВСШ < 0,01. За косинусного графіка t* = 497, а таких кроків лише 64 (6,4 %). Для DDIM із S = 50 це відповідає 17 кроків (34 %) проти 4 (8 %).

Різницю між графіками добре ілюструють проміжні значення. На початку процесу (t = 100) ВСШ становить 8,71 (9,4 дБ) для лінійного графіка і 34,8 (15,4 дБ) для косинусного, тобто косинусний графік зашумлює зображення повільніше. Наприкінці процесу (t = 750) ВСШ дорівнює 0,0034 (−24,7 дБ) для лінійного та 0,169 (−7,7 дБ) для косинусного графіка. Таким чином, за лінійного графіка зображення втрачається значно раніше, і пізні кроки несуть мало корисного сигналу.

Таблиця 1. Показники розподілу ВСШ для T = 1000

Показник	Лінійний	Косинусний
$\bar{\alpha}T$ (за t = 1000)	$4{,}04\cdot10^{-5}$	$2{,}43\cdot10^{-9}$
ВСШ при t = 500, дБ	−10,7	−0,1
Перший крок t*, де ВСШ < 1	260	497
Кроків з ВСШ < 0,01 із 1000	326 (32,6 %)	64 (6,4 %)
Кроків з ВСШ < 0,01 із 50 (DDIM)	17 (34 %)	4 (8 %)

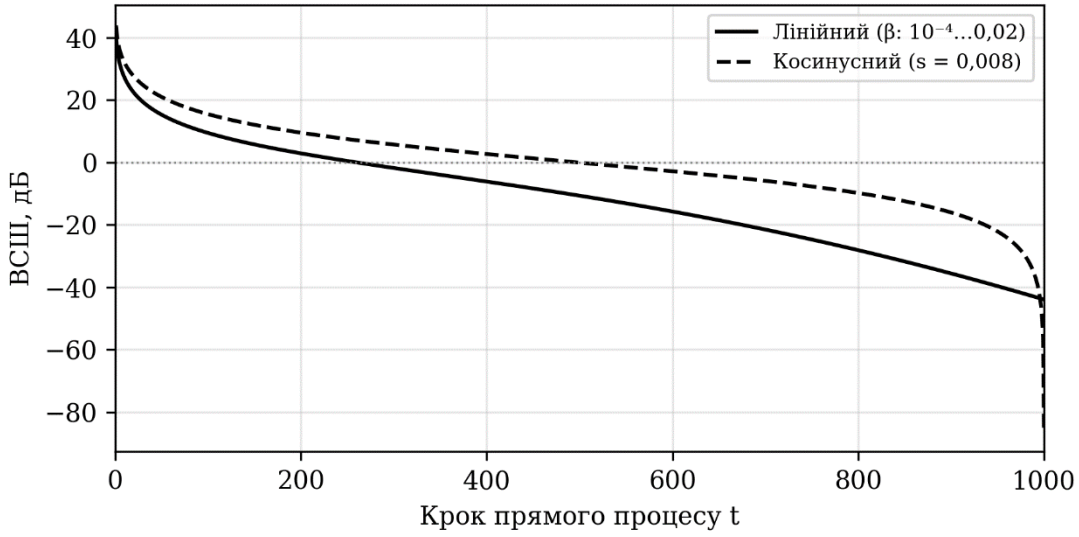


Рис. 1. Залежність ВСШ (дБ) від кроку прямого процесу t для лінійного та косинусного графіків шуму

Лінійний графік «спалює» значну частину кроків в області, де x_t практично не містить інформації про зображення; за малого S це означає, що близько третини обчислювального бюджету системи

витрачається на цю область. Косинусний графік розподіляє кроки рівномірніше за ВСШ. Крім того, жоден із графіків не забезпечує нульового кінцевого ВСШ: $\bar{\alpha}_T = 4{,}04 \cdot 10^{-5}$ (лінійний) і $2{,}43 \cdot 10^{-9}$ (косинусний), тобто вхід моделі при навчанні не є чистим шумом, який подається при інференсі [5]. Виправлення [5] полягає в масштабуванні

$$\sqrt{\bar{\alpha}'_t} = \frac{(\sqrt{\bar{\alpha}_t} - \sqrt{\bar{\alpha}_T}) \cdot \sqrt{\bar{\alpha}_1}}{\sqrt{\bar{\alpha}_1} - \sqrt{\bar{\alpha}_T}} \qquad (3)$$

що дає $\bar{\alpha}'_T = 0$ за збереження $\bar{\alpha}'_1 = \bar{\alpha}_1$ (перевірено розрахунком для лінійного графіка).

Наочно наслідки видно з арифметики кроків DDIM: із 50 рівномірно вибраних кроків в області ВСШ ≥ 0,01 за лінійного графіка залишається 33 кроки, а за косинусного – 46. Отже, за однакових затримок косинусний графік надає семплеру більше кроків у діапазоні, де відбувається відновлення структури зображення. Водночас це не означає, що лінійний графік не можна застосовувати: моделі, навчені з ним, зокрема в латентній дифузії [4], працюють коректно, а нерівномірний розподіл кроків можна частково компенсувати вибором нерівномірної сітки кроків семплера. Цей напрям потребує окремої перевірки і в роботі не досліджувався.

Зазначимо особливість косинусного графіка на рис. 1: різке падіння ВСШ на останніх кроках зумовлене обмеженням $\beta_t \leq 0{,}999$, яке запроваджене в [2] для уникнення сингулярності, тому значення ВСШ у кінцевій точці (−86,1 дБ) слід розглядати як наслідок цього обмеження, а не як властивість основної частини кривої. Це не впливає на висновок про частку майже шумових кроків, оскільки він спирається на основну область графіка.

Розробнику інформаційної системи доцільно до вибору графіка та кількості кроків S перевіряти розподіл ВСШ за формулою (2) і частку кроків із ВСШ < 0,01, а також контролювати нульове кінцеве ВСШ. Обмеження: не оцінювалась якість згенерованих зображень (наприклад, за FID), тому результат стосується лише розподілу ВСШ і не доводить переваги одного графіка за якістю; поріг 0,01 умовний.

У межах інформаційної системи це можна реалізувати як окремий модуль налаштування семплера: під час завантаження моделі він обчислює $\bar{\alpha}_t$ за конфігурацією графіка, будує розподіл ВСШ і повідомляє адміністратору частку майже шумових кроків та значення кінцевого ВСШ. На основі цього звіту обирається кількість кроків S, яка відповідає вимогам до часу відповіді. Кінцевий вибір доцільно підтверджувати оцінюванням якості на контрольному наборі запитів, оскільки аналіз розподілу ВСШ лише звужує коло розумних варіантів. Подальші дослідження можуть охопити вибір нерівномірної сітки кроків та зіставлення розподілу ВСШ з метриками якості генерації.

Усі наведені значення можна відтворити за формулами (1)–(3) та параметрами графіків із [1, 2]: розрахунок не містить випадкових величин, не залежить від апаратного забезпечення й виконується за частки секунди на звичайному комп'ютері. Це дозволяє вбудувати перевірку розподілу ВСШ безпосередньо в процедуру розгортання моделі та повторювати її для кожної нової конфігурації графіка без додаткових витрат на навчання. Водночас остаточна оцінка придатності конфігурації має спиратися також на експертне або метричне оцінювання якості зображень.

Висновки. 1. За лінійного графіка ВСШ < 1 настає при $t^* = 260$, за косинусного – при $t^* = 497$. 2. Частка майже шумових кроків становить 32,6 % для лінійного та 6,4 % для косинусного графіка (34 % і 8 % для DDIM із S = 50). 3. Обидва графіки мають ненульове кінцеве ВСШ, що слід враховувати в системі, зокрема застосувавши масштабування (3).

Список використаних джерел

1. Ho J., Jain A., Abbeel P. Denoising diffusion probabilistic models. Advances in Neural Information Processing Systems. 2020. Vol. 33. P. 6840–6851. URL: https://arxiv.org/abs/2006.11239 (дата звернення: 12.10.2026).

2. Nichol A., Dhariwal P. Improved denoising diffusion probabilistic models. Proceedings of Machine Learning Research. 2021. Vol. 139. P. 8162–8171. URL: https://arxiv.org/abs/2102.09672 (дата звернення: 12.10.2026).

3. Song J., Meng C., Ermon S. Denoising diffusion implicit models. International Conference on Learning Representations (ICLR 2021). URL: https://arxiv.org/abs/2010.02502 (дата звернення: 12.10.2026).

4. Rombach R., Blattmann A., Lorenz D., Esser P., Ommer B. High-resolution image synthesis with latent diffusion models. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2022. P. 10684–10695. URL: https://arxiv.org/abs/2112.10752 (дата звернення: 12.10.2026).

5. Lin S., Liu B., Li J., Yang X. Common diffusion noise schedules and sample steps are flawed. IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV 2024). URL: https://arxiv.org/abs/2305.08891 (дата звернення: 12.10.2026).

УДК 004.85

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОСТИХ МЕТОДІВ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗА ФІЗИКО-ХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЗРАЗКІВ ВИНА

Ренат Бондар

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: О. Є. Богатєнкова,
асистент Миколаївський національний аграрний університет

Оцінювання та класифікація виноробної продукції за лабораторними показниками є типовим завданням підтримки рішень у виноробстві: фізико-хімічні тести доступні на етапі сертифікації, а моделі інтелектуального аналізу даних можуть доповнювати роботу експертів [1]. Для невеликих вибірок практично важливо обрати простий, інтерпретований класифікатор і з’ясувати, наскільки його результат залежить від попередньої обробки ознак [2].

Мета дослідження – порівняти за точністю та макро-F1 чотири прості методи класифікації (метод k найближчих сусідів, наївний байєсівський класифікатор, логістичну регресію, дерево рішень) на відкритих даних хімічного аналізу вина та оцінити вплив стандартизації ознак на метод k найближчих сусідів.

Використано відкритий набір Wine з репозиторію UCI [3]: 178 зразків вина з однієї області Італії, 13 неперервних показників хімічного аналізу (вміст спирту, яблучної кислоти, золи, фенолів, проліну тощо) та три класи за сортом винограду (59, 71 і 48 зразків). Слід зазначити, що цільовою змінною є сорт, а не органолептична оцінка якості, яку моделюють у [1] на значно більших вибірках вина Vinho Verde; тому отримані результати стосуються порівняння методів на лабораторних показниках вина, а не прогнозування експертної оцінки якості. Моделі реалізовано в бібліотеці scikit-learn [4]. Для методу k найближчих сусідів (k = 5) ознаки стандартизовано за формулою (1), відстань між зразками обчислювали за формулою (2):

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_j}{\sigma_j} \qquad (1)$$

$$d(x, x') = \sqrt{\sum_{j=1}^{13} (x_j - x'_j)^2} \qquad (2)$$

де x_{ij} – значення j-ї ознаки i-го зразка; μ_j і σ_j – середнє та стандартне відхилення j-ї ознаки на навчальній вибірці; $d(x, x')$ – евклідова відстань між зразками. Також застосовано гаусів наївний Байєс, логістичну регресію з L2-регуляризацією (C = 1) та дерево рішень глибиною 3; гіперпараметри не підбирали. Якість оцінювали п’ятикратною стратифікованою перехресною перевіркою, повтореною 10 разів (50 розбиттів, початкове значення генератора 42); стандартизацію виконували лише на навчальних блоках, щоб уникнути витоку інформації. Показники – частка правильних відповідей (accuracy) і макро-F1.

Усереднені за 50 розбиттями показники наведено в табл. 1 та на рис. 1. Найвищу точність отримано для логістичної регресії (0,983), далі йдуть наївний Байєс (0,972) і метод k найближчих сусідів зі стандартизацією (0,964); дерево рішень глибиною 3 дало 0,905. Різниця між першими трьома методами (до 1,9 в. п.) не перевищує розкиду оцінок між розбиттями (стандартне відхилення 0,016-0,031), тому на цих даних не можна стверджувати переваги одного з них.

Таблиця 1 - Результати перехресної перевірки (середнє ± стандартне відхилення, 50 розбиттів)

Метод	Accuracy	Macro-F1
kNN (k=5), стандартизація	0,964 ± 0,031	0,964 ± 0,031
kNN (k=5), без стандартизації	0,711 ± 0,071	0,690 ± 0,074
Наївний Байєс (Гауса)	0,972 ± 0,032	0,973 ± 0,031
Логістична регресія	0,983 ± 0,016	0,983 ± 0,016
Дерево рішень (глибина 3)	0,905 ± 0,051	0,906 ± 0,051

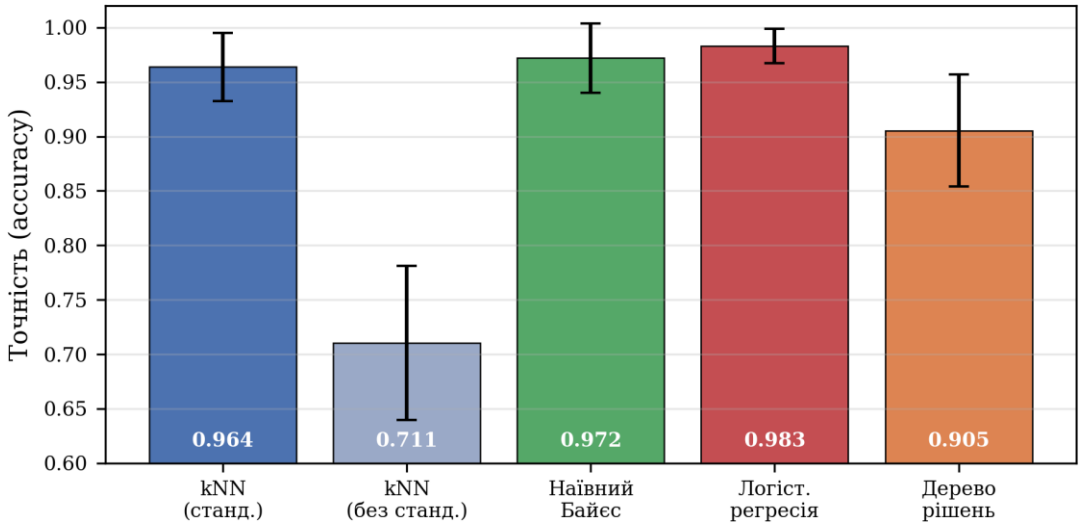


Рис. 1. Точність (accuracy) методів класифікації; позначено середнє та стандартне відхилення

Найбільш показовим є вплив масштабування: без стандартизації точність методу k найближчих сусідів становить 0,711, що на 25,3 в. п. нижче, ніж зі стандартизацією (макро-F1 – 0,690 проти 0,964). Причина полягає в тому, що в наборі ознаки мають різні порядки величин (зокрема, пролін вимірюється сотнями одиниць, тоді як інші показники – одиницями), і відстань (2) визначається переважно однією ознакою. Дерево рішень глибиною 3 поступається лінійним та ймовірнісним моделям, імовірно через обмежену глибину; цю гіпотезу в роботі не перевіряли.

Щоб перевірити, чи не залежить висновок про метод k найближчих сусідів від вибору k = 5, оцінку повторено за того самого протоколу для k від 1 до 21 (табл. 2). Точність зростає від 0,954 (k = 1) до 0,970 (k = 21), тобто в межах 1,6 в. п., що менше за стандартне відхилення оцінок за окремими розбиттями. Отже, на цих даних метод стійкий до вибору k, а головним чинником якості є стандартизація ознак.

Таблиця 2 – Залежність точності kNN (зі стандартизацією) від числа сусідів k

k	1	3	5	7	11	15	21
Accuracy	0,954	0,955	0,964	0,967	0,964	0,969	0,970
Станд. відхил.	0,035	0,036	0,031	0,028	0,027	0,029	0,025

Для логістичної регресії підсумкову матрицю помилок (табл. 3) отримано об'єднанням прогнозів на тестових блоках 10 незалежних 5-блокових розбиттів (усього 1780 прогнозів). Правильно класифіковано 1742 зі 1780 зразків (0,979). Усі помилки пов'язані з класом 2, який є найчисленнішим і за значеннями показників лежить між двома іншими: 27 його зразків віднесено до інших класів (до класу 3 – 21, до класу 1 – 6), ще 11 зразків інших класів помилково віднесено до класу 2. Зразки класів 1 і 3 між собою практично не змішуються. Це узгоджується з очікуванням, що найскладніше розділяти сусідні за хімічним складом групи.

Таблиця 3 - Матриця помилок логістичної регресії (сума за 10 розбиттями, n = 1780)

Фактичний клас \ прогноз	Клас 1	Клас 2	Клас 3
Клас 1	589	1	0
Клас 2	6	683	21
Клас 3	0	10	470

Результати показують, що для табличних лабораторних даних невеликого обсягу достатньо найпростіших моделей, а стандартизація ознак є обов'язковим кроком для методів, що ґрунтуються на відстанях. Запропонований протокол оцінювання (повторна стратифікована перехресна перевірка) можна застосувати й до даних про органолептичну якість вина [1]. Обмеження: невелика вибірка, добре розділені класи, відсутність налаштування гіперпараметрів і статистичних тестів між моделями; результати не переносяться автоматично на прогнозування експертної оцінки якості.

Висновки. 1. На наборі Wine логістична регресія, наївний Байєс і k найближчих сусідів зі стандартизацією досягли точності 0,96–0,98 без статистично підтвердженої різниці між ними. 2. Відмова від стандартизації знижує точність методу k найближчих сусідів приблизно на 25,3 в. п. 3. Результат kNN стійкий до вибору k (k = 1–21: точність 0,95–0,97), а всі помилки логістичної регресії пов'язані з класом 2. 4. Для подальшої роботи доцільно застосувати той самий протокол до набору Wine Quality [1].

Список використаних джерел

1. Cortez P., Cerdeira A., Almeida F., Matos T., Reis J. Modeling wine preferences by data mining from physicochemical properties. Decision Support Systems. 2009. Vol. 47, No. 4. P. 547-553. DOI: 10.1016/j.dss.2009.05.016.

2. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. 2nd ed. New York : Springer, 2009. 745 p.

3. Aeberhard S., Forina M. Wine. UCI Machine Learning Repository. 1991. URL: https://archive.ics.uci.edu/dataset/109/wine (дата звернення: 16.10.2026).

4. Pedregosa F. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python. Journal of Machine Learning Research. 2011. Vol. 12. P. 2825-2830.

УДК 004.85:658.8

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЧИСЛА КЛАСТЕРІВ НА ЯКІСТЬ СЕГМЕНТАЦІЇ СПОЖИВАЧІВ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ

Злата Волохова

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: О. О. Жебко,
асистент Миколаївський національний аграрний університет

Інтернет-торгівля накопичує великі обсяги транзакційних даних, які дають змогу відійти від єдиної для всіх маркетингової політики до сегментації споживачів за їхньою фактичною поведінкою. Найпоширенішим підходом є RFM-аналіз, у якому кожного клієнта описують давністю останньої

покупки (Recency), частотою покупок (Frequency) та сумою витрат (Monetary) [1]. Поєднання RFM-ознак із кластеризацією методом k-means дає змогу автоматично виділяти групи клієнтів і застосовувати до них різні пропозиції та програми лояльності [2]. Проте метод k-means потребує попереднього задання числа кластерів k, і саме цей гіперпараметр значною мірою визначає якість та практичну цінність сегментації: надто мале k об'єднує різнорідних клієнтів, а надто велике – дробить однорідні групи на штучні сегменти.

Мета роботи – дослідити, як число кластерів впливає на якість сегментації споживачів інтернет-магазину, та обґрунтувати підхід до вибору k. Для цього поставлено завдання: сформувати RFM-ознаки клієнтів; виконати кластеризацію для k від 2 до 10; оцінити якість розбиття за кількома внутрішніми критеріями; порівняти результати й сформулювати рекомендації.

Кожного клієнта описано вектором ознак $x = (R, F, M)$. Алгоритм k-means розбиває множину з n клієнтів на k кластерів $C_1, \ldots, C_k$ так, щоб мінімізувати сумарний внутрішньокластерний квадрат відстаней (1). Для зменшення чутливості до початкового вибору центрів застосовано ініціалізацію k-means++, яка забезпечує оцінку якості розв'язку O(log k) відносно оптимального [3].

$$J(k) = \sum_{j=1..k} \sum_{x \in C_j} \|x - \mu_j\|^2, \qquad (1)$$

де μ_j – центроїд кластера C_j.

Величина $J(k)$ монотонно спадає зі зростанням k, тому сама по собі не дозволяє вибрати число кластерів і використовується в методі ліктя – пошуку точки, після якої спад суттєво сповільнюється. Для об'єктивнішої оцінки застосовано внутрішні критерії. Коефіцієнт силуету [4] для об'єкта i обчислюється за формулою (2), де $a(i)$ – середня відстань до об'єктів власного кластера, $b(i)$ – найменша середня відстань до об'єктів іншого кластера; значення, ближчі до 1, свідчать про компактніші й краще відокремлені кластери, а середній силует може слугувати для вибору k [4].

$$s(i) = (b(i) - a(i)) / \max\{a(i), b(i)\}. \qquad (2)$$

Індекс Девіса–Болдіна [5] визначає середню подібність кожного кластера до найближчого сусіднього, тому кращому розбиттю відповідають менші значення. Додатково використано індекс Калінскі–Гарабаша (відношення міжкластерного розкиду до внутрішньокластерного; більші значення кращі) [6]. До інших підходів належить статистика розриву, що порівнює внутрішньокластерний розкид із очікуваним для еталонного розподілу [7]. Розрахунки виконано мовою Python із бібліотекою scikit-learn [8].

Для експерименту сформовано синтетичний набір даних, що імітує RFM-профілі 5000 клієнтів інтернет-магазину з чотирьох заздалегідь заданих груп: активні лояльні (20 %), середні (30 %), нові (25 %) та втрачені клієнти (25 %). Значення R, F, M генеруються логнормальними розподілами з різними медіанами, що відтворює типову правосторонню асиметрію транзакційних даних. Перед кластеризацією ознаки логарифмовано ($\log(1 + x)$) і стандартизовано. Оскільки істинне число груп відоме (чотири), можна перевірити, чи критерії його виявляють, а також порівняти знайдені кластери із заданими за скоригованим індексом Ренда (ARI). Для кожного $k = 2, \ldots, 10$ виконано k-means (ініціалізація k-means++, 10 запусків, фіксоване початкове значення генератора випадкових чисел); результати наведено в табл. 1 і на рис. 1.

Таблиця 1 – Показники якості кластеризації залежно від k

k	J(k)	Силует	Девіс–Болдін	Калінскі–Гарабаш	ARI
2	6627	0,551	0,566	6315	0,273
3	3939	0,487	0,775	7017	0,651
4	**1789**	**0,589**	**0,574**	**12301**	**0,982**
5	1653	0,475	0,991	10084	0,859
6	1530	0,402	1,212	8793	0,797
7	1427	0,318	1,401	7912	0,697

k	J(k)	Силует	Девіс–Болдін	Калінскі–Гарабаш	ARI
8	1326	0,235	1,545	7355	0,589
9	1239	0,238	1,446	6927	0,531
10	1181	0,238	1,386	6491	0,491



Рис. 1. Залежність суми квадратів, середнього силуету та індексу Девіса–Болдіна від k (пунктир – k = 4)

Залежність якості від k не є монотонною. Сума квадратів $J(k)$ різко зменшується при переході від $k = 3$ до $k = 4$ (на 54,6 %), тоді як перехід до $k = 5$ дає лише 7,6 %, тобто «лікоть» спостерігається при $k = 4$. Середній силует досягає максимуму 0,589 при $k = 4$, далі знижується до 0,475 при $k = 5$ і стабілізується на рівні близько 0,24 при $k \geq 8$, що вказує на слабку структуру кластерів [4]. Індекс Калінскі–Гарабаша також максимальний при $k = 4$ (12301). Індекс Девіса–Болдіна має мінімум при $k = 2$ (0,566), проте при $k = 4$ майже не відрізняється (0,574), а далі зростає до 1,54 при $k = 8$; імовірно, грубе розбиття на два макросегменти також є добре відокремленим. Таким чином, три з чотирьох підходів вказують на $k = 4$. Показовим є й збіг із заданою структурою: ARI становить 0,982 при $k = 4$, тоді як при $k = 2$ лише 0,273, а при $k = 10$ – 0,491, тобто як недостатнє, так і надмірне число кластерів спотворює сегментацію.

З практичної точки зору при $k = 4$ кожен кластер має змістовну інтерпретацію. Медіанні профілі в початкових одиницях такі: клієнти з давністю 12 днів, 14 замовленнями та сумою близько 9,6 тис. грн (активні лояльні); 45 днів, 4 замовлення, 2,8 тис. грн (середні); 20 днів, 2 замовлення, 0,7 тис. грн (нові); 187 днів, 2 замовлення, 1,2 тис. грн (втрачені). Для кожної групи можна сформувати окрему стратегію утримання чи реактивації. При $k \geq 6$ виникають сегменти, які розділяють однорідні групи й не мають чіткої бізнес-інтерпретації. Оскільки дані модельні, на реальних даних екстремуми критеріїв виражені слабше, тому вибір k слід підтверджувати також стабільністю кластерів за повторних запусків та змістовністю сегментів.

Висновки. Число кластерів істотно впливає на якість сегментації споживачів: на модельних RFM-даних найкращі значення силуету (0,589), індексу Калінскі–Гарабаша та ARI (0,982) отримано при $k = 4$, що збігається із заданою структурою, тоді як при $k = 8$–10 середній силует знижується до 0,24. Жоден критерій не слід застосовувати ізольовано: мінімум індексу Девіса–Болдіна при $k = 2$ демонструє, що вибір k потрібно ґрунтувати на сукупності методу ліктя, силуету та інших індексів і на бізнес-інтерпретації сегментів. Подальші дослідження передбачають перевірку підходу на реальних транзакційних даних інтернет-магазину та порівняння зі статистикою розриву [7].

Список використаних джерел

1. RFM-аналіз: вчимося сегментувати клієнтів. SendPulse. URL: https://sendpulse.ua/ua/blog/guide-to-building-an-rfm-analysis (дата звернення: 08.10.2026).

2. Serwah A. M. A., Khaw K. W., Cheang S. P. Y., Alnoor A. Customer analytics for online retailers using weighted k-means and RFM analysis. Data Analytics and Applied Mathematics. 2023. Vol. 4, No. 1. P. 1–6. DOI: 10.15282/daam.v4i1.9171. URL: https://journal.ump.edu.my/index.php/daam/article/view/9171 (дата звернення: 08.10.2026).

3. Arthur D., Vassilvitskii S. k-means++: the advantages of careful seeding. Proceedings of the 18th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA ’07). Philadelphia : SIAM, 2007. P. 1027–1035. URL: https://doi.org/10.1145/1283383.1283494 (дата звернення: 08.10.2026).

4. Rousseeuw P. J. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. Journal of Computational and Applied Mathematics. 1987. Vol. 20. P. 53–65. URL: https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7 (дата звернення: 08.10.2026).

5. Davies D. L., Bouldin D. W. A cluster separation measure. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1979. Vol. PAMI-1, No. 2. P. 224–227. URL: https://doi.org/10.1109/TPAMI.1979.4766909 (дата звернення: 08.10.2026).

6. Clustering. Scikit-learn documentation. URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/clustering.html (дата звернення: 08.10.2026).

7. Tibshirani R., Walther G., Hastie T. Estimating the number of clusters in a data set via the gap statistic. Journal of the Royal Statistical Society: Series B. 2001. Vol. 63, No. 2. P. 411–423. URL: https://doi.org/10.1111/1467-9868.00293 (дата звернення: 08.10.2026).

8. Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A. et al. Scikit-learn: machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research. 2011. Vol. 12. P. 2825–2830. URL: https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html (дата звернення: 08.10.2026).

УДК 004.932:004.85

ПОРІВНЯННЯ КОМПАКТНОЇ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ТА LBP-КЛАСИФІКАТОРА ЗА ОБСЯГОМ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ ПРИ КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕКСТУР МАТЕРІАЛІВ

Владислав Макеєв, Олександр Жебко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Автоматичне розпізнавання матеріалів за зображеннями їхніх текстур застосовують у контролі якості, сортуванні сировини та агропромисловому виробництві. Глибокі згорткові нейронні мережі (CNN) стали основним інструментом такої класифікації [2, 3], однак вони потребують підбору навчальних даних, тоді як класичні дескриптори, як-от локальні бінарні шаблони (LBP) [1], мають вбудовану інваріантність до яскравості та повороту. На практиці розмічених зразків часто мало, тому важливо знати, з якого обсягу вибірки компактна CNN починає відповідати простому базовому методу.

Текстура задається статистикою локальних змін яскравості, тому її опис залежить від масштабу й умов освітлення. Дескриптор LBP порівнює яскравість кожного пікселя з яскравістю сусідів на колі заданого радіуса та кодує результат бінарним числом; гістограма таких кодів у фрагменті слугує вектором ознак [1]. Згорткові мережі натомість навчаються витягувати ознаки безпосередньо з пікселів, а їхні перші шари можна розглядати як банк фільтрів, параметри якого підбираються під задачу [2]. Для оцінювання таких підходів зазвичай використовують великі колекції, зокрема набір DTD із 5640 зображень у 47 категоріях [3]; водночас у прикладних задачах власних розмічених зображень зазвичай значно менше.

Мета дослідження – кількісно порівняти точність компактної CNN і класифікатора LBP+SVM залежно від кількості навчальних фрагментів текстури та перевірити стійкість обох моделей до адитивного шуму.

Використано чотири реальні напівтонові зображення 512×512 пікселів із відкритої бібліотеки scikit-image [4]: цегляна кладка, трава, гравій і поверхня Місяця. Фрагменти розміром 64×64 пікселі стандартизували (нульове середнє, одиничне стандартне відхилення) і квантували до 8 біт. Щоб уникнути витоку даних, навчальні фрагменти випадково добирали зі стовпців 0–319 кожного зображення, а тестові – зі стовпців 352–511 з кроком 16 пікселів (відступ 32 пікселі), що дало 812 тестових фрагментів (по 203 на клас). Кількість навчальних фрагментів на клас n змінювали від 2 до 256; для кожного n виконано 10 незалежних запусків з різними вибірками та ініціалізаціями. CNN

містить три блоки «згортка 3×3 – пакетна нормалізація – ReLU – max-pooling» (16, 32, 64 фільтри), глобальне усереднення та лінійний шар (23 780 параметрів), реалізована в PyTorch [5]; навчання: Adam, швидкість 10^{-3}, 40 епох, пакет 32, без аугментації. Базовий метод – гістограми рівномірних інваріантних до повороту LBP [1] для (P, R) = (8, 1), (16, 2), (24, 3) (54 ознаки, корінь із частот) і SVM із RBF-ядром (C = 10). Точність оцінювали за формулою:

$$Acc = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} 1(\hat{y}_i = y_i) \quad (1)$$

де N – кількість тестових фрагментів; y_i та $\hat{y}_i$ – істинний і передбачений клас; $1(\cdot)$ – індикатор події. Код LBP для центрального пікселя з яскравістю g_c та P сусідів g_p на радіусі R визначається співвідношенням [1]:

$$LBP(P,R) = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c)\cdot 2^p\,,\ s(x) = 1 \text{ при } x \geq 0, s(x) = 0 \text{ при } x < 0 \quad (2)$$

Додатково тестові фрагменти зашумлювали гауссовим шумом із σ = 0,5 (у стандартизованих одиницях); моделі навчали лише на чистих даних.

Порівняння з LBP обрано тому, що цей дескриптор є усталеним базовим методом класифікації текстур [1], а згорткові шари мережі можна розглядати як навчані банки фільтрів [2]. Компактну архітектуру використано навмисно: за малих вибірок велика мережа переозначується, а дослідження вимагає лише порівняння за зростання обсягу даних. Розділення навчальних і тестових фрагментів за просторовими ділянками виключає ситуацію, коли однакові пікселі потрапляють в обидві вибірки.

Узагальнені результати наведено в табл. 1 і на рис. 1. Для LBP+SVM точність на чистих даних практично дорівнює 100 % уже за n = 2. CNN за n = 2 показує 86.2 ± 14.9 %, за n = 16 – 97.8 ± 5.2 %, а починаючи з n = 32 усі 10 запусків дають 100 %. Великий розкид за малих n свідчить, що мережа має «вивчити» фільтри з небагатьох прикладів, тоді як LBP задає ознаки апріорі. За наявності шуму обидві моделі втрачають працездатність: точність CNN становить 29–35 %, а LBP+SVM – близько 25 %, тобто рівень випадкового вгадування для чотирьох класів. Причина: шум змінює знаки малих різниць яскравості, на яких побудовано LBP, а мережа не бачила такого викривлення під час навчання.

Динаміка точності CNN має два характерні етапи. За n від 2 до 8 середня точність змінюється мало (86,2; 89,1 та 89,3 %), а стандартне відхилення залишається великим (12,5–14,9 в. п.): результат істотно залежить від того, які саме фрагменти потрапили до навчальної вибірки та з яких початкових ваг стартувало навчання. Помітніше зростання спостерігається між n = 8 і n = 16, де середня точність досягає 97,8 %, а розкид зменшується до 5,2 в. п.; починаючи з n = 32 усі запуски збігаються.

Результати на зашумлених даних слід трактувати обережно. Для чотирьох збалансованих класів рівень випадкового вгадування становить 25 %, і саме на цьому рівні перебуває LBP+SVM (25,0–25,1 %); це узгоджується з тим, що класифікатор відносить усі фрагменти до одного класу, проте підтвердження потребує матриці помилок, яку в роботі не наводили. Точність CNN (29,0–34,9 %) лише на кілька відсоткових пунктів перевищує випадковий рівень і не зростає з обсягом навчальної вибірки: додаткові чисті приклади не компенсують відсутності шуму в навчальних даних.

Таблиця 1. Точність класифікації на тестових фрагментах, % (середнє ± СВ за 10 запусків)

n	CNN, чисті дані	LBP+SVM, чисті дані	CNN, шум σ=0,5	LBP+SVM, шум σ=0,5
2	86.2 ± 14.9	100.0 ± 0.0	31.0	25.0
4	89.1 ± 12.5	100.0 ± 0.0	29.5	25.0
8	89.3 ± 13.1	100.0 ± 0.0	34.9	25.1
16	97.8 ± 5.2	100.0 ± 0.0	32.3	25.0
32	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	30.6	25.0
64	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	30.5	25.0
128	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	29.0	25.0

n	CNN, чисті дані	LBP+SVM, чисті дані	CNN, шум σ=0,5	LBP+SVM, шум σ=0,5
256	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	29.0	25.0

Для задач із малою кількістю розмічених зображень простий базовий метод LBP+SVM слід перевіряти першим; перехід до CNN виправданий, коли є щонайменше близько 30 фрагментів на клас, а також для складніших класів і за потреби навчання з аугментацією, зокрема шумовою.
Практичне значення отриманих результатів полягає в порядку дій під час розроблення систем візуального контролю. Спочатку варто побудувати простий еталон на основі LBP і SVM, який має небагато параметрів і не потребує великого навчального набору; лише після цього, якщо точність недостатня або класи складніші, переходити до CNN. Оцінювати моделі слід і на зашумлених зображеннях, оскільки в реальних умовах зйомки спотворення неминучі.

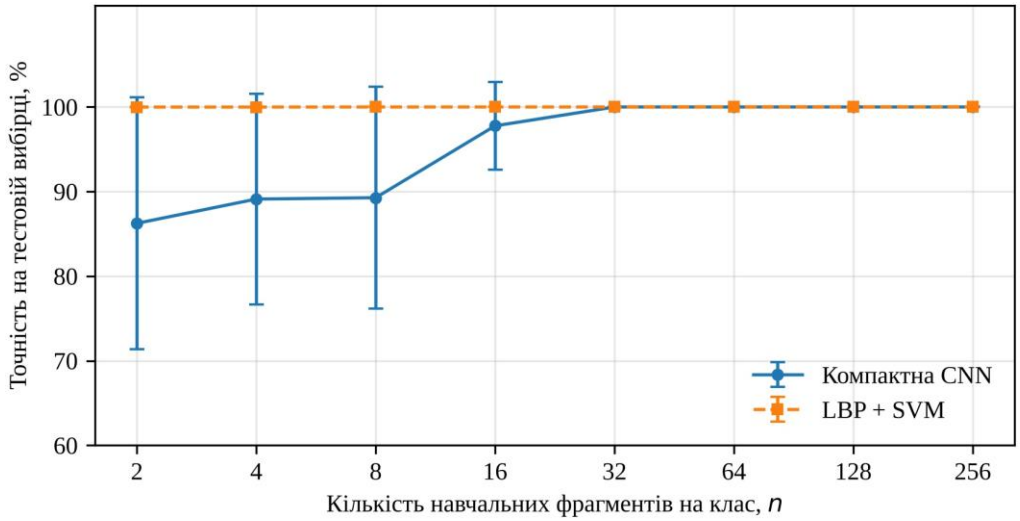


Рис. 1. Залежність точності від кількості навчальних фрагментів на клас (стовпчики похибок – СВ)

Використано лише чотири зображення (по одному на клас), а тестові фрагменти узято з іншої ділянки того самого зображення; тому оцінка не відображає узагальнення між різними зразками матеріалу, і вихід LBP на рівень 100 % зумовлений легкістю задачі. Тестові фрагменти перекриваються, тож вони не є повністю незалежними. Результати не можна переносити на великі набори на кшталт DTD [3].

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розділення даних за різними зразками матеріалу, збільшення кількості класів (наприклад, на наборі DTD [3]), шумову аугментацію під час навчання CNN та вимірювання часу навчання й виведення.

Висновки. 1. На чотирьох класах текстур LBP+SVM досягає майже 100 % точності вже за 2 фрагментів на клас, а компактна CNN (23 780 параметрів) – лише від 32 фрагментів на клас. 2. Обидві моделі, навчені на чистих даних, нестійкі до гауссового шуму σ = 0,5. 3. Для коректної оцінки переваг CNN необхідні міжзразкове розділення даних і складніші набори.

Список використаних джерел

1. Ojala T., Pietikäinen M., Mäenpää T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2002. Vol. 24, No. 7. P. 971–987. DOI: https://doi.org/10.1109/TPAMI.2002.1017623.

2. Andrearczyk V., Whelan P. F. Using filter banks in convolutional neural networks for texture classification. Pattern Recognition Letters. 2016. Vol. 84. P. 63–69. DOI: https://doi.org/10.1016/j.patrec.2016.08.016.

3. Cimpoi M., Maji S., Kokkinos I., Mohamed S., Vedaldi A. Describing textures in the wild. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2014. P. 3606–3613.

4. van der Walt S., Schönberger J. L., Nunez-Iglesias J. et al. scikit-image: image processing in Python. PeerJ. 2014. Vol. 2. Art. e453. DOI: https://doi.org/10.7717/peerj.453.

5. Paszke A., Gross S., Massa F. et al. PyTorch: an imperative style, high-performance deep learning library. Advances in Neural Information Processing Systems 32 (NeurIPS 2019). 2019. P. 8024–8035.

УДК 519.237.8

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ КРАЇН ЗА РІВНЕМ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ТА ОЧІКУВАНОЮ ТРИВАЛІСТЮ ЖИТТЯ МЕТОДОМ K-СЕРЕДНІХ

Олександр Хлівний

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: О. О. Жебко,
асистент Миколаївський національний аграрний університет

Соціально-економічний розвиток держав є багатовимірним явищем, яке неможливо достовірно охарактеризувати одним рейтингом або окремим абсолютним показником. Обсяг національного виробництва свідчить про економічні можливості, однак сам по собі не описує стан здоров’я населення, тривалість життя чи доступність суспільних благ. Країни зі схожими показниками виробництва на одну особу можуть відрізнятися за соціальними результатами, а держави з різним економічним потенціалом – демонструвати близькі демографічні характеристики. Тому актуальним є використання методів багатовимірного аналізу, які дозволяють виявляти групи подібних країн без попереднього призначення їм нормативних категорій.

Кластерний аналіз групує спостереження за близькістю обраних характеристик і, на відміну від ранжування лише за ВВП, враховує кілька ознак одночасно. Оскільки результат залежить від вибору показників, нормування та складу вибірки, важливо оцінювати не лише склад груп, а й якість розбиття. Теоретичну основу алгоритму k-середніх закладено Дж. Мак-Квіном, а силуетний критерій запропоновано П. Руссеєм [5; 6].

Метою дослідження є визначення можливості виокремити інтерпретовані групи країн за поєднанням економічного та соціально-демографічного показників на невеликій міжрегіональній вибірці за 2023 рік. Дослідницьке питання сформульовано так: чи дозволяє стандартизована двовимірна модель k-середніх розрізнити три групи країн із помітно відмінними профілями ВВП на одну особу та очікуваної тривалості життя? Об’єкт дослідження – відібрані країни світу; предмет – структура їх подібності у просторі двох кількісних ознак. Робота має характер відтворюваного навчально-аналітичного обчислювального експерименту, а не репрезентативної класифікації всіх держав.

Інформаційну основу становлять два відкриті масиви даних за календарний 2023 рік. Економічна змінна – ВВП на одну особу за паритетом купівельної спроможності (ПКС) у постійних міжнародних доларах 2021 року, код Світового банку NY.GDP.PCAP.PP.KD [1]. Урахування ПКС зменшує спотворення порівняння, пов’язане з відмінностями рівнів цін між країнами. Соціальна змінна – очікувана тривалість життя при народженні для обох статей, років, за оцінками Відділу народонаселення Департаменту ООН з економічних і соціальних питань у виданні World Population Prospects 2024 [2]. На рівні країни вона відображає узагальнену поточну структуру смертності, а не гарантовану тривалість життя конкретної людини.

Значення обох показників звірено з відкритими табличними виданнями за 2023 рік, що відтворюють дані відповідних першоджерел [3; 4]. Для зіставності використовуються 12 країн, відібраних цілеспрямовано з різних географічних регіонів і діапазонів доходу: Норвегія, США, Німеччина, Японія, Польща, Туреччина, Китай, Бразилія, Україна, Південно-Африканська

Республіка, Індія та Нігерія. Вибірка забезпечує наявність різних поєднань ознак, але не є випадковою. Економічні значення округлено до найближчого міжнародного долара, демографічні – до 0,001 року; усі розрахунки нижче виконано саме за наведеними в таблиці округленими числами. Пропущених значень у відібраних спостереженнях немає.

Таблиця 1 - Вихідні дані та результат кластеризації 12 країн у 2023 р.

Країна	ВВП на особу за ПКС, міжнар. дол.	Очікувана тривалість життя, років	Кластер
Норвегія	94 365	83,308	I
США	74 352	79,304	I
Німеччина	63 140	81,378	I
Японія	47 387	84,712	I
Польща	43 673	78,633	II
Туреччина	35 069	77,156	II
Китай	22 687	77,953	II
Бразилія	19 080	75,848	II
Україна	15 917	73,423	II
ПАР	13 695	66,139	III
Індія	8 871	72,003	II
Нігерія	7 843	54,462	III

Таблиця 1 демонструє суттєві відмінності як у матеріальному виробництві на одну особу, так і в демографічному результаті. Максимум економічного показника серед спостережуваних країн становить 94 365 міжнародних доларів у Норвегії, мінімум – 7 843 долари в Нігерії; відношення між ними дорівнює приблизно 12,03. Найвищу очікувану тривалість життя має Японія (84,712 року), найнижчу – Нігерія (54,462 року), різниця дорівнює 30,250 року. Уже ці зіставлення вказують на значну неоднорідність сукупності. Водночас вони не дають відповіді, які країни є найбільш подібними з урахуванням одночасно двох вимірів.

Перед групуванням показники стандартизовано, оскільки їхні одиниці та числові масштаби принципово різняться. Без попереднього перетворення Евклідова відстань майже цілком визначалася б ВВП, вимірюваним десятками тисяч доларів, тоді як тривалість життя характеризується десятками років. Для кожної ознаки обчислено середнє арифметичне та стандартне відхилення з дільником n = 12. Стандартизоване значення утворює безрозмірну координату, а одна одиниця після перетворення відповідає одному стандартному відхиленню в межах обраної вибірки.

$$z_{ij} = (x_{ij} - \mu_j) / \sigma_j \qquad (1)$$

Тут x_{ij} – вихідне значення показника j для країни i; μ_j – середнє значення показника за 12 країнами; σ_j – його стандартне відхилення. У підготовленому наборі даних μ для ВВП становить 37 173,25 міжнародного долара, σ – 26 894,82 долара; для тривалості життя відповідні значення дорівнюють 75,360 та 7,959 року. Наприклад, для України стандартизований ВВП дорівнює (15 917 − 37 173,25) / 26 894,82 = −0,790, а стандартизована тривалість життя – (73,423 − 75,360) / 7,959 = −0,243. Отже, обидва значення для України перебувають нижче середніх саме в досліджуваній сукупності.

Основним методом обрано k-середніх (k-means), який розподіляє спостереження між k групами за мінімізацією суми квадратів відстаней від об’єктів до центрів своїх кластерів. Для двох стандартизованих координат використано звичайну евклідову метрику. Вибір цього алгоритму обумовлено невеликим обсягом даних, прозорою цільовою функцією, можливістю безпосереднього відображення результату на площині та простотою відтворення обчислень [5]. Він не вимагає наявності еталонних міток класів або попередньої експертної шкали «розвинена / нерозвинена країна».

$$J = \sum_{r=1}^{k} \sum_{i} \in C_r \|z_i - m_r\|^2 \rightarrow min \quad (2)$$

У формулі (2) C_r означає множину країн r-го кластера, z_i – двовимірний стандартизований вектор країни, m_r – центроїд групи, k – кількість груп. Для відтворюваності обчислювального експерименту застосовано Python та реалізацію KMeans із параметрами n_init = 50, random_state = 42 і початковим вибором центрів k-means++. Багаторазова ініціалізація зменшує ймовірність зупинки на невдалому локальному розбитті; серед результатів 50 запусків збережено варіант із найменшим значенням цільової функції. Оскільки назви кластерів програмно довільні, після обчислення їх пронумеровано від I до III за спаданням середнього ВВП на одну особу.

Як допоміжний інструмент оцінювання взято середній коефіцієнт силуету [6]. Для кожного об'єкта порівнюють $a(i)$ – середню відстань до інших країн свого кластера – та $b(i)$ – мінімальну середню відстань до країн іншого кластера. Додатні значення коефіцієнта свідчать про відносно вдале розміщення країни у групі, значення поблизу нуля – про межове положення, а від'ємні – про те, що вона в середньому ближча до іншої групи. Середній силует не оцінює соціально-економічну «якість» країни, а характеризує геометрію отриманого розбиття.

$$s(i) = [b(i) - a(i)] / max\{a(i), b(i)\} \quad (3)$$

Для кількості кластерів k = 2, 3, 4, 5 середні значення силуету становили відповідно 0,446; 0,431; 0,332; 0,256. Строго за максимумом цього критерію кращим є двокластерне розбиття. Проте результат із трьома групами поступається йому лише на 0,015 пункту та дозволяє змістовно відділити країни з особливо низькою очікуваною тривалістю життя від решти країн із помірним або низьким ВВП. Тому для головного дослідницького питання обрано k = 3 як компроміс між геометричною компактністю і деталізацією. Це аналітичне рішення, а не твердження про існування єдиного об'єктивно правильного числа соціально-економічних груп.

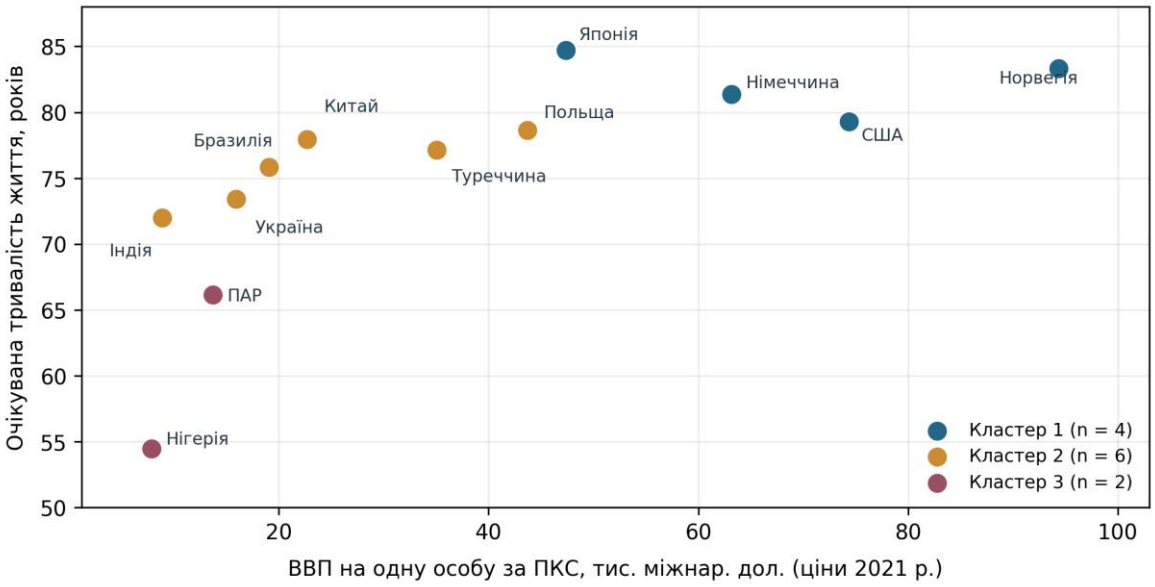


Рис. 1 - Розподіл 12 країн у просторі вихідних показників за результатами k-середніх, 2023 р.

Графічний результат на рис. 1 підтверджує, що метод розрізняє три профілі, але не створює абсолютно відокремлених блоків. Перший кластер об'єднує чотири країни – Норвегію, США, Німеччину та Японію – з відносно високим ВВП і високою тривалістю життя. Середній ВВП у цій групі становить 69 811 міжнародних доларів, а середня очікувана тривалість життя – 82,176 року. Водночас усередині групи є відмінності: Норвегія має найбільший у вибірці показник ВВП, тоді як Японія – найбільшу очікувану тривалість життя за помітно нижчого ВВП. Це ілюструє, чому двовимірна типологія інформативніша від простого ранжування за економічною ознакою.

Другий кластер включає шість країн: Польщу, Туреччину, Китай, Бразилію, Україну та Індію. Його центроїд у вихідних одиницях дорівнює 24 216 міжнародних доларів на одну особу та 75,836

року. Це найбільш численна і неоднорідна група. З одного боку, Польща з ВВП 43 673 долари та тривалістю життя 78,633 року розташована ближче до групи з високими значеннями, ніж більшість сусідів у кластері. З іншого боку, Індія має 8 871 долар на особу, але її очікувана тривалість життя дорівнює 72,003 року. Таким чином, кластер об'єднує не тотожні країни, а об'єкти з порівняно близькими двовимірними координатами після стандартизації.

Третій кластер утворюють Південно-Африканська Республіка та Нігерія. Їхній середній ВВП на одну особу дорівнює 10 769 міжнародним доларам, середня очікувана тривалість життя – 60,301 року. Важливо, що Нігерія відокремлюється переважно внаслідок дуже низького демографічного показника: 54,462 року порівняно з 66,139 року у ПАР. Відстань між ними за тривалістю життя становить 11,677 року, тобто ця група також не є внутрішньо однорідною. Тому її коректніше називати кластером з особливо низькими значеннями показника здоров'я населення, а не автоматично «найменш розвиненими державами» за сукупністю всіх можливих критеріїв.

Порівняння центроїдів показує, що середній ВВП першого кластера перевищує середній ВВП другого на 45 595 міжнародних доларів, а середня тривалість життя – на 6,340 року. Розрив між другим і третім кластерами за середньою тривалістю життя дорівнює 15,536 року; за ВВП – 13 447 доларів. Найбільше групи II та III відрізняються саме демографічною координатою. З огляду на стандартизацію обидві змінні мали однакову дисперсію на вході, отже перевага соціального показника в цьому конкретному розмежуванні виникла з фактичної конфігурації країн, а не через обрану одиницю вимірювання.

Для k = 3 значення суми внутрішньокластерних квадратів відстаней J становить 4,673 у стандартизованих одиницях у квадраті. Внески кластерів I, II та III дорівнюють відповідно 1,881; 1,692; 1,100. Середній силует усіх 12 спостережень дорівнює 0,431, що вказує на помірну виокремленість груп. Середні силуети першої, другої та третьої груп становлять 0,434; 0,512; 0,180. Особливо обережно слід трактувати третій кластер: для ПАР індивідуальний силует дорівнює −0,106. Отже, розподіл цієї країни перебуває поблизу межі двох груп, і під час зміни набору спостережень або ознак він може змінитися.

Окремої уваги заслуговує положення України. Її показники становлять 15 917 міжнародних доларів на одну особу та 73,423 року, що відповідає стандартизованим координатам приблизно (−0,790; −0,243). Україна віднесена до другого кластера разом із Бразилією, Китаєм, Туреччиною, Польщею та Індією. Це означає тільки відносну близькість за двома показниками за 2023 рік. Таке групування не дає підстав ототожнювати рівень розвитку перелічених економік, робити висновки про їхню інституційну подібність або приписувати виявлені відмінності окремим реформам, політичним рішенням чи подіям.

Практична цінність підходу – швидке формування порівняльних груп для наступного поглибленого дослідження. Замість довільного вибору країн-орієнтирів аналітик отримує перелік близьких за заданими координатами держав і надалі перевіряє їх за нерівністю доходів, освітою, доступом до медицини та зайнятістю. Такий алгоритм придатний для навчальних і прикладних міжнародних порівнянь.

Межі отриманого результату визначаються насамперед малим цілеспрямованим набором спостережень. Дванадцять країн становлять лише ілюстративний зріз різноманіття світу. Додавання інших держав може зрушити центроїди та змінити межі груп навіть без зміни самих показників раніше відібраних країн. З огляду на це некоректно поширювати склад отриманих кластерів на всі економіки або вважати три групи усталеною міжнародною класифікацією. Не проводилися ні статистичне вибіркове оцінювання параметрів генеральної сукупності, ні перевірка причинних гіпотез.

Другим обмеженням є вузький набір змінних. ВВП за ПКС на одну особу характеризує середній обсяг виробництва, але не розподіл доходів, економічну безпеку домогосподарств чи екологічні наслідки розвитку. Очікувана тривалість життя акумулює вплив багатьох факторів, проте сама собою не дозволяє встановити якість медичної допомоги або безпосередню роль доходів у смертності. Крім того, в розрахунку кожна країна отримала однакову вагу незалежно від чисельності населення. Це

відповідне рішення для кластеризації держав як окремих об’єктів, але не для аналізу становища «середньої людини» у світі.

Третє обмеження стосується датування та ревізій статистики. ВВП для 2023 року взято з оприлюдненого у 2026 році перерахованого ряду Світового банку, а демографічний показник – із редакції оцінок ООН 2024 року, тому значення можуть відрізнятися від архівних публікацій та від показників інших міжнародних організацій. Порівняння зроблено саме за роком, до якого належать спостереження, а не за роком публікації статистичних файлів. Усі вихідні числа, одиниці вимірювання, процедуру округлення й параметри алгоритму наведено явно, що дає можливість перевірити та повторити обчислення.

Порівняння обмежене одним роком: воно не показує, чи є склад кластерів стійким у часі. Інший спосіб масштабування, інші ваги показників або ширша вибірка можуть змінити групування. Наведене розбиття слід трактувати як результат конкретно визначеної аналітичної процедури, а його часову стабільність перевіряти окремо.

Отже, за результатами обчислювального експерименту на даних 2023 року для 12 країн підтверджено можливість отримати зрозумілу трьохкластерну типологію у двовимірному просторі ВВП за ПКС на одну особу та очікуваної тривалості життя. Перший кластер характеризується високими середніми значеннями обох ознак (69 811 доларів; 82,176 року), другий – проміжним профілем (24 216 доларів; 75,836 року), третій – низькими значеннями, особливо тривалості життя (10 769 доларів; 60,301 року). Ці числа є описом конкретної вибірки, а не універсальними порогами рівня розвитку.

Оцінка середнього силуету 0,431 показала помірну чіткість розбиття $k = 3$, причому силует для $k = 2$ є дещо вищим (0,446). Тому обрана кількість груп виправдана насамперед аналітичною інтерпретацією, а не формальним максимумом критерію. Виявлена межовість ПАР, неоднорідність проміжної групи та залежність від відбору країн підкреслюють необхідність обережних висновків. Подальшим логічним кроком є перевірка результату на ширшій вибірці та кількох послідовних роках, однак у межах цієї роботи поставлене вузьке дослідницьке питання вирішено на основі реальних перевірюваних даних і прозорих розрахунків.

Список використаних джерел

1. World Bank. World Development Indicators: GDP per capita, PPP (constant 2021 international $), indicator NY.GDP.PCAP.PP.KD. URL: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.KD (дата звернення: 14.10.2026).

2. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2024. New York: United Nations, 2024. URL: https://www.un.org/development/desa/pd/world-population-prospects-2024 (дата звернення: 14.10.2026).

3. Nations Inquiry. GDP per Capita (PPP), 2023: World Bank Group data [електронний набір даних; редакція 2026 р.]. URL: https://nationsinquiry.com/datasets/gdp-per-capita/2023 (дата звернення: 14.10.2026).

4. Nations Inquiry. Life Expectancy at Birth, 2023: UN DESA Population Division data [електронний набір даних]. URL: https://nationsinquiry.com/datasets/life-expectancy/2023 (дата звернення: 14.10.2026).

5. MacQueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. Berkeley: University of California Press, 1967. Vol. 1. P. 281–297. URL: https://digicoll.lib.berkeley.edu/record/113015 (дата звернення: 14.10.2026).

6. Rousseeuw P. J. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. Journal of Computational and Applied Mathematics. 1987. Vol. 20. P. 53–65. DOI: 10.1016/0377-0427(87)90125-7.

УДК 004.85:519.237.8

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ КЛАСТЕРІВ

Іван Гребенюк

Миколаївський національний аграрний університет. м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Т. С. Кучмійова,
кандидат економічних наук, доцент,
Миколаївський національний аграрний університет

Кластерний аналіз є одним із базових інструментів навчання без учителя та широко застосовується в інтелектуальному аналізі даних, біоінформатиці, обробці зображень, сегментації клієнтів і моніторингу агропромислових систем. Більшість поширених алгоритмів, насамперед k-means, потребують попереднього задання кількості кластерів k, яка в реальних задачах, як правило, невідома [1]. Надто мале значення k призводить до штучного злиття природних груп, надто велике – до дроблення однорідних об’єктів, і в обох випадках подальші висновки спотворюються. Для оцінювання k запропоновано десятки критеріїв, проте, як свідчать порівняльні дослідження, жоден із них не є універсальним: вони по-різному реагують на форму кластерів, їх перекриття, розмір вибірки та розмірність простору ознак [2, 3]. Тому актуальним завданням є зіставлення найпоширеніших методів на даних із відомою структурою. Мета роботи – порівняти шість підходів до визначення оптимальної кількості кластерів і сформулювати практичні рекомендації щодо їх вибору.

У роботі [2] виконано експериментальне порівняння індексів, побудованих на інерції k-means, з використанням індексу силуету як еталона; автори запропонували варіант індексу «ліктя», що використовує значення k із кроком у два–три, і дійшли висновку, що загального переможця немає, хоча окремі результати достатньо переконливі, щоб слугувати орієнтиром. У дослідженні [3] ієрархічні алгоритми з різними типами зв’язку оцінювалися за індексами KL, Calinski–Harabasz (CH), силуету та gap на симульованих даних: найкращу відповідність істинним кластерам (понад 90 %) забезпечило поєднання методу середнього зв’язку з індексом CH, тоді як gap-статистика у багатьох сценаріях повертала мінімальне значення k = 2. Автори [4] порівняли силует, індекс Дейвіса–Болдіна, індекс Данна, CH, ентропію Шеннона та gap-статистику для k-means при k = 2 на опуклих штучних даних і п’яти медичних наборах та встановили, що силует і індекс Дейвіса–Болдіна є інформативнішими й надійнішими для опуклих неперекривних кластерів в евклідовому просторі.

Окремий напрям досліджень пов’язаний із даними великої розмірності. Для них метод ліктя стає обчислювально дорогим і не завжди дає чітке «коліно» [1], а відстані між об’єктами всередині кластерів і між кластерами при зростанні розмірності майже вирівнюються, через що глобальні дистанційні критерії втрачають розрізнювальну здатність [5]. У роботі [1] запропоновано спосіб оцінювання k для великих багатовимірних наборів, а в [5] – непараметричну статистику на основі графів подібності з доведеною консистентністю, яка за результатами симуляцій перевершує класичні критерії саме у високорозмірному випадку.

Для кожного k = 2…10 виконувалася кластеризація методом k-means, після чого оцінювалися шість критеріїв. Метод ліктя: будується залежність сумарного внутрішньокластерного розкиду

$$W_k = \sum_{j=1}^{k} \sum_{x \in C_j} \|x - \mu_j\|^2 \qquad (1)$$

від k, а оптимальним вважається значення, після якого зменшення W_k різко сповільнюється. Для автоматизації використано правило найбільшої відстані точки кривої до хорди, що з’єднує її крайні точки. Коефіцієнт силуету: для об’єкта i

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{max\{a(i), b(i)\}} \qquad (2)$$

де $a(i)$ – середня відстань до об’єктів власного кластера, $b(i)$ – середня відстань до найближчого іншого кластера; обирається k з найбільшим середнім значенням s. Індекс Calinski–Harabasz (відношення міжкластерної й внутрішньокластерної дисперсій, максимум):

$$CH(k) = \frac{\frac{tr(B_k)}{k-1}}{\frac{tr(W_k)}{n-k}} \quad (3)$$

Індекс Davies–Bouldin (середня подібність кластерів, мінімум), де σ_i – середній розкид i-го кластера, d – відстань між центроїдами:

$$DB(k) = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} max_{j \neq i} \frac{\sigma_i + \sigma_j}{d(\mu_i, \mu_j)} \quad (4)$$

Gap-статистика порівнює логарифм розкиду з його очікуваним значенням для еталонного розподілу без кластерної структури; обирається найменше k, для якого $Gap(k) \geq Gap(k+1) - s_{k+1}$:

$$Gap(k) = E^*[lnW_k] - lnW_k \quad (5)$$

Байєсівський інформаційний критерій (BIC) для гауссівських сумішей (GMM), мінімум, де p – кількість параметрів моделі, n – обсяг вибірки, $\hat{L}$ – максимум правдоподібності:

$$BIC = p \cdot ln\, n - 2 \cdot ln\, \hat{L} \quad (6)$$

Обчислення виконано мовою Python 3 із бібліотекою scikit-learn. Використано п’ять наборів даних (рис. 1): три синтетичні – A (чотири добре розділені гауссівські групи, 600 точок), B (шість груп із помітним перекриттям, 900 точок) і C (два «півмісяці», 600 точок, неопукла структура), а також два реальні навчальні набори – Iris (150 об’єктів, 4 ознаки, 3 види) і Wine (178 об’єктів, 13 ознак, 3 сорти), попередньо стандартизовані. Для k-means застосовано 10 випадкових ініціалізацій, для GMM – повні матриці коваріації та 3 ініціалізації; для gap-статистики – 10 еталонних вибірок із рівномірного розподілу та правило однієї стандартної похибки. Якість методу оцінювалася за збігом оцінки $\hat{k}$ з відомим числом груп k* та за середньою абсолютною похибкою MAE = середнє $|\hat{k} - k^*|$ по всіх наборах.

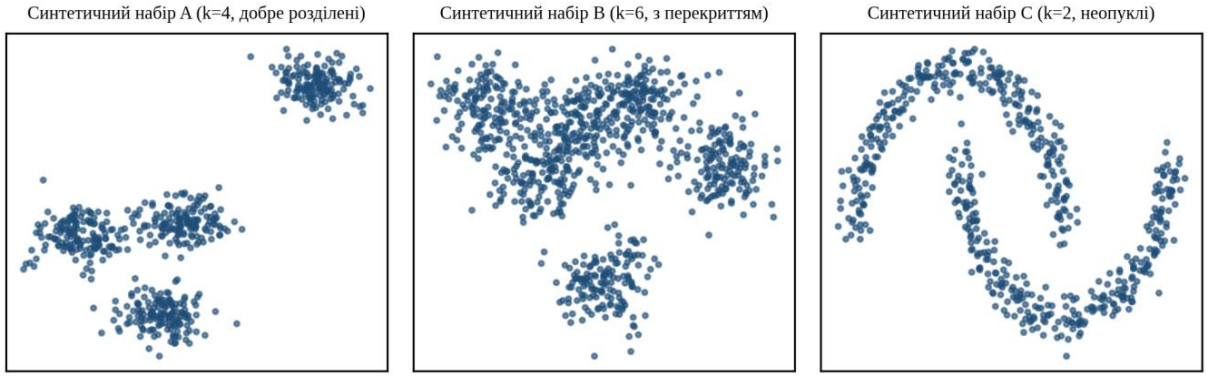


Рис. 1. Синтетичні набори даних A, B та C

Оцінки кількості кластерів, отримані кожним методом, наведено в таблиці 1. На наборі A, де групи чітко відокремлені, правильне значення k = 4 визначили метод ліктя, CH, gap-статистика та BIC. Силует і індекс Дейвіса–Болдіна обрали k = 2, але значення силуету для k = 2 (0,722) лише на 0,017 перевищує значення для k = 4 (0,705): практично нівельована різниця свідчить про те, що ці критерії схильні надавати перевагу грубшій структурі даних.

На наборі B із перекриттям груп (рис. 2) лише індекс CH точно визначив k = 6. Силует, індекс Дейвіса–Болдіна та BIC дали k = 5, тобто недооцінили кількість груп на одиницю, а метод ліктя (k = 4) через відсутність виразного перегину кривої виявився менш надійним. Показово, що gap-статистика має максимум саме при k = 6, проте правило однієї стандартної похибки, орієнтоване на мінімальну складність моделі, обрало k = 3. Отже, результат залежить не лише від самого критерію, а й від правила вибору k на його основі.

Таблиця 1. Оцінки кількості кластерів різними методами (k - відоме число груп; виділено збіги)*

Набір даних	k*	Лікоть	Силует	CH	DB	Gap	BIC (GMM)
A (blobs, чіткі групи)	4	4	2	4	2	4	4
B (blobs, перекриття)	6	4	5	6	5	3	5
C (півмісяці)	2	4	8	10	8	4	8
D (Iris)	3	5	2	2	2	3	2
E (Wine)	3	3	3	3	3	3	2
Кількість збігів з k* (із 5)		2	1	3	1	3	1
MAE = середнє $\lvert\hat{k} - k^*\rvert$		1,2	2,0	1,8	2,0	1,0	1,8

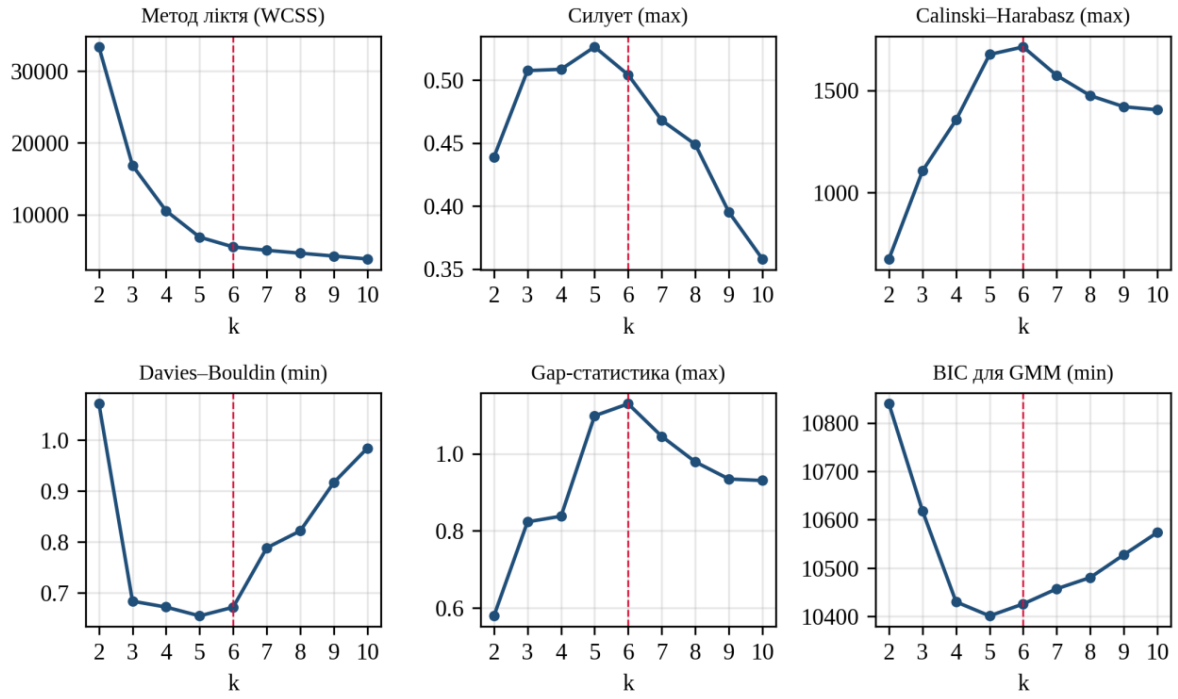


Рис. 2. Значення критеріїв залежно від k для набору B (істинне k = 6 позначено пунктиром)*

Набір C (півмісяці) продемонстрував принципове обмеження всіх розглянутих методів: усі вони спираються на опуклість кластерів, тому дали завищені оцінки (4 – для методу ліктя та gap-статистики, 8 – для силуету, індексу Дейвіса–Болдіна та BIC, 10 – для CH, тобто на межі діапазону пошуку). Це узгоджується з висновками [4] про застосовність силуету та індексу Дейвіса–Болдіна для опуклих кластерів в евклідовому просторі. Для таких даних доцільно використовувати алгоритми, що не припускають опуклості (спектральні, щільнісні), та відповідні їм критерії.

На реальних наборах картина неоднозначна (рис. 3). Для Iris силует, CH, індекс Дейвіса–Болдіна та BIC вказали k = 2: два види з трьох частково перекриваються, тому «відомі» три класи не збігаються з двома природно відокремленими групами, і це не є помилкою критеріїв у строгому сенсі. Gap-статистика дала k = 3, метод ліктя – k = 5. Для Wine усі критерії на основі k-means узгоджено вказали k = 3, тоді як BIC обрав k = 2. Водночас максимальний силует для Wine становить лише близько 0,29, що свідчить про слабко виражену кластерну структуру та підтверджує необхідність оцінювати не лише оптимальне k, а й якість самого розбиття.

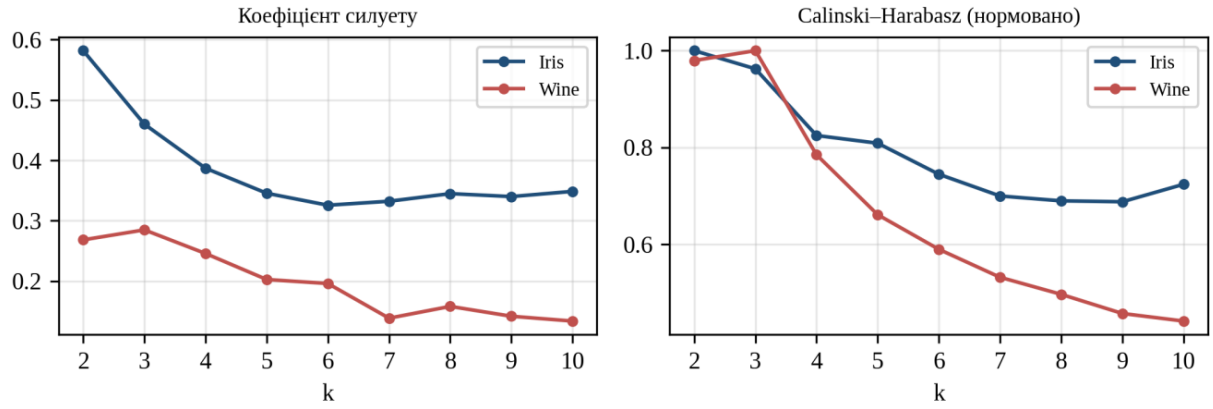


Рис. 3. Коефіцієнт силуету та нормований індекс CH для наборів Iris і Wine

Узагальнені підсумки (таблиця 1) такі: найбільшу кількість збігів (по 3 з 5) показали індекс CH та gap-статистика, причому gap-статистика мала й найменшу середню похибку (MAE = 1,0); силует, індекс Дейвіса–Болдіна та BIC дали по одному збігу. Порівняльну характеристику методів наведено в таблиці 2. Слід підкреслити, що експеримент є ілюстративним: використано п’ять наборів і одну реалізацію випадкових даних, тому не можна стверджувати про переваги методів у загальному випадку, що узгоджується з висновком [2] про відсутність загального переможця.

Таблиця 2. Порівняльна характеристика методів визначення кількості кластерів

Метод	Що оцінює	Переваги	Обмеження
Лікоть (WCSS)	Компактність кластерів	Простота, наочність; результат безпосередньо випливає з k-means	Суб’єктивність; «коліно» відсутнє або не єдине; втрата чіткості при зростанні розмірності [1, 5]
Силует	Компактність і відокремленість	Обмежений діапазон [−1; 1], індивідуальна оцінка об’єктів; висока надійність для опуклих кластерів [4]	Складність $O(n^2)$; схильність до грубшої структури; погано працює для неопуклих форм
Calinski–Harabasz	Відношення міжкластерної до внутрішньокластерної дисперсії	Швидко обчислюється; у [3] найкраще узгоджується з істинними кластерами	Орієнтований на опуклі кластери та евклідову метрику; при великому k часто зростає
Davies–Bouldin	Подібність кластерів	Проста інтерпретація (менше — краще) [4]	Орієнтований на опуклі кластери; чутливий до викидів
Gap-статистика	Відхилення від нульового розподілу	Формальна статистична основа; може вказати відсутність структури	Ресурсомісткий (моделювання еталонів); нестійкий для нерівномірних даних та великої розмірності [5]
BIC для GMM	Правдоподібність зі штрафом за складність	Імовірнісна інтерпретація; враховує форму кластерів	Припущення про вид розподілу; перепараметризація при великій розмірності [5]

Висновки. 1) Жоден із розглянутих методів не є універсальним: результат залежить від форми кластерів, їх перекриття, розмірності даних і правила вибору k. 2) У проведеному експерименті найстабільніші результати показали індекс Calinski–Harabasz та gap-статистика; силует, індекс Дейвіса–Болдіна та BIC частіше обирали грубшу структуру (меншу кількість кластерів). 3) Для неопуклих кластерів усі методи, орієнтовані на k-means, дають суттєво завищені оцінки, тому слід спершу перевіряти припущення про форму кластерів. 4) На практиці доцільно застосовувати кілька

критеріїв одночасно, а за високої розмірності – поєднувати їх зі зниженням розмірності або використовувати спеціалізовані підходи [1, 5]; остаточний вибір k варто узгоджувати з предметною інтерпретацією результатів.

Список використаних джерел

1. Zhu X., Li L. Estimating the Number of Clusters in High-Dimensional Large Datasets. International Journal of Data Warehousing and Mining. 2023. Vol. 19. DOI: https://doi.org/10.4018/IJDWM.316142.

2. Rykov A., De Amorim R. C., Makarenkov V., Mirkin B. Inertia-Based Indices to Determine the Number of Clusters in K-Means: An Experimental Evaluation. IEEE Access. 2024. Vol. 12. P. 11761–11773. DOAJ: https://doaj.org/article/ffed5e38461848999f79c3575b6b85e9.

3. Abushilah S. F., Abbas R. H. Performance Evaluation of Some Clustering Algorithms under Different Validity Indices. Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2023. Vol. 10, No. 4. P. 1271–1280. DOI: https://doi.org/10.18280/mmep.100420.

4. Chicco D., Campagner A., Spagnolo A., Ciucci D., Jurman G. The Silhouette coefficient and the Davies-Bouldin index are more informative than Dunn index, Calinski-Harabasz index, Shannon entropy, and Gap statistic for unsupervised clustering internal evaluation of two convex clusters. PeerJ Computer Science. 2025. Vol. 11. Article e3309. DOI: https://doi.org/10.7717/peerj-cs.3309.

5. Bai Y., Chu L. A Graph-based Approach to Estimating the Number of Clusters. arXiv preprint. 2024. arXiv:2402.15600. URL: https://arxiv.org/abs/2402.15600.

УДК 004.85

ВПЛИВ МЕТРИКИ ВІДСТАНІ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДУ K-НАЙБЛИЖЧИХ СУСІДІВ: ЕКСПЕРИМЕНТ НА НАБОРІ ДАНИХ WINE

Артем Курилов

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна.

Науковий керівник: Т. С. Кучмійова,
кандидат економічних наук, доцент,
Миколаївський національний аграрний університет

Метод k найближчих сусідів (k-NN) – один із найпростіших алгоритмів класифікації, що не потребує припущень про розподіл даних: Т. Кавер і П. Харт довели, що похибка правила найближчого сусіда не перевищує подвоєної байєсівської похибки [1]. Метод застосовують у різних прикладних галузях, зокрема в прогнозуванні захворювань [2]. Як метод «лінивого» навчання k-NN виконує всі обчислення на етапі прогнозування, є чутливим до нерелевантних ознак, а числові ознаки перед обчисленням відстаней, як правило, нормалізують [3]. Якість класифікації визначається двома гіперпараметрами – метрикою відстані та кількістю сусідів k [4]. Єдиної найкращої метрики не існує: в експерименті на 33 наборах даних UCI навіть запропонована автором відстань виявилась найточнішою лише у 9 випадках [4], а огляд [5] фіксує значні розбіжності в точності між різними відстанями. Тому метрику необхідно обирати емпірично для кожної задачі.

Мета – кількісно оцінити вплив п’яти метрик відстані (евклідової, манхеттенської, Чебишева, Мінковського при p = 3 та косинусної) на точність і швидкодію класифікатора k-NN та з’ясувати роль стандартизації ознак.

Використано набір даних Wine з репозиторію UCI – 178 зразків вина трьох сортів, описаних 13 хімічними ознаками [6]; пропущених значень і дублікатів немає. Діапазони ознак відрізняються майже у 1000 разів (наприклад, Hue – 0,48–1,71, Proline – 278–1680), тому застосовано z-стандартизацію, параметри якої обчислювали лише за навчальною вибіркою, щоб уникнути витоку даних. Вибірку стратифіковано розділено на навчальну (70 %, 124 зразки) і тестову (30 %, 54 зразки) частини, random_state = 42. Для кожної метрики оптимальне k у діапазоні від 1 до 30 підбирали за допомогою GridSearchCV із 5-кратною стратифікованою крос-валідацією; класифікатор реалізовано

засобами бібліотеки scikit-learn (клас K Neighbors Classifier) [7]. Час навчання та прогнозування усереднено за 50 запусків.

Для усунення впливу різного масштабу ознак застосовано z-стандартизацію:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_j}{\sigma_j} \quad (1)$$

де x_{ij} – значення j-ї ознаки i-го зразка; μ_j та σ_j – середнє значення й стандартне відхилення j-ї ознаки, обчислені за навчальною вибіркою. Відстань між стандартизованими зразками x і z у m-вимірному просторі ознак (m = 13) для метрик Мінковського задається формулою

$$d_p(x,z) = \left(\sum_{j=1}^{m} |x_j - z_j|^p\right)^{\frac{1}{p}} \quad (2)$$

де p = 1 відповідає манхеттенській, p = 2 – евклідовій метриці, а p = 3 – метриці Мінковського, дослідженій у роботі. Відстань Чебишева та косинусна відстань визначаються як

$$d_\infty(x,z) = \max_{1 \le j \le m} |x_j - z_j| \quad (3)$$

$$d_{\cos}(x,z) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{m} x_j z_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^{m} {x_j}^2}\sqrt{\sum_{j=1}^{m} {z_j}^2}} \quad (4)$$

Зведені показники на тестовій вибірці наведено в табл. 1. Найкращий результат показала манхеттенська метрика при k = 5 (точність 98,15 %, F1-міра 0,9811, одна помилка на 54 зразки), найгірший – метрика Чебишева при k = 1 (87,04 %). Різниця становить 11,11 відсоткового пункту, що підтверджує істотний вплив вибору метрики. Порядок «манхеттенська – евклідова – Чебишева» узгоджується з даними [4], де середня точність за 33 наборами UCI становила 0,834, 0,823 та 0,786 відповідно. Імовірне пояснення переваги манхеттенської метрики – її менша чутливість до викидів, оскільки відхилення не підносяться до квадрата; у роботі це припущення окремо не перевірялося.

Таблиця 1 - Порівняння метрик відстані (тестова вибірка, стандартизовані дані)

Метрика	**Опт. k**	**Точність, %**	**F1 (macro)**	**Час прогнозування, мс**
Манхеттенська	5	98,15	0,9811	1,15
Евклідова	14	96,30	0,9636	1,26
Мінковського (p = 3)	3	94,44	0,9445	2,34
Косинусна	6	94,44	0,9445	1,42
Чебишева	1	87,04	0,8653	1,09

Стандартизація ознак підвищила точність усіх п’яти метрик на 14,82–29,63 відсоткового пункту (найбільше – для метрики Мінковського при p = 3). Час навчання практично однаковий для всіх метрик (0,26–0,45 мс), тоді як час прогнозування метрики Мінковського при p = 3 (2,34 мс) приблизно в 1,6–2 рази більший, ніж у решти метрик (1,09–1,42 мс). Обмеженням є невеликий обсяг тестової вибірки: одна помилка змінює точність на 1,85 відсоткового пункту, тому різницю між сусідніми метриками слід тлумачити обережно. Крім того, в огляді [5] для набору Wine найвищу точність (98,5 %) за іншої методики та k = 1 показала відстань Канберра, яку в цій роботі не досліджували.

Вплив стандартизації наочно подано на рис. 1: без неї точність класифікації становила лише від 64,81 % (метрика Мінковського при p = 3) до 79,63 % (манхеттенська метрика), а після стандартизації – від 87,04 % до 98,15 %. Отже, нестандартизовані ознаки з великим діапазоном (насамперед Proline) домінують у відстані й фактично «приглушують» внесок решти ознак, а різниця між метриками на сирих даних має інший характер, ніж на стандартизованих.

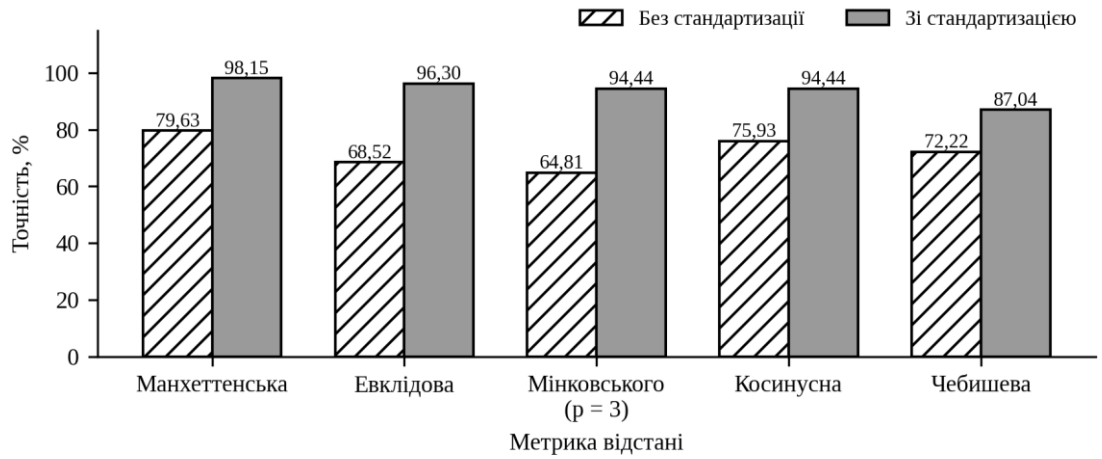


Рис. 1. Точність класифікації k-NN на тестовій вибірці до та після z-стандартизації ознак

Практичне значення результатів полягає в обґрунтуванні простої процедури налаштування k-NN для табличних числових даних: стандартизація ознак за параметрами навчальної вибірки, порівняння кількох метрик і підбір k за стратифікованою крос-валідацією. Така процедура не потребує складних обчислень і може бути перенесена на інші набори даних, зокрема на агрономічні вибірки з ознаками різного масштабу. Водночас результати отримано на одному невеликому наборі даних, тому їх не слід вважати універсальними.

Висновки. 1) Вибір метрики відстані істотно впливає на ефективність k-NN: на наборі Wine точність коливається від 87,04 % до 98,15 %. 2) Стандартизація ознак є обов'язковим кроком перед застосуванням метричних методів – вона підвищила точність усіх досліджених метрик. 3) Для табличних числових даних із ознаками різного масштабу манхеттенську метрику доцільно розглядати як пріоритетного кандидата поряд з евклідовою, а остаточний вибір метрики та k – підтверджувати крос-валідацією. Перспективи подальших досліджень – розширення набору метрик (Канберра, Махаланобіса) і наборів даних та перенесення методики на агрономічні задачі класифікації за багатовимірними сенсорними даними.

Список використаних джерел

1. Cover T. M., Hart P. E. Nearest neighbor pattern classification. IEEE Transactions on Information Theory. 1967. Vol. 13, No. 1. P. 21–27. DOI: 10.1109/TIT.1967.1053964. URL: https://doi.org/10.1109/TIT.1967.1053964 (дата звернення: 15.10.2026).

2. Uddin S., Haque I., Lu H., Moni M. A., Gide E. Comparative performance analysis of K-nearest neighbour (KNN) algorithm and its different variants for disease prediction. Scientific Reports. 2022. Vol. 12, Art. 6256. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9012855 (дата звернення: 15.10.2026).

3. Cunningham P., Delany S. J. k-Nearest neighbour classifiers: 2nd edition (with Python examples). arXiv:2004.04523. 2020. URL: https://arxiv.org/abs/2004.04523 (дата звернення: 15.10.2026).

4. Rodrigues É. O. Combining Minkowski and Chebyshev: New distance proposal and survey of distance metrics using k-nearest neighbours classifier. Pattern Recognition Letters. 2018. Vol. 110. P. 66–71. URL: https://arxiv.org/abs/2112.12549 (дата звернення: 15.10.2026).

5. Prasath V. B. S., Abu Alfeilat H. A., Lasassmeh O. et al. Distance and similarity measures effect on the performance of K-nearest neighbor classifier – a review. arXiv:1708.04321. 2017. URL: https://arxiv.org/abs/1708.04321 (дата звернення: 15.10.2026).

6. Aeberhard S., Forina M. Wine [Dataset]. UCI Machine Learning Repository. 1991. DOI: 10.24432/C5PC7J. URL: https://archive.ics.uci.edu/dataset/109/wine (дата звернення: 15.10.2026).

7. KNeighborsClassifier : документація scikit-learn. URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.neighbors.KNeighborsClassifier.html (дата звернення: 15.10.2026).

УДК 519.233.5:613

АНАЛІЗ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ ЗДОРОВ'Я ТА СПОСОБОМ ЖИТТЯ

Данило Мельник

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Т. С. Кучмійова,
кандидат економічних наук, доцент,
Миколаївський національний аграрний університет

Здоров'я студентської молоді формується під впливом способу життя, а одним із найуразливіших його компонентів є психоемоційний стан. Серед студентів поширені стрес, тривожність і депресивні симптоми, які можуть позначатися на навчанні, соціальній взаємодії та якості життя. У воєнний час проблема гостра: у дослідженні 245 студентів Львівського національного медичного університету помірний рівень стресу мали 74,3 %, порушення сну - 64,1 %, а пороговий рівень тривожності - 38,8 %. В умовах соціальних криз, війни та зростання освітнього навантаження ця група особливо вразлива, тому важливо виявити чинники, на які можна впливати, щоб знизити психоемоційне напруження. До таких чинників належать фізична активність і сон. Якість сну тісно пов'язана з депресивними симптомами ($r = 0,473$), помірно - з тривожністю ($r = 0,373$) і слабко - зі стресом ($r = 0,230$); фізична активність пов'язана з кращою якістю сну ($r = -0,253$) [1].

Навчання у виші супроводжується значним психофізіологічним навантаженням: тривала розумова напруга може призводити до втоми та змін у роботі організму. Втома й зниження працездатності є показниками функціонального стану, тому вивчення чинників працездатності студентів і своєчасне коригування їхнього стану є важливим.

На здоров'я молоді негативно впливає цілий комплекс чинників: малорухливість, нервово-емоційна й розумова напруга в навчанні, незбалансоване співвідношення праці та відпочинку, нераціональне харчування, шкідливі звички та несприятливий стан довкілля [2].

Мета дослідження – проаналізувати взаємозв'язки між показниками фізичної підготовленості, здоров'я та способом життя студентів, а також визначити особливості самооцінки фізичного розвитку з урахуванням гендерних відмінностей.

Фізична активність і здоровий спосіб життя розглядаються як підґрунтя якості життя, адже підтримують і фізичне, і психічне здоров'я. У закладах вищої освіти якість життя трактують як комплексний показник, що охоплює фізичне й психологічне благополуччя студентів. Студенти становлять групу ризику: навчальний стрес, нерегулярні сон і харчування та малорухливість можуть знижувати якість життя. Більшість досліджень засвідчує позитивну, проте здебільшого слабку кореляцію регулярної фізичної активності з якістю життя студентів.

Значна частина досліджень зв'язку фізичної активності з якістю життя студентів є перехресною (cross-sectional), тому виявляє лише кореляції, а не причинно-наслідкові зв'язки. Щоб з'ясувати, як саме активність впливає на ментальне й фізичне здоров'я, потрібні довготривалі поздовжні дослідження. Додатково порівняння результатів ускладнює відсутність стандартизованих інструментів вимірювання якості життя та фізичної активності [3].

Адекватна самооцінка фізичного стану є передумовою усвідомленого ставлення студентів до фізичної активності та здорового способу життя, тому доцільно зіставити її з результатами об'єктивних тестів. Самооцінка є елементом самопізнання та рефлексії, емоційно насиченою оцінкою людиною себе та своїх можливостей, і впливає на ефективність діяльності. Самооцінка фізичного розвитку юнаків найбільш об'єктивна щодо силових якостей: значущі кореляції ($p < 0,001$) виявлено із силою правої та лівої кисті ($r = 0,56$; $r = 0,54$), рівномірним бігом ($r = 0,51$) і підніманням тулуба в сід ($r = 0,46$), від'ємні – з бігом на 30 м ($r = -0,64$) і тестом «Фламінго» ($r = -0,55$). Самооцінка «координації рухів» узгоджується з тестом «Фламінго» ($r = -0,50$). Водночас самооцінка «гнучкості» корелює не з тестом на гнучкість, а з пробою Руф'є ($r = 0,69$), рівномірним бігом ($r = 0,50$) та підніманням тулуба в сід ($r = 0,34$), а самооцінка «витривалості» – з пробою Руф'є ($r = 0,60$) і

рівномірним бігом (r = 0,41), що суперечить інтерпретації індексу: чим він вищий, тим гірша працездатність. Загальна самооцінка юнаків адекватно базується на силових тестах (сила правої та лівої кисті: r = 0,47; r = 0,49), підніманні тулуба в сід (r = 0,35), тесті «Фламінго» (r = -0,59) та бігу на 30 м (r = −0,54), проте найтісніше пов'язана з пробою Руф'є (r = 0,77) (Рис. 1). У дівчат найвищі зв'язки із загальною самооцінкою виявлено для піднімання тулуба в сід (r = 0,61) та тесту «Фламінго» (r = -0,63), тоді як із силою кисті (r = -0,08; r = -0,17) і пробою Руф'є (r = -0,14) зв'язок не простежується. Найвищі середні коефіцієнти кореляції у юнаків відмічено для зовнішнього вигляду (r = 0,28), сили (r = 0,26), координації рухів і загальної самооцінки (r = 0,25) [4]

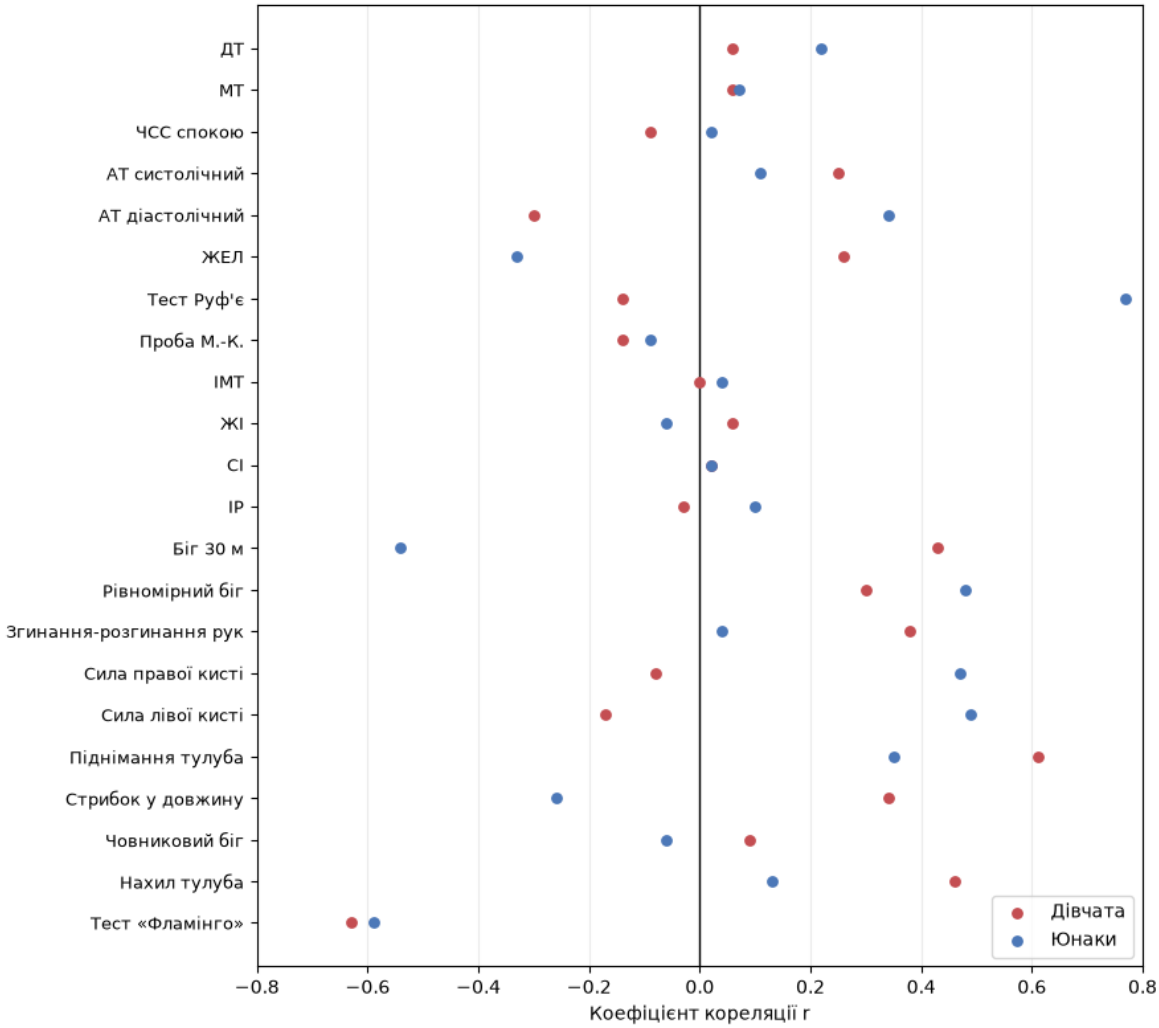


Рис. 1. Кореляційні зв'язки між загальною самооцінкою фізичного розвитку та показниками фізичної підготовленості дівчат і юнаків (побудовано автором за даними [4] у Python, бібліотека Matplotlib)

Графік показує, що у юнаків найбільші додатні значення коефіцієнтів кореляції із загальною самооцінкою мають проба Руф'є (r = 0,77), рівномірний біг (r = 0,48) та сила кисті (r = 0,47; r = 0,49), а найбільші від'ємні - тест «Фламінго» (r = -0,59) і біг на 30 м (r = -0,54). У дівчат найтісніші зв'язки виявлено з підніманням тулуба в сід (r = 0,61) і тестом «Фламінго» (r = -0,63), тоді як сила кисті та проба Руф'є майже не корелюють із самооцінкою. Отже, структура зв'язків самооцінки з показниками фізичної підготовленості в юнаків і дівчат суттєво відрізняється [4].

Наукові дані щодо залежності між загальним обсягом фізичної активності та вираженістю депресивних проявів у студентів не демонструють єдиної закономірності. Зокрема, Кіршнер та ін. (2022) виявили, що збільшення рівня фізичної активності супроводжується зниженням показників за шкалою CES-D, призначеною для оцінювання депресивних симптомів. Однак результати інших робіт не підтвердили статистично значущої залежності між загальною фізичною активністю та

депресивними проявами (Кавада та ін., 2007; Тао та ін., 2019; Ву та ін., 2025b). Це свідчить про те, що сам по собі загальний обсяг рухової активності не дає змоги однозначно оцінити її зв'язок із психічним станом.

Водночас під час розподілу фізичної активності за рівнями інтенсивності простежуються окремі закономірності. Так, у двох із чотирьох досліджень встановлено, що помірна та висока фізична активність (MVPA) пов'язана з меншою вираженістю депресивних симптомів або нижчою ймовірністю їх виникнення. В інших дослідженнях статистично значущого зв'язку не виявлено (Кіршнер та ін., 2022; Чжан та ін., 2025; Чжоу та ін., 2024).

Схожі результати отримано під час вивчення легкої фізичної активності (LPA). У двох дослідженнях її рівень асоціювався зі зменшенням депресивних проявів. Крім того, позитивні зміни спостерігалися в разі заміни малорухливої поведінки легкою активністю. Проте ще одне дослідження не встановило статистично значущої залежності між цими показниками (Кіршнер та ін., 2022; Чжан та ін., 2024; Чжоу та ін., 2024) [5].

Висновок. Отже, фізична активність, якість сну та спосіб життя є важливими чинниками здоров'я студентів. Виявлено гендерні відмінності у взаємозв'язках самооцінки фізичного розвитку з показниками фізичної підготовленості. Водночас зв'язок фізичної активності з психоемоційним станом не є однозначним і може залежати від інтенсивності навантажень. Тому дотримання здорового способу життя, достатня рухова активність і повноцінний сон сприяють підтриманню фізичного та психоемоційного благополуччя студентської молоді.

Список використаних джерел

1. Абрагамович Х. Я., Бевз О. В., Гайдук А. Б., Івасівка Р. С., Новосад А. Б., Базилевич А. Я. Фізична активність, якість сну та психоемоційний стан студентів у воєнний час: результати медіаційного дослідження. Запорізький медичний журнал. 2026. Т. 28, № 1(154). С. 58–64. DOI: https://doi.org/10.14739/2310-1210.2026.1.338520.

2. Батрона Д., Латишев М., Петрова Н., Савка М., Цимболинець Н. Дотримання здорового способу життя здобувачами вищої освіти: харчування, сон, рухова активність. Освіта. Інноватика. Практика. 2025. Т. 13, № 7. С. 20–25. DOI: https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol13i7-003.

3. Мочернюк В., Мартин В., Семенів Б., Солецький О. Конвергентний вплив фізичної культури на якість життя студентів. Вісник Прикарпатського університету. Фізична культура. 2025. Вип. 44. С. 103–108. DOI: https://doi.org/10.15330/fcult.44.103-108.

4. Бакіко І. В., Ніколаєв С. Ю., Валькевич О. В., Черкашин Р. Є., Савчук С. І. Відповідність самооцінки фізичного розвитку за показниками фізичної підготовленості здобувачів вищої освіти. Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15. 2024. № 10(183). С. 30–34. DOI: https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.10(183).05.

5. Weng Z., Wang X. Association between sensor-based physical activity, sedentary behaviour, sleep, and mental health in university students: a systematic review. Frontiers in Education. 2026. Vol. 11. Article 1862227. DOI: https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1862227.

УДК 519.21:004.032.26

МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКУ ПОШКОДЖЕННЯ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР ВЕСНЯНИМИ ЗАМОРОЗКАМИ НА ОСНОВІ БАЙЄСОВСЬКОЇ МЕРЕЖІ

Олександр Вербицький

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Є. Ю. Борчик,
к.ф.-м.н., доцент Миколаївський національний аграрний університет

Актуальність дослідження. Весняні заморозки є одним із чинників ризику для садівництва, оскільки зниження температури повітря під час розвитку квіток і формування зав'язі може негативно

впливати на майбутній урожай плодових культур. Оцінювання такого ризику ускладнюється залежністю можливих пошкоджень від сукупності факторів, зокрема температури, фази розвитку рослини та тривалості впливу низької температури. За умов недостатності статистичних даних перспективним є застосування методів імовірнісного моделювання, які дають змогу формалізувати експертні знання та досліджувати різні сценарії розвитку ситуації.

Одним із таких методів є байєсовські мережі - ймовірнісні графічні моделі, що відображають залежності між змінними та забезпечують обчислення ймовірностей можливих станів системи за наявності заданих умов. Їх застосування дає змогу оцінювати ризик за різних комбінацій факторів і досліджувати, як зміна вхідних умов впливає на результат моделювання.

Мета роботи: розробити та дослідити демонстраційну байєсовську мережу для оцінювання ризику пошкодження квіток плодових культур весняними заморозками на основі експертних оцінок.

Матеріали та методи дослідження. Для побудови моделі використано програмне середовище GeNIe, призначене для розроблення та аналізу ймовірнісних графічних моделей. Структуру мережі сформовано з урахуванням трьох вхідних змінних і результуючого показника.

До вхідних змінних віднесено температуру повітря (T), фазу розвитку плодової культури (F) та тривалість заморозку (D). Температуру представлено станами «без заморозку», «слабкий заморозок» і «сильний заморозок»; фазу розвитку - станами «бутонізація», «цвітіння» та «зав'язь»; тривалість впливу - станами «коротка» і «тривала». Результуюча змінна R характеризує ризик пошкодження квіток і має три стани: «низький», «середній» та «високий».

Структура мережі передбачає спрямовані зв'язки від усіх трьох вхідних змінних до результуючого вузла R (рис.1). Для результуючої змінної сформовано таблицю умовних імовірностей, що містить 18 комбінацій станів батьківських вузлів. Значення ймовірностей визначено на основі умовних експертних припущень, сформованих для демонстрації можливостей моделі. Для кожної комбінації сума ймовірностей трьох станів ризику дорівнює одиниці.

Апріорні розподіли вхідних змінних для початкового розрахунку задано таким чином: для температури - 0,60; 0,25; 0,15; для фази розвитку - 0,25; 0,45; 0,30; для тривалості заморозку - 0,60; 0,40 відповідно до визначеного порядку станів. Ці значення використано як демонстраційні припущення, а не як оцінки фактичної частоти відповідних погодних умов.

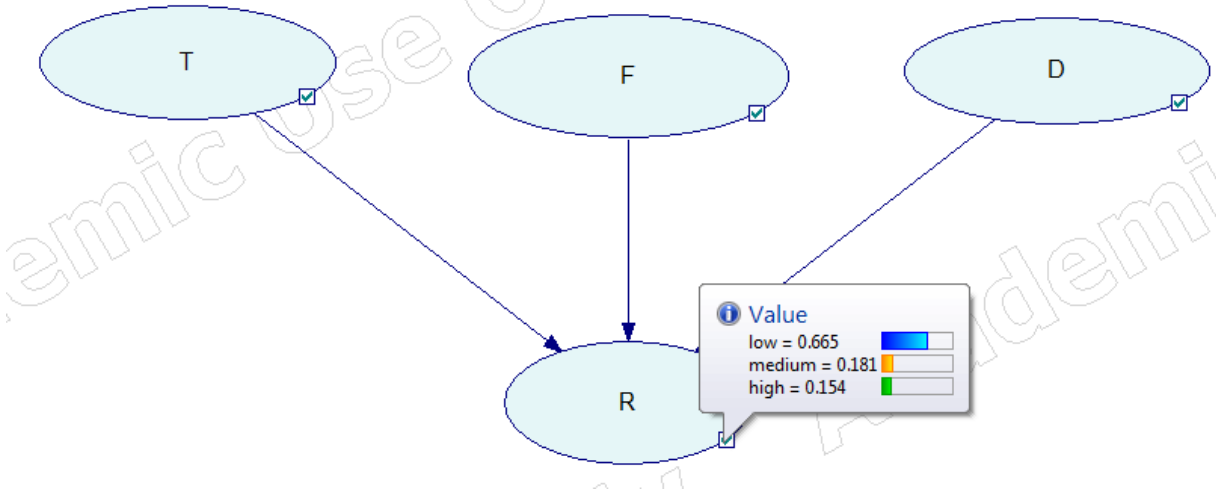


Рисунок 1. Структура байєсовської мережі для оцінки ризику пошкодження плодових культур весняними заморозками

Результати дослідження. Побудовану байєсовську мережу реалізовано в середовищі GeNIe. На першому етапі виконано розрахунок без фіксації конкретних станів вхідних змінних. Отримано такий розподіл імовірностей результуючої змінної: низький ризик - 0,665; середній ризик - 0,181; високий ризик - 0,154.

Для перевірки роботи моделі проведено сценарний аналіз. У кожному сценарії фіксувалися стани всіх трьох вхідних змінних, після чого визначався розподіл імовірностей результуючого вузла.

Таблиця 1 - Результати сценарного аналізу байєсовської мережі

Сценарій	Низький ризик	Середній ризик	Високий ризик
1. Відсутність заморозку під час цвітіння, коротка тривалість	0,88	0,10	0,02
2. Слабкий тривалий заморозок під час цвітіння	0,30	0,40	0,30
3. Сильний тривалий заморозок під час цвітіння	0,05	0,15	0,80

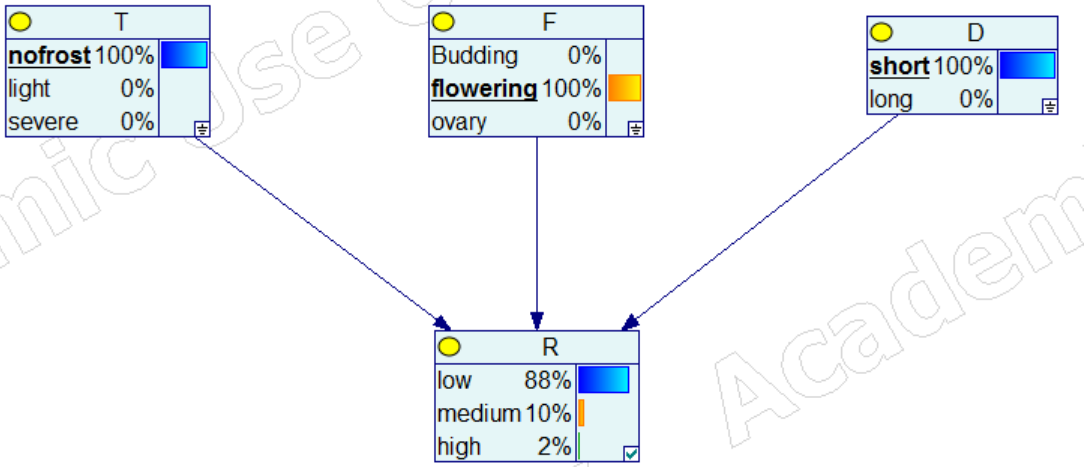


Рисунок 2. Результати першого сценарного аналізу байєсовської мережі

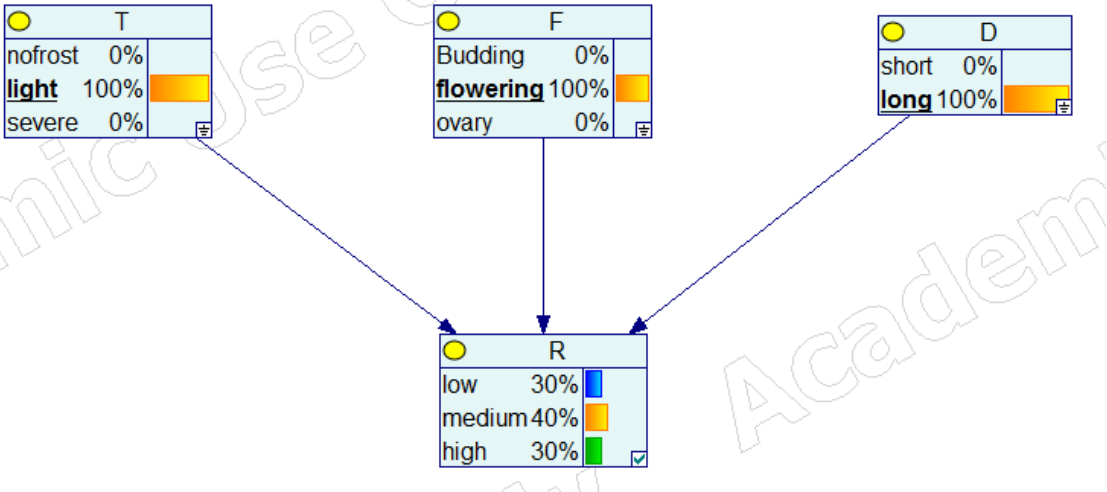


Рисунок 3. Результати другого сценарного аналізу байєсовської мережі

Результати демонструють закономірну зміну розподілу ймовірностей залежно від заданих умов. У першому сценарії (рис. 2) переважає низький ризик, імовірність якого становить 0,88, тоді як імовірність високого ризику дорівнює 0,02. У другому сценарії (рис.3) ймовірності низького та високого ризику становлять по 0,30, а найбільш імовірним є середній ризик — 0,40. У третьому сценарії ймовірність високого ризику зростає до 0,80, тоді як імовірність низького ризику зменшується до 0,05.

Отримані результати підтверджують працездатність реалізованої моделі та демонструють можливість використання байєсовської мережі для порівняння сценаріїв весняних заморозків. При

цьому наведені числові значення є результатами моделювання за заданими експертними оцінками. Вони не є емпірично підтвердженими прогнозами пошкодження плодових культур.

Висновки. Розроблено демонстраційну байєсовську мережу для оцінювання ризику пошкодження квіток плодових культур весняними заморозками та реалізовано її в програмному середовищі GeNIe. На основі експертних припущень сформовано таблицю умовних імовірностей і виконано сценарний аналіз для трьох комбінацій температурних умов, фази розвитку та тривалості заморозку.

Результати показали, що за заданих умов імовірність високого ризику змінюється від 0,02 за відсутності заморозку до 0,80 за сильного тривалого заморозку під час цвітіння. Це свідчить про придатність запропонованого підходу для демонстраційного аналізу впливу факторів на оцінку ризику та підтримки прийняття рішень у садівництві.

Подальші дослідження передбачають уточнення температурних порогів з урахуванням біологічних особливостей окремих плодових культур, обґрунтування умовних імовірностей за допомогою фахових оцінок і даних спостережень, а також перевірку прогностичних властивостей моделі на фактичних даних.

Список використаних джерел

1. Шершер Е. А., Перелет Є. В. Оцінка ризиків ушкодження плодових насаджень весняними заморозками. Наукові праці УкрГМІ. 2018. Вип. 271. С. 45–52.

2. Jensen F. V., Nielsen T. D. Bayesian Networks and Decision Graphs. 2nd ed. New York : Springer, 2007. 448 p.

3. Snyder R. L., de Melo-Abreu J. P. Frost Protection: fundamentals, practice and economics. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO Environment and Natural Resources Series). Rome, 2005. Vol. 1, No. 10. 240 p.

Тематичний напрям № 4

Інтелектуальні інформаційні системи, цифрові технології та автоматизація

УДК 004.451

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АЛГОРИТМІВ СТИСНЕННЯ ОПЕРАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ ДЛЯ СИСТЕМ ІЗ КРИТИЧНИМ ОБМЕЖЕННЯМ РЕСУРСІВ

Максим Главчев, Дмитро Шеховцов

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Сучасні тенденції розвитку програмного забезпечення характеризуються постійним та стрімким зростанням вимог до обсягу оперативної пам'яті. Водночас існує широкий клас систем, де фізичне розширення пам'яті є неможливим, технологічно складним або економічно недоцільним. До таких систем належать вбудовані системи (Embedded), пристрої Інтернету речей (IoT), одноплатні комп'ютери, бюджетні ноутбуки, а також хмарні контейнери з жорстко лімітованими ресурсами.

В умовах дефіциту оперативної пам'яті операційні системи традиційно використовують механізм віртуальної пам'яті та свопінгу (swapping) – вивантаження рідко використовуваних сторінок пам'яті на вторинні сховища. Однак, різниця в латентності між оперативною пам'яттю (50-100 нс) та навіть найшвидшими NVMe SSD-накопичувачами (10-100 мкс) складає кілька порядків. Для традиційних жорстких дисків (HDD) ця різниця сягає десятків мільйонів разів. Це призводить до явища "bottleneck" (вузького місця) підсистеми введення-виведення (I/O) і, як наслідок, до критичного падіння продуктивності системи та зависань інтерфейсу.

Ефективною сучасною альтернативою традиційному свопінгу є технології стиснення оперативної пам'яті. Цей підхід базується на парадигмі, згідно з якою сучасні багатоядерні процесори мають значний надлишок обчислювальної потужності порівняно з пропускною здатністю дискової підсистеми. Витрати процесорного часу на компресію та декомпресію даних в оперативній пам'яті повністю компенсуються уникненням повільних дискових операцій.

В операційній системі Linux на рівні ядра реалізовано два основні механізми управління стисненням пам'яті: Zram та Zswap, які мають принципово різну архітектуру (табл.1). Zram функціонує як модуль ядра, що створює віртуальний стиснений блоковий пристрій безпосередньо в оперативній пам'яті. Цей пристрій монтується як простір підкачки. Головна перевага Zram – повна незалежність від дискового простору, що дозволяє системі працювати взагалі без фізичного swap-розділу. Це критично важливо для IoT-пристроїв на базі флеш-пам'яті (SD-карт, eMMC), оскільки значно подовжує ресурс їхньої роботи шляхом зменшення кількості циклів перезапису. Zswap, навпаки, працює як проміжний кеш між основною пам'яттю та традиційним дисковим swap-розділом. Коли сторінка виштовхується з RAM, Zswap перехоплює її, стискає і зберігає у власному пулі в оперативній пам'яті. На диск дані потрапляють лише тоді, коли пул Zswap переповнюється (відбувається виштовхування за алгоритмом LRU) або якщо сторінка не піддається ефективному стисненню.

Таблиця 1 - Порівняльна характеристика технологій Zram та Zswap

Характеристика	Zram	Zswap
Тип реалізації	Блоковий пристрій	Кеш перед swap
Потреба в дисковому swap	Ні	Так
Максимальний розмір	Фіксований	Динамічний (% RAM)
Fallback на диск	Ні	Так
Writeback на диск	Опціонально (з 4.14)	Автоматично
Типове застосування	Embedded, IoT, ChromeOS	Десктопи, сервери
Версія ядра Linux	3.14+	3.11+

Ефективність функціонування систем Zram та Zswap безпосередньо залежить від обраного алгоритму стиснення. Сучасні ядра Linux підтримують алгоритми LZ4, Zstd (Zstandard), LZO та інші. Аналіз їхніх характеристик дозволяє виділити специфіку застосування кожного (табд.2, рис.1):

1. LZ4 – алгоритм, оптимізований для забезпечення екстремально високої швидкості обробки. Швидкість розпакування досягає 4500 MB/s, що робить його безальтернативним вибором для OLTP-баз даних, систем реального часу та сценаріїв, де мінімальна латентність є абсолютним пріоритетом.

2. Zstd – сучасний алгоритм, що забезпечує найкращий баланс. Завдяки наявності рівнів стиснення (від 1 до 22), він дозволяє гнучко налаштовувати систему. Типовий коефіцієнт стиснення (CR) для Zstd становить 2.8:1, що значно перевершує конкурентів і дозволяє вмістити максимум інформації в лімітовану RAM.

3. LZO – перевірений часом алгоритм, що відрізняється низьким споживанням пам'яті для власних словників та передбачуваною продуктивністю, що зберігає його актуальність для найслабших мікроконтролерів.

Таблиця 2 – Порівняльні характеристики алгоритмів стиснення

Параметр	LZ4	Zstd	LZO
Рік створення	2011	2016	1996
Швидкість стиснення	~780 MB/s	~500 MB/s	~400 MB/s
Швидкість розпакування	~4500 MB/s	~1500 MB/s	~800 MB/s
Типовий коефіцієнт стиснення	2.1:1	2.8:1	2.1:1
Використання CPU	Низьке	Середнє	Низьке
Використання пам'яті	~16 KB	~128 KB	~64 KB
Ліцензія	BSD	BSD	GPL

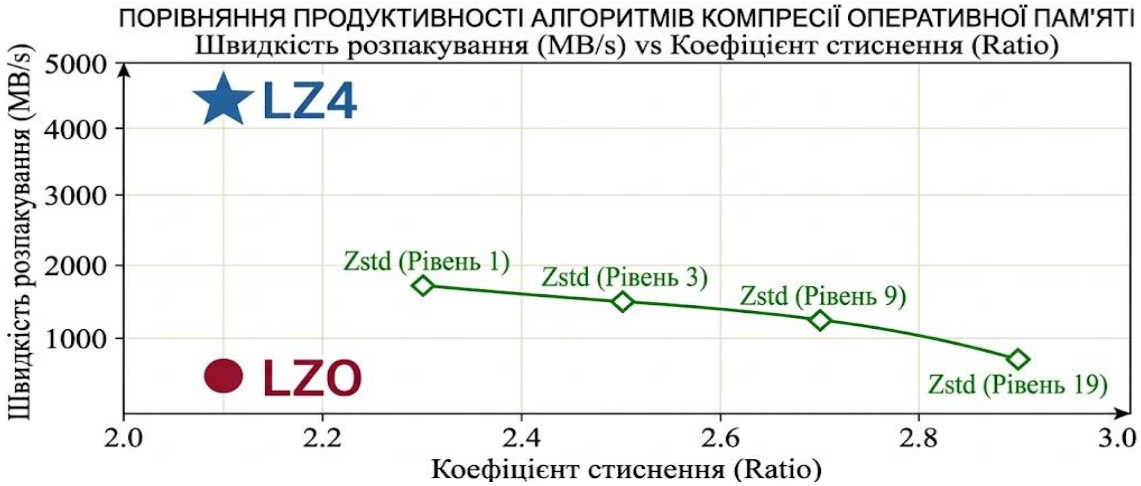


Рисунок 1 - Порівняння алгоритмів за швидкістю та ступенем стиснення

Детальний аналіз предметної області виявив суттєвий недолік існуючих підходів до конфігурації стиснення пам'яті. Більшість сучасних операційних систем (стандартні дистрибутиви Linux, ChromeOS, Android) використовують підхід статичного налаштування. Адміністратор або розробник

ОС обирає один алгоритм (найчастіше LZ4 або Zstd) на етапі завантаження системи, який залишається незмінним протягом усього сеансу роботи незалежно від зміни умов (рис.2).

Такий підхід є неоптимальним для мобільних систем та пристроїв з акумуляторним живленням. По-перше, статична конфігурація не враховує енергетичний стан. Алгоритми з високим ступенем стиснення (наприклад, Zstd на рівні 3 і вище) створюють значне навантаження на CPU (до 85%), що призводить до прискореного розряду батареї. За умов низького заряду доцільно було б автоматично перемикатися на більш енергоефективний LZ4. По-друге, ігнорується температурний режим. У системах з пасивним охолодженням інтенсивна декомпресія спричиняє нагрівання кристала процесора і наступний тепловий тротлінг (thermal throttling), що нівелює всі переваги стиснення.

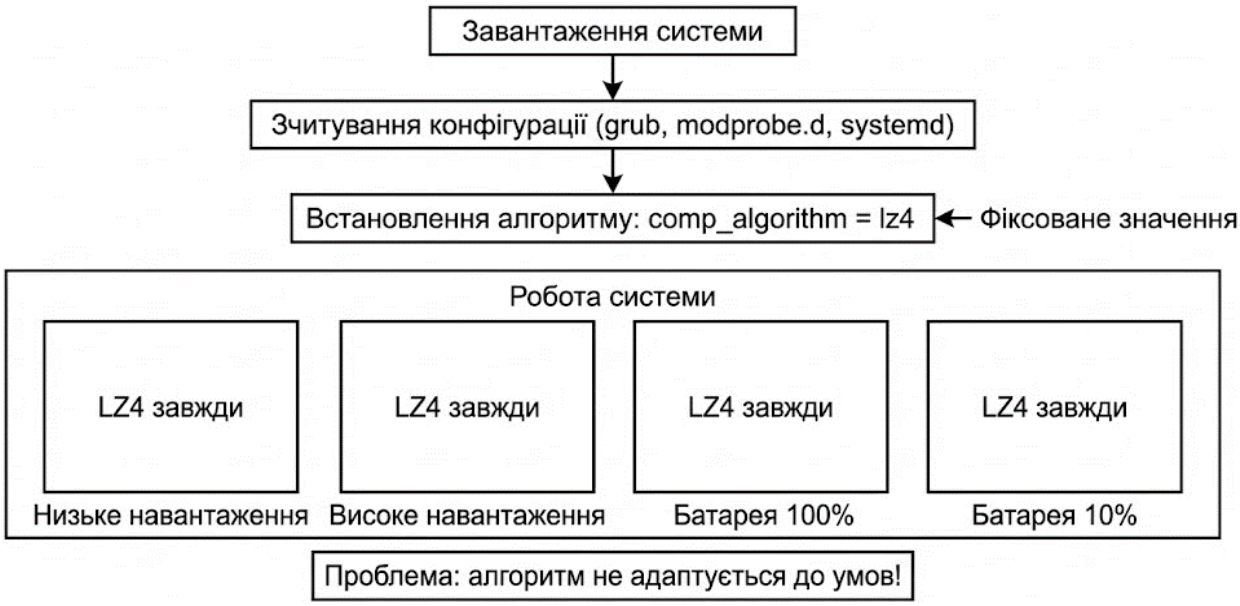


Рисунок 2- Недолік статичного підходу до вибору алгоритму

Висновки. Проведений аналіз доводить, що не існує єдиного універсального алгоритму стиснення оперативної пам'яті для систем з обмеженими ресурсами. Статичний підхід до конфігурації підсистем Zram/Zswap призводить до субоптимальної продуктивності, підвищеного енергоспоживання та ризику перегріву. Вирішенням цієї проблеми є створення адаптивної моделі управління, яка б забезпечувала динамічне перемикання методів стиснення (наприклад, від Zstd до LZ4) в режимі реального часу (на льоту) на основі моніторингу температури CPU, рівня заряду акумулятора та поточного профілю навантаження на систему. Розробка та програмна реалізація такого адаптивного алгоритму становить актуальну задачу для подальших досліджень.

Список використаних джерел

1. Zram: Compressed RAM-based block device. The Linux Kernel documentation. URL: https://www.kernel.org/doc/html/latest/admin-guide/blockdev/zram.html (дата звернення: 04.10.2026).

2. Zswap: Compressed swap cache. The Linux Kernel documentation. URL: https://www.kernel.org/doc/html/latest/admin-guide/mm/zswap.html (дата звернення: 04.10.2026).

3. Collet Y. LZ4: Extremely Fast Compression algorithm. URL: https://lz4.github.io/lz4/ (дата звернення: 04.10.2026).

4. Collet Y. Zstandard: Real-time data compression algorithm. URL: https://facebook.github.io/zstd/ (дата звернення: 04.10.2026).

5. Vahdat A., Lebeck A., Ellis C. Every Joule is Precious: The Case for Revisiting Operating System Design for Energy Efficiency. Proceedings of the 9th Workshop on ACM SIGOPS European Workshop. Kolding, 2000. P. 31–36.

УДК 681.518.54

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ДАТЧИКИ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ ДІАГНОСТИЦІ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Володимир Мартиненко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Технічний стан промислового обладнання оцінюють за змінами фізичних параметрів, що супроводжують зношування та порушення режиму роботи. Окремий вимірювальний канал відображає лише частину цих змін. Тому для обґрунтованого рішення про обслуговування потрібні узгоджене збирання сигналів, їх аналіз і зв'язок результатів із конкретним обладнанням. Інтелектуальні датчики поєднують вимірювання з первинним опрацюванням і передаванням даних, створюючи основу для такої діагностики [1; 2]. Мета роботи - систематизувати архітектуру автоматизованої діагностики промислового обладнання та визначити умови застосування різних методів аналізу даних датчиків.

Робота має оглядово-аналітичний характер. Зіставлено функції датчиків, способи передавання й опрацювання сигналів, три групи діагностичних алгоритмів та роль цифрового представлення обладнання. Для аналізу використано наукові публікації щодо інтелектуальних датчиків, прогнозного обслуговування й виявлення аномалій, а також стандарт ISO 23247-3:2021 щодо цифрового представлення виробничих елементів [1–5]. Експериментальне випробування запропонованої архітектури в межах цієї роботи не проводили.

Тип датчика визначають за ознакою несправності, яку необхідно виявити. Вібраційний сигнал застосовують для спостереження за підшипниками, валами та механічним дисбалансом; температурний - для виявлення перегрівання; сигнал струму - для контролю навантаження електроприводу; акустичний - для фіксації змін звукової картини роботи обладнання. Поєднання кількох параметрів дає змогу зіставляти відхилення різної фізичної природи, однак потребує узгодження часу вимірювання та режиму навантаження. Приклад спільного аналізу струму і зовнішнього магнітного потоку для діагностики асинхронного двигуна наведено в дослідженні [4].

Узагальнена архітектура охоплює послідовні функції: вимірювання на фізичному об'єкті; локальне фільтрування й передавання сигналів контролером; формування цифрового представлення стану обладнання; аналітичне виявлення відхилень; подання результату для ухвалення рішення про технічне обслуговування. Локальне опрацювання дає змогу передавати до вищого рівня підготовлені дані, а цифрове представлення пов'язує поточні показники з історією роботи об'єкта. Це представлення може стати складовою цифрового двійника за умови належної синхронізації з обладнанням. Роль цифрового представлення описує ISO 23247-3:2021, а застосування обчислень поблизу джерела даних у діагностиці аномалій показано в роботі [3; 5].

На аналітичному рівні доцільно розрізняти три групи методів. Правила та порогові значення є зрозумілими для перевірки, але мають обмежену здатність ураховувати змінні режими роботи. Гібридні методи поєднують правила зі статистичним аналізом або іншими моделями, проте потребують складнішого налаштування. Методи машинного навчання можуть враховувати взаємозв'язки між кількома сигналами, але їх застосування залежить від обсягу й якості даних для навчання та перевірки. Отже, вибір алгоритму слід пов'язувати не лише зі складністю обладнання, а й із доступними даними, вимогами до пояснення результату та умовами експлуатації [2; 3]. Перевагу одного класу алгоритмів за точністю в цій роботі не встановлено.

Для електромеханічного обладнання послідовність діагностики можна розглядати на прикладі електродвигуна. Дані про вібрацію характеризують механічний стан вузлів, струм відображає особливості електричного навантаження, а температура доповнює оцінку теплового режиму. Після первинної перевірки якості вимірювань ці сигнали порівнюють із допустимими межами або аналізують спільно. Результатом є повідомлення про відхилення та дані для його перевірки фахівцем; автоматичне визначення виду несправності можливе лише після налаштування й перевірки відповідної моделі на конкретному обладнанні [4].

За результатами порівняння запропоновано послідовність добору засобів: визначити вузол та ознаку відхилення, дібрати датчики, перевірити історію вимірювань і лише потім обрати алгоритм. Цей концептуальний порядок потребує налаштування для конкретного обладнання [1; 2; 4].

Впровадження такої системи залежить від сумісності датчиків із наявними контролерами, узгодженості форматів даних, якості зв'язку та захисту інформаційних каналів. Результат діагностики має надходити до системи диспетчерського контролю й, за потреби, до засобів планування технічного обслуговування. Узгоджений опис виробничого об'єкта допомагає пов'язати вимірювання з його цифровим представленням, проте сам по собі не забезпечує достовірного прогнозу залишкового ресурсу: для цього потрібні придатна історія спостережень і перевірена прогнозна модель [1; 2; 5].

Отже, аналіз джерел дав змогу пов'язати тип контрольованого параметра, спосіб опрацювання сигналу та клас діагностичного алгоритму в єдиній концептуальній схемі. Її практичне використання потребує вибору датчиків для конкретного агрегату, перевірки якості вимірювань і порівняльного випробування методів виявлення відхилень за однакових умов. Така перевірка є необхідною перед висновками про точність діагностики, скорочення простоїв або економічний ефект.

Список використаних джерел

1. Coito T., Firme B., Martins M. S. E., Vieira S. M., Figueiredo J., Sousa J. M. C. Intelligent Sensors for Real-Time Decision-Making. Automation. 2021. Vol. 2, no. 2. P. 62–82. DOI: 10.3390/automation2020004.

2. Pech M., Vrchota J., Bednář J. Predictive Maintenance and Intelligent Sensors in Smart Factory: Review. Sensors. 2021. Vol. 21, no. 4. Art. 1470. DOI: 10.3390/s21041470.

3. Huang H., Yang L., Wang Y., Xu X., Lu Y. Digital Twin-driven online anomaly detection for an automation system based on edge intelligence. Journal of Manufacturing Systems. 2021. Vol. 59. P. 138–150. DOI: 10.1016/j.jmsy.2021.02.010.

4. Zamudio-Ramírez I., Osornio-Rios R. A., Antonino-Daviu J. A. Smart Sensor for Fault Detection in Induction Motors Based on the Combined Analysis of Stray-Flux and Current Signals: A Flexible, Robust Approach. IEEE Industry Applications Magazine. 2022. Vol. 28, no. 2. P. 56–66. DOI: 10.1109/MIAS.2021.3114647.

5. ISO 23247-3:2021. Automation systems and integration - Digital twin framework for manufacturing - Part 3: Digital representation of manufacturing elements. Geneva: ISO, 2021. URL: https://www.iso.org/standard/78744.html (дата звернення: 23.09.2026).

УДК 004.89:658.51

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (IoT) В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

Вадим Співак

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Сучасний етап розвитку промислового та агропромислового секторів нерозривно пов'язаний із концепцією «Індустрія 4.0», фундаментом якої є кіберфізичні системи та промисловий Інтернет речей (IIoT) [1]. Як зазначають у своєму фундаментальному огляді R. Y. Zhong та співавтори, інтелектуальне виробництво вимагає переходу від ізольованих систем управління до глобально підключених мереж, здатних в режимі реального часу збирати та аналізувати дані з кожної одиниці обладнання [1]. Глобалізація ринків та постійне зростання вартості енергоресурсів диктують нові правила для підприємств: виживають та масштабуються лише ті виробництва, які здатні миттєво адаптуватися до змінних умов завдяки глибокій цифровізації технологічних процесів.

Метою дослідження є розробка концептуальної моделі інтеграції технологій IoT в автоматизовані системи управління для забезпечення безперервного моніторингу, адаптивного

реагування на виробничі зміни та мінімізації негативного впливу людського фактора на прийняття оперативних рішень.

Традиційні SCADA-системи, які масово використовуються на підприємствах, мають суттєвий недолік - вони орієнтовані переважно на візуалізацію процесів та реактивне управління. У таких системах інформація часто залишається ізольованою на рівні окремих цехів, утворюючи так звані «бункери даних» (data silos). A. Kusiak у своїх працях наголошує, що концепція «Smart Manufacturing» вимагає переходу до предиктивної аналітики, де система не просто фіксує факт відхилення, а прогнозує його на основі аналізу історичних даних [2]. Відсутність прогнозування в класичних системах призводить до позапланових зупинок обладнання та нераціонального використання сировини.

Запропонована в рамках дослідження інформаційна система базується на трирівневій архітектурі, аналіз якої системно висвітлено у праці H. Boyes та ін. [3]:

Перший рівень (Edge) складається з мережі бездротових IoT-сенсорів, які встановлюються на критичних вузлах обладнання для збору телеметрії (температури, вібрації, тиску, енергоспоживання). Для передачі даних на цьому рівні доцільно використовувати легковагові M2M-протоколи, такі як MQTT або CoAP, які забезпечують гарантовану доставку повідомлень навіть в умовах нестабільного бездротового зв'язку в промислових приміщеннях [4].

Другий рівень (Fog Computing) забезпечує локальну агрегацію та первинну фільтрацію даних, що дозволяє суттєво розвантажити канали зв'язку. Периферійні шлюзи (Edge Gateways) аналізують потоки інформації безпосередньо поблизу джерела їх виникнення. Це має критичне значення для систем реального часу: якщо виявлено аварійний показник (наприклад, критичне зростання тиску), локальний контролер миттєво генерує сигнал на зупинку, не чекаючи відповіді від віддаленого сервера [3].

Третій рівень (Cloud) містить аналітичне ядро, побудоване на алгоритмах машинного навчання, яке формує керуючі впливи. На цьому рівні акумулюються Великі дані (Big Data) з усього підприємства [4]. Хмарні алгоритми, використовуючи рекурентні нейронні мережі, здійснюють глибокий аналіз тенденцій, реалізують алгоритми предиктивного обслуговування (Predictive Maintenance) та синхронізують роботу виробництва з ERP-системами підприємства.

Впровадження запропонованої архітектури дозволяє реалізувати децентралізоване управління: базові операції з підтримки параметрів виконуються на рівні локальних контролерів, тоді як глобальні завдання оптимізації (наприклад, балансування енергоспоживання між цехами) вирішуються на рівні хмарних обчислень [3].

Особливого значення інтеграція IoT набуває в агропромисловому комплексі. Сучасне переробне підприємство, об'єднане в єдину IoT-мережу, здатне автоматично коригувати режими роботи обладнання залежно від вхідних характеристик сировини, інформація про яку надходить ще на етапі її збору «в полі» (Smart Farming). Це забезпечує наскрізну прозорість (traceability) всього ланцюжка доданої вартості «від поля до столу».

Таким чином, інтеграція IoT в системи управління забезпечує перехід до інтелектуального виробництва, підвищує загальну ефективність обладнання (OEE) та створює єдине інформаційне середовище для прийняття обґрунтованих управлінських рішень [1]. Подальші дослідження у цьому напрямі доцільно зосередити на питаннях кібербезпеки промислових мереж та впровадженні технологій 5G для забезпечення наднизької затримки передачі даних між IoT-пристроями [4].

Список використаних джерел

1. Zhong R. Y., Xu X., Klotz E., Newman S. T. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. Engineering. 2017. Vol. 3, № 5. P. 616–630.

2. Kusiak A. Smart manufacturing. International Journal of Production Research. 2018. Vol. 56, № 1-2. P. 508–517.

3. Boyes H., Hallaq B., Cunningham J., Watson T. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. Computers in Industry. 2018. Vol. 101. P. 1–12.

4. Al-Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M., Aledhari M., Ayyash M. Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2015. Vol. 17, № 4. P. 2347–2376.

УДК 004.94:681.5

КОНЦЕПЦІЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ (DIGITAL TWINS) В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ

Вадим Співак

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Забезпечення надійності, відмовостійкості та безперебійності роботи складних технологічних комплексів є пріоритетним завданням сучасної інженерії та автоматизації [1]. В умовах стрімкого впровадження концепції «Індустрія 4.0» однією з найбільш проривних технологій цифрової трансформації є концепція цифрових двійників (Digital Twins). Як зазначають у своєму дослідження M. Grieves та J. Vickers, які стояли біля витоків цієї технології, цифровий двійник - це не просто статична тривимірна модель, а динамічна віртуальна копія фізичного об'єкта, яка еволюціонує разом з ним протягом усього життєвого циклу завдяки безперервному обміну даними [1].

Метою роботи є обґрунтування доцільності та розробка концептуальних підходів до застосування технології цифрових двійників у складі інтелектуальних систем діагностики й управління промисловим та агропромисловим обладнанням.

Традиційні підходи до технічного обслуговування базуються на регламентних (планово-попереджувальних) ремонтах або на ремонтах за фактом поломки (реактивне обслуговування). Обидві стратегії є економічно неефективними: перша призводить до заміни ще придатних деталей, а друга - до тривалих аварійних простоїв. Згідно з дослідженнями F. Tao та співавторів, перехід до предиктивного технічного обслуговування (Predictive Maintenance) неможливий без створення єдиного інформаційного середовища, де фізичний об'єкт безперервно обмінюється даними зі своєю віртуальною копією [2].

У науковій літературі, зокрема у фундаментальному огляді W. Kritzinger та ін., прийнято розрізняти три рівні інтеграції цифрових моделей, які визначають ступінь автоматизації систем моніторингу [3]:

1. Цифрова модель (Digital Model) - передбачає ручний обмін даними між фізичним об'єктом та його віртуальною копією (застосовується на етапі проєктування).

2. Цифрова тінь (Digital Shadow) - характеризується одностороннім автоматичним потоком даних від фізичного об'єкта до цифрової моделі, що дозволяє здійснювати моніторинг, але без зворотного керуючого впливу.

3. Цифровий двійник (Digital Twin) - найвищий рівень інтеграції, що базується на повністю автоматизованому двосторонньому потоці даних, де рішення віртуальної моделі автоматично імплементуються у фізичне середовище [3].

Розроблена нами концептуальна архітектура системи моніторингу передбачає використання саме повноцінного цифрового двійника. Телеметричні дані (температура, спектр вібрацій, споживаний струм) з реального обладнання через промислові IoT-шлюзи безперервно надходять до хмарного середовища, де розгорнуто цифрову копію [4]. На базі цих даних віртуальна модель постійно синхронізує свій внутрішній стан з фізичним оригіналом.

Ключовим механізмом інтелектуальної діагностики є постійне паралельне порівняння реакції реального об'єкта та цифрового двійника на однакові керуючі впливи. Оскільки цифрова модель імітує роботу «ідеально справного» механізму, будь-яка нев'язка між реальними сенсорними даними та розрахунковими показниками моделі свідчить про початок деградації вузлів [2]. Для аналізу цих відхилень система використовує алгоритми машинного навчання (зокрема, рекурентні нейронні мережі), що дозволяє ідентифікувати тип несправності та розрахувати залишковий корисний ресурс (Remaining Useful Life - RUL) об'єкта [4].

У контексті агропромислового виробництва використання таких технологій відкриває можливості для створення цифрових двійників цілих технологічних ліній (наприклад, елеваторних комплексів чи ліній переробки сировини). Q. Qi та співавтори доводять, що інтеграція технології Digital Twins з системами аналізу Великих даних здатна підвищити загальну ефективність обладнання (OEE) на 15–20 % за рахунок оптимізації режимів роботи [4].

Отже, впровадження цифрових двійників в автоматизовані інформаційні системи моніторингу формує принципово новий рівень управління кіберфізичними системами [1]. Це дозволяє здійснити перехід до обслуговування обладнання за фактичним станом, що мінімізує фінансові втрати від непередбачених простоїв та підвищує експлуатаційну безпеку підприємства [2].

Список використаних джерел

1. Grieves M., Vickers J. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. Transdisciplinary perspectives on complex systems. Springer, Cham, 2017. P. 85–113.

2. Tao F., Zhang H., Liu A., Nee A. Y. C. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2019. Vol. 15, № 4. P. 2405–2415.

3. Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihn W. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51, № 11. P. 1016–1022.

4. Qi Q., Tao F., Hu T., Anwer N., Liu A., Wei Y., Wang L., Nee A. Y. C. Enabling technologies and tools for digital twin. Journal of Manufacturing Systems. 2021. Vol. 58. P. 3–21.

УДК 004.056:004.7

DEVELOPMENT OF ADAPTIVE ACCESS CONTROL POLICIES FOR MULTI-CLOUD ENVIRONMENTS IN DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS

Dmytro Hleba

Institute of Special Communications and Information Protection,
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Abstract. This paper investigates the challenges and prospects of developing adaptive access control policies for distributed information systems operating in multi-cloud environments. It analyzes key information security threats associated with cloud migration, as well as the limitations of traditional static access control models. The advantages of transitioning to dynamic attribute-based models (ABAC) and Zero Trust architecture are identified. Particular attention is paid to mechanisms for continuous monitoring of user context, automated policy updating, and enhancing the overall resilience of the infrastructure against modern cyberattacks.

Keywords: multi-cloud environments, cybersecurity, access control, adaptive policies, distributed information systems, Zero Trust, ABAC, identity management.

Research Relevance: The current stage of corporate information technology development is characterized by a massive transition to multi-cloud architectures. Organizations simultaneously use resources from various providers (e.g., AWS, Azure, Google Cloud) to optimize costs and ensure the uninterrupted operation of distributed systems. However, such infrastructure fragmentation leads to an expanded attack surface, loss of centralized control, and difficulties in managing access rights. Traditional static Role-Based Access Control (RBAC) models are no longer capable of effectively protecting data in conditions of highly dynamic connections, Bring Your Own Device (BYOD) practices, and remote work. The relevance of this research stems from the urgent need to develop and implement adaptive access control mechanisms capable of responding in real time to context changes and risk levels within multi-cloud ecosystems.

Research Objective: The aim of this study is to analyze the principles of building adaptive access control policies in multi-cloud environments, develop approaches for integrating dynamic risk assessment

into the authorization decision-making process, and identify architectural solutions to ensure continuous security of distributed information systems.

Distributed information systems in multi-cloud environments consist of microservices, databases, APIs, and user interfaces hosted on various providers' platforms. The main security problem in such environments is the lack of a single perimeter. Each cloud provider has its own Identity and Access Management (IAM) tools, which often leads to policy inconsistencies, over-provisioning of privileges, and the emergence of "blind spots" in security auditing. Furthermore, the dynamic nature of containerized applications and serverless computing introduces ephemeral workloads that require instantaneous access provisioning and de-provisioning, further complicating traditional security management.

Adaptive Access Control is an evolutionary step in cybersecurity that abandons one-time authentication upon system entry. Instead, it is based on the principles of Zero Trust Architecture (ZTA), where trust is never granted by default but is continuously evaluated. At the core of adaptive policies lies the Attribute-Based Access Control (ABAC) model, which considers not only the user's role but also the context of the request. This contextual awareness is often operationalized through the Continuous Adaptive Risk and Trust Assessment (CARTA) framework, which ensures that security postures dynamically evolve in tandem with emerging threats.

The decision-making process regarding access authorization in adaptive systems relies on the analysis of a multidimensional set of metrics. These metrics include: user location (IP address, geolocation), time of day, endpoint security posture (presence of antivirus, OS updates), type of network connection, and user behavior history. For instance, if an employee who typically works from the Kyiv office using a corporate laptop suddenly attempts to access a confidential cloud database from an unknown mobile device abroad, the system must automatically detect this anomaly.

Instead of rigid Allow/Deny blocking, adaptive policies allow for flexible response mechanisms. Depending on the calculated transaction risk level, the system may require additional Multi-Factor Authentication (MFA), restrict access rights to a "read-only" mode, or permit access only to non-confidential data. Additionally, session termination or step-up authentication can be triggered mid-session if a sudden shift in behavior is detected, ensuring that an initially secure connection remains secure throughout its entire lifecycle. This approach minimizes the impact on legitimate users while simultaneously blocking potential threats.

Implementing adaptive policies in a multi-cloud environment requires the use of Cloud Access Security Brokers (CASB) or centralized cloud security posture management platforms (CSPM, CIEM). These tools enable abstraction from the specifics of a particular cloud provider and apply unified standardized access policies across the entire distributed infrastructure. Data from various cloud platforms, event logs, and network traffic is consolidated and normalized. Moreover, integrating API gateways and service meshes into this architecture allows for granular policy enforcement, ensuring secure machine-to-machine (M2M) communication across different cloud boundaries. This centralized visibility also simplifies compliance with stringent regulatory frameworks, such as GDPR or HIPAA, by providing a unified trail of access logs.

Machine learning and artificial intelligence algorithms play a crucial role in developing adaptive policies by enabling User and Entity Behavior Analytics (UEBA). Models detect hidden correlations and anomalies that may indicate credential compromise or insider abuse attempts, automatically adjusting the user's "trust score" in real time. By utilizing both supervised learning for known threat signatures and unsupervised learning for novel anomaly detection, these intelligent systems can proactively isolate compromised accounts before significant data exfiltration occurs.

Thus, the development and implementation of adaptive access control policies are critical for protecting modern distributed information systems. The integration of dynamic context assessment, attribute-based access models, and behavior analytics allows for the creation of a resilient architecture that effectively counters cyber threats in complex multi-cloud ecosystems.

References

1. National Institute of Standards and Technology. Zero Trust Architecture. NIST Special Publication 800-207. Gaithersburg: NIST, 2020. DOI: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207.

2. Cloud Security Alliance. Security Guidance for Critical Areas of Focus in Cloud Computing. URL: https://cloudsecurityalliance.org/ (accessed: 14.10.2026).

3. National Institute of Standards and Technology. Attribute Based Access Control (ABAC) Definition and Considerations. NIST SP 800-162. Gaithersburg: NIST, 2014. DOI: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-162.

УДК 004.8:681.5

DATA MINING AND MACHINE LEARNING IN AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEMS

Olena Polonska

Institute of Special Communications and Information Protection,
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Language advisor: Zhytska S. A., Senior Lecturer
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Modern critical infrastructure encompasses energy, water supply, chemical industry, and other strategically important sectors, the stable operation of which depends on the efficiency of automated process control systems (APCS). As the number of industrial devices, sensors, and monitoring systems grows, so does the volume of process data, creating a need for intelligent data processing methods. One promising avenue is the integration of Big Data, Data Mining, and Machine Learning technologies, which enable a shift from traditional monitoring to predicting deviations and enhancing process control efficiency[1]. This approach is underpinned by the Big Data concept, characterized by large data volumes (Volume), high rates of data ingestion and processing (Velocity), and a diversity of formats (Variety). In APCS environments, this data may include historical records of temperature, pressure, resource consumption, equipment operating modes, and industrial network events. Data reliability and the ability to derive practical value from analysis are also crucial, as errors, omissions, and information noise can compromise the accuracy of analytical models[2].

Data Mining or intelligent data analysis serves as a key tool for uncovering hidden patterns within vast datasets of processed information. Its application makes it possible to identify interrelationships between process parameters, detect anomalous equipment operating modes, pinpoint the causes of malfunctions, and identify opportunities for optimizing resource utilization[3]. The primary methods include classification, clustering, association analysis, and forecasting. Specifically, classification helps distinguish between normal and potentially critical states; clustering identifies typical equipment operating modes; and association analysis detects combinations of events linked to the occurrence of process deviations. Within APCS architecture, data mining can be used to analyze data accumulated in historical repositories (Industrial Historian) and transmit the resulting insights to analytical systems and decision-support tools. Unlike standard SCADA functions such as filtering, data aggregation, and trend visualization, intelligent analysis enables detection of complex relationships that are not always apparent during routine monitoring. This makes it an effective complement to existing automation infrastructure, without requiring the replacement of core components[4].

Machine learning is a key area of development in intelligent analysis; it enables the construction of models for forecasting and pattern recognition based on data. While data mining focuses primarily on discovering and interpreting relationships, machine learning allows training of models that apply these relationships to new data. For instance, supervised learning methods such as logistic regression and random forests can be used to classify equipment states[5], whereas unsupervised learning methods such as K-means can be employed to group operational modes and detect anomalous behavior. Combining data mining and machine learning creates opportunities to analyze both historical data and real-time information streams. Such historical data may include thermal, hydrodynamic, mechanical, and electrical parameters, as well as

event logs, discrete status signals, raw material characteristics, etc. For active technological processes, this approach enables detection of deviations from normal operating modes, forecasting of peak loads, and support of efficient resource allocation. Regarding the accumulated data analysis, these technologies help optimize computing resource usage, identify trends in operational metrics, and improve maintenance planning. Notably, data mining can be applied to streaming data and machine learning to historical datasets; thus, the distinction between them is defined not by the data type itself, but by the specific objectives and methods employed. It is possible to compare a system utilizing these two tools against one that is not (i.e., in their absence) based on performance evaluation criteria. The evaluation criteria are straightforward: anomaly detection accuracy, the number of false positives, detection time, and forecast accuracy. Operators rely on them to determine whether a particular tool or technology is useful based on specific priorities and whether the innovation will integrate with existing methodologies.

Each specific criterion is calculated in a different way. For instance, detection accuracy is calculated using a confusion matrix within a MATLAB environment via supervised learning[6]. This matrix comprises four metrics: True Positive (TP) - the correct tool; it detects something that actually exists. False Positive (FP) - a false alarm; the tool indicates detection, but nothing is there. True Negative (TN) - the correct tool; it ignores something that does not exist. False Negative (FN) - a miss; the tool detects nothing, even though an object is present. This metric is expressed as a percentage. The number of false triggers is calculated by counting instances where the tool signals by mistake the presence of a problem or event that does not actually exist; this is measured in absolute units. Detection time is derived by subtracting the time the deviation occurred from the time it was detected, and is therefore measured in units of time. Prediction accuracy is determined by comparing predictions against actual data, expressed in the units of the numerical parameter itself. From an industrial automation architecture perspective, these technologies can be integrated at the levels of data historians, analytics servers, SCADA, and MES, in accordance with ISA-95 principles. Their specific placement depends on requirements regarding processing speed, data availability, and production process safety. At the same time, solutions generated by intelligent models must be applied with due regard for the constraints of the industrial environment, while critical control functions must remain under the supervision of appropriate automation systems and established safety mechanisms.

This combined approach is currently being actively employed in modern Industrial Control Systems (ICS). It enhances operational safety within critical infrastructure facilities and represents a promising avenue for improving the efficiency and reliability of industrial systems. Combining accumulation and processing of large datasets, identification of hidden patterns, and forecasting of process deviations creates conditions for timely fault detection, efficient resource utilization, and improved decision-making. Practical implementation of this approach will facilitate transition to intelligent process control, providing safety and reliability requirements for critical infrastructure[7].

References

1. Han J., Kamber M., Pei J. Data Mining: Concepts and Techniques. 3rd ed. Waltham: Morgan Kaufmann, 2012. URL: https://www.sciencedirect.com/book/monograph/9780123814791/data-mining-concepts-and-techniques (дата звернення: 14.10.2026).

2. Chang W. L., Grady N. NIST Big Data Interoperability Framework: Volume 1, Big Data Definitions. Version 2. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2018. (NIST Special Publication 1500-1). URL: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1500-1r2 (дата звернення: 14.10.2026).

3. Chapman P., Clinton J., Kerber R., Khabaza T., Reinartz T., Shearer C., Wirth R. CRISP-DM 1.0: Step-by-Step Data Mining Guide. 2000. URL: https://www.dataprix.com/files/CRISP-DM.pdf (дата звернення: 14.10.2026).

4. International Society of Automation. ISA-95 Series of Standards: Enterprise-Control System Integration. URL: https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-95-standard (дата звернення: 14.10.2026).

5. Scikit-learn developers. Ensemble methods: Random forests and other randomized tree ensembles. URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/ensemble.html (дата звернення: 14.10.2026).

6. Scikit-learn developers. *scikit-learn: Machine Learning in Python. User Guide*. URL: https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html (дата звернення: 14.10.2026).

7. National Institute of Standards and Technology. Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security. NIST Special Publication 800-82 Rev. 3. Gaithersburg: NIST, 2023. URL: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r3 (дата звернення: 14.10.2026).

УДК 004.85:004.89

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ДОСТОВІРНОСТІ ТА ПОЯСНЮВАНОСТІ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Даніїл Чулов

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. В. Співак,
асистент Миколаївський національний аграрний університет

Інтенсивне впровадження методів штучного інтелекту та машинного навчання (МН) у системи підтримки прийняття рішень в інженерії, медицині, енергетиці та агропромисловому виробництві зумовлює необхідність суворого контролю надійності автоматизованих прогнозів [1; 2]. Сучасні нелінійні моделі, зокрема глибокі нейронні мережі та ансамблі дерев прийняття рішень, демонструють високу точність класифікації, проте функціонують за принципом «чорної скриньки» та характеризуються систематичною гіпервпевненістю (overconfidence), коли прогнозовані оцінки ймовірностей суттєво перевищують емпіричну частоту правильних відповідей [3]. Існуючі програмні засоби зазвичай розглядають задачу пояснюваності (Explainable AI – XAI) ізольовано від задачі квантифікації невизначеності та калібрування імовірностей. Зокрема, методи SHAP [4] і LIME [5] призначені для атрибуції ознак і не оцінюють надійності самих імовірностей. Як наслідок, інтерпретація невідкаліброваного прогнозу за допомогою методів важливості ознак формує у кінцевого користувача хибну довіру до потенційно помилкового рішення. Отже, актуальним науково-прикладним завданням є розробка комплексної інформаційної системи (ІС), яка інтегрує методи оцінювання статистичної достовірності, пост-обробного калібрування та адитивної пояснюваності моделей МН у єдиному програмному контурі.

Мета роботи – розробити таку ІС та оцінити її ефективність на тестових наборах даних класифікації за показниками калібрування, покриття конформних множин і діагностики ознак, що спричиняють невизначеність.

Архітектура запропонованої інформаційної системи (рис. 1) базується на чотирьох функціонально зв’язаних підсистемах: модулі інтеграції моделей та наборів даних, модулі діагностики калібрування та рекалібрування ймовірностей, модулі конформного прогнозування та модулі адитивної інтерпретації рішень XAI. Робочий цикл ІС: розбиття даних на калібрувальну, верифікаційну та тестову частини; обчислення ECE, MCE, EntCE; за потреби – рекалібрування; побудова конформних множин і аудит покриття за підгрупами; обчислення SHAP-атрибуцій для об’єктів із розширеною множиною.

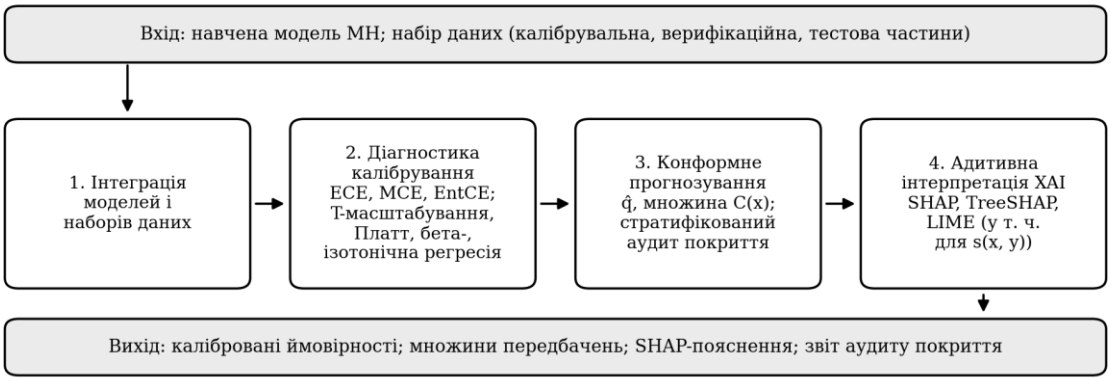


Рис. 1. Архітектура інформаційної системи аналізу достовірності та пояснюваності моделей МН.

Математичне ядро модуля оцінювання достовірності перевіряє виконання умови ідеального калібрування $P(\hat{Y} = Y \mid \hat{P} = p) = p$, де $\hat{Y}$ – передбачена мітка класу, Y – істинна мітка, а $\hat{P}$ – апостеріорна оцінка впевненості моделі. Шляхом розбиття діапазону імовірностей $[0, 1]$ на M інтервалів $B_1, \dots, B_M$ на верифікаційній вибірці обсягом n об'єктів інформаційна система обчислює очікувану похибку калібрування (Expected Calibration Error – ECE) [6] за нормою L_1:

$$\mathrm{ECE} = \sum_{m=1}^{M} \frac{|B_m|}{n} |\mathrm{acc}(B_m) - \mathrm{conf}(B_m)| \quad (1)$$

де $|B_m|$ – кількість спостережень в інтервалі m, $\mathrm{acc}(B_m) = \frac{1}{|B_m|} \sum_{i \in B_m} 1(\hat{y}_i = y_i)$ – емпірична точність, а $\mathrm{conf}(B_m) = \frac{1}{|B_m|} \sum_{i \in B_m} \hat{p}_i$ – середня прогнозована впевненість моделі в цьому інтервалі. Для контролю граничних ризиків у критичних режимах додатково розраховується максимальна похибка калібрування (Maximum Calibration Error – MCE):

$$\mathrm{MCE} = \max_{m \in \{1,\dots,M\}} |\mathrm{acc}(B_m) - \mathrm{conf}(B_m)| \quad (2)$$

та середньоквадратична похибка калібрування (RMSCE) у межах декомпозиції Мерфі $\mathbb{E}[(m(X) - Y)^2] = \mathrm{MCB} - \mathrm{DSC} + \mathrm{UNC}$, а також ентропійна похибка $\mathrm{EntCE}(x_i) = H(y_i) - H(\hat{p}_i)$ [7]. Вибір кількості інтервалів при квантильному групуванні здійснюється пропорційно величині $n^{1/3}$, що мінімізує середньоквадратичну похибку оцінювання до порядку $O(n^{-2/3})$.

У разі перевищення показником ECE нормативного порогу [значення порогу] інформаційна система автоматично активує конвеєр пост-обробного калібрування (post-hoc calibration), що підтримує параметричне температурне масштабування логітів:

$$p_i = \frac{\exp(z_i/T)}{\sum_j \exp(z_j/T)} \quad (3)$$

де z_i – некалібрований логіт класу i, T – параметр температури, а також масштабування Платта, бета-калібрування та непараметричну ізотонічну регресію, яка не накладає припущень про форму залежності, але потребує достатнього обсягу калібрувальних даних. Параметр T підбирають мінімізацією від'ємного логарифма правдоподібності на валідаційній вибірці [3]; оскільки масштабування не змінює порядку імовірностей, точність за першим рангом зберігається.

Для формування строгих неасимптотичних гарантій достовірності без припущень щодо закону розподілу даних у системі реалізовано метод роздільного конформного прогнозування (Split Conformal Prediction) [8]. На відкладеній калібрувальній вибірці обсягом n обчислюються показники невідповідності $s_i = 1 - \hat{p}(y_i \mid x_i)$. Для заданого рівня значущості $\alpha \in (0, 1)$ визначається пороговий квантиль $\hat{q}$ із поправкою на скінченність вибірки:

$$\hat{\mathrm{q}} = \mathrm{Quantile}_{\frac{\lceil (n+1)(1-\alpha) \rceil}{n}}(s_1, s_2, \dots, s_n) \quad (4)$$

Для нового об'єкта X_{new} система генерує множину передбачень $C(X_{new}) = \{y : \hat{p}(y \mid X_{new}) \geq 1 - \hat{q}\}$, для якої гарантується виконання маргінальної умови покриття $P(Y_{new} \in C(X_{new})) \geq 1 - \alpha$ за умови взаємозамінності (exchangeability) даних. Для неперервних показників невідповідності покриття обмежене і зверху: $1 - \alpha \leq P \leq 1 - \alpha + 1/(n+1)$ [8], тож за обсягу калібрувальної вибірки у сотні об'єктів надмірне покриття не перевищує 0,5 в. п. Оскільки маргінальна гарантія не захищає від локальних провалів достовірності у малих підгрупах (де загальне покриття 90 % може супроводжуватися падінням покриття до 9 % у міноритарному кластері або за умов дрейфу даних), в ІС впроваджено підсистему стратифікованого аудиту умовного покриття. Для підгрупи G_g обчислюється емпіричне покриття

$$\mathrm{Cov}_g = \frac{1}{|G_g|} \sum_{i \in G_g} 1(y_i \in C(x_i)) \quad (5)$$

і підгрупу позначають як ризикову, якщо $\mathrm{Cov}_g < 1 - \alpha - \delta$, де δ – допуск, що враховує статистичну похибку оцінки. Для підгрупи з n_g об'єктів стандартна похибка оцінки покриття дорівнює $\sqrt{(p(1-p)/n_g)}$; для підгрупи, що становить 10 % вибірки з 1197 об'єктів (≈120), і $p = 0{,}9$ вона сягає 2,7 в. п.

Модуль пояснюваності ІС реалізує методи адитивної атрибуції ознак (SHAP, TreeSHAP, LIME) [4; 5; 9]. Локальна пояснювальна модель подається у вигляді лінійної функції бінарних коаліцій ознак $z' \in \{0,1\}^d$:

$$g(z') = \varphi_0 + \sum_{j=1}^{d} \varphi_j z'_j \quad (6)$$

де φ_j – значення Шеплі для ознаки j, яке задовольняє аксіоми локальної точності та адитивності. Використання алгоритму TreeSHAP для ансамблів дерев забезпечує поліноміальну обчислювальну складність точного розрахунку умовних математичних сподівань [9]. Особливістю реалізованого в ІС підходу є застосування атрибуції Шеплі не лише до цільового прогнозу $f(x)$, але й до конформної функції невідповідності $s(x, y)$ та локальної похибки калібрування, що дозволяє оператору ідентифікувати ознаки, які спричинили зростання невизначеності моделі.

Верифікація розробленої інформаційної системи проведена на тестових наборах даних бінарної та багатокласової класифікації (зокрема на вибірці з $n = 1197$ тестових зображень [назва набору даних] та стратифікованих табличних наборах [перелік наборів]). Параметри експерименту: базова модель – [тип моделі]; розбиття даних – [співвідношення]; обсяг калібрувальної вибірки – [значення]. У табл. 1 наведено результати порівняльного аналізу режимів роботи ІС до та після активації контуру калібрування й конформної верифікації.

Таблиця 1. Показники ефективності аналізу моделей машинного навчання в розробленій інформаційній системі

Досліджуваний режим / метрика достовірності та пояснюваності	**Базова модель без корекції**	**Після пост-калібрування та конформного аналізу в ІС**
Емпірична точність класифікації за першим рангом (Top-1 Accuracy), %	91,6 %	91,6 % (ранжування збережено)
Очікувана похибка калібрування ECE (5 інтервалів, норма L_1)	0,205	0,015 (після рекалібрування)
Максимальна похибка калібрування MCE (в інтервалах [0,7; 0,9])	0,375	0,025
Фактичне покриття істинного класу $P(Y_{new} \in C(X_{new}))$ (α = 0,05)	91,6 % (точковий прогноз)	96,5 % (гарантія ≥ 95 %)
Середня потужність конформної множини $\lvert C(X_{new})\rvert$, класів	1,00	1,27

Досліджуваний режим / метрика достовірності та пояснюваності	Базова модель без корекції	Після пост-калібрування та конформного аналізу в ІС
Виявлення деградації покриття у міноритарній підгрупі Б (10 % вибірки)	Не детектується (приховано за 90 % середнім)	Автоматична детекція провалу (9 % покриття) + SHAP-діагностика ознак

Аналіз отриманих результатів (табл. 1) свідчить, що базова модель до застосування інформаційної системи мала суттєве розкалібрування ($\mathrm{ECE} = 0{,}205$, $\mathrm{MCE} = 0{,}375$) внаслідок гіпервпевненості в діапазоні імовірностей 0,70…0,90, де за фактичної точності 50,0 % середня оцінка впевненості сягала 72,5…82,5 %. Інтеграція модуля пост-обробного калібрування та роздільного конформного прогнозування дозволила забезпечити фактичне покриття істинного класу на рівні 96,5 % (при цільовому порозі $1 - \alpha = 95{,}0$ %) за мінімального розширення середнього розміру множини передбачень до 1,27 класу. Одночасна генерація залежностей TreeSHAP для об'єктів із розширеною конформною множиною ($|C(X_{new})| \geq 2$) забезпечила прозору інтерпретацію факторів ризику для оператора ІС.

Кількісно (рис. 2) ECE зменшилась у 13,7 раза (на 92,7 %), MCE – у 15 разів (на 93,3 %), а покриття перевищило точність точкового прогнозу на 4,9 в. п. ціною розширення множини в середньому на 0,27 класу. За умови, що показники обчислено на 1197 об'єктах, 95 %-й довірчий інтервал Вілсона для покриття 96,5 % становить 95,3–97,4 %, тобто його нижня межа лежить вище за цільовий рівень 95 %.

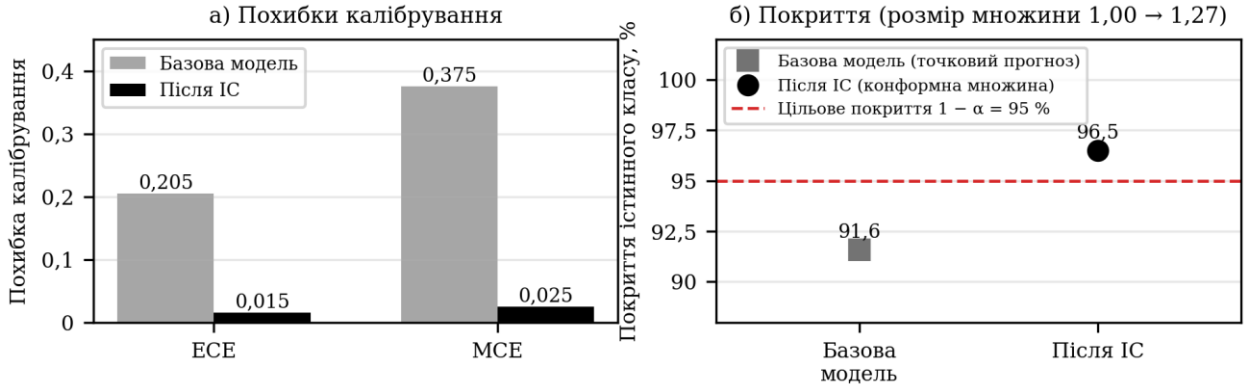


Рис. 2. Показники ІС до та після калібрування й конформної верифікації (за даними табл. 1)

Практичне значення полягає в тому, що оператор отримує не лише мітку класу, а й множину допустимих класів із гарантованим рівнем покриття: об'єкти з $|C(X_{new})| \geq 2$ можна передавати на ручну перевірку, а SHAP-діагностика вказує ознаки, які збільшують невизначеність. Це може зменшити ціну хибних автоматичних рішень, зокрема в агропромислових задачах (діагностика стану посівів за зображеннями, оцінювання ризиків). Обмеження: результати отримано на обмежених наборах даних; гарантія покриття маргінальна й діє за взаємозамінності даних, тому за дрейфу потрібен постійний моніторинг; значення ECE залежать від кількості інтервалів.

Таким чином, розроблена інформаційна система аналізу достовірності та пояснюваності моделей машинного навчання усуває розрив між точністю прогнозування, калібруванням імовірностей та інтерпретованістю алгоритмів штучного інтелекту, створюючи інструментальне середовище для верифікації інтелектуальних моделей перед їх промисловим впровадженням: на тестових даних ECE зменшилась з 0,205 до 0,015, а покриття становило 96,5 % за цільового рівня 95 %.

Список використаних джерел

1. Васильєв О. Ю., Філіппенко О. І. Штучний інтелект та машинне навчання для оптимізації функціональної верифікації. Радіоелектроніка та інформатика. 2023. № 4. С. 45–52.

2. Литвиненко С. В. Оптимізація параметрів гібридної нейро-фаззі системи (ANFIS) для підвищення стійкості до шуму в задачах розпізнавання образів. Системи обробки інформації. 2024. Вип. 2 (177). С. 31–38.

3. Guo C., Pleiss G., Sun Y., Weinberger K. Q. On calibration of modern neural networks. Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning (ICML). PMLR. 2017. Vol. 70. P. 1321–1330.

4. Lundberg S. M., Lee S.-I. A unified approach to interpreting model predictions. Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NIPS 2017). 2017. P. 4765–4774.

5. Ribeiro M. T., Singh S., Guestrin C. "Why should I trust you?": explaining the predictions of any classifier. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 2016. P. 1135–1144.

6. Naeini M. P., Cooper G. F., Hauskrecht M. Obtaining well calibrated probabilities using Bayesian binning. Proceedings of the 29th AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2015. P. 2901–2907.

7. Baan J., Aziz W., Plank B., Fernández R. Stop measuring calibration when humans disagree. Proceedings of the 2022 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). Abu Dhabi : ACL, 2022. P. 1892–1915. DOI: https://doi.org/10.18653/v1/2022.emnlp-main.124.

8. Angelopoulos A. N., Bates S. A gentle introduction to conformal prediction and distribution-free uncertainty quantification. arXiv:2107.07511. 2021. URL: https://arxiv.org/abs/2107.07511 (дата звернення: 12.10.2026).

9. Lundberg S. M., Erion G. G., Lee S.-I. Consistent individualized feature attribution for tree ensembles. arXiv:1802.03888. 2018. URL: https://arxiv.org/abs/1802.03888 (дата звернення: 12.10.2026).

УДК 004.62:004.738.5:378

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ У ВЕБСИСТЕМІ ДОКУМЕНТООБІГУ КАФЕДРИ

Денис Данильченко, Володимир Крайній

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв Україна

Кафедра закладу вищої освіти опрацьовує навчально-методичні матеріали, наукові публікації, кваліфікаційні роботи, сертифікати підвищення кваліфікації та службові документи. Відомості про них часто розподілені між файлами, особистими сховищами й інституційним репозитарієм. За таких умов підготовка звітів потребує повторного введення даних, а відмінності в написанні прізвищ і неповні реквізити ускладнюють пошук та облік результатів роботи. У звіті OECD цифрову освітню екосистему розглянуто як поєднання засобів управління, навчання та людської участі [1]. Отже, впорядкування кафедральних даних є складником цифрової трансформації освіти.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні підходу до інтелектуального аналізу даних у вебсистемі документообігу кафедри на основі реалізованих можливостей проєкту mnau_docflow та визначенні напрямів їх аналітичного розширення. Об'єктом дослідження є процеси опрацювання документів кафедри; предметом – методи узгодження метаданих, ідентифікації авторів і формування інформації для управлінських рішень. Використано аналіз програмної реалізації та моделі даних, формалізацію предметних правил, а також зіставлення наявних механізмів із методами інформаційного пошуку й аналізу процесів.

Проєкт реалізовано на Laravel 13 із використанням PHP та реляційної моделі даних. Основними сутностями є користувач, кафедра, документ, папка, версія документа, завдання та подія його виконання. Для публікацій зберігаються автори, назва, видання, рік, тип і бібліографічний опис; для підвищення кваліфікації – програма, організатор, період і кількість годин. Документ поєднує файл або зовнішнє посилання зі структурованими реквізитами.

У поточній реалізації імпорт із репозитарію МНАУ обмежено розділом факультету менеджменту. Під час імпорту використовуються, зокрема, поля dc.title, dc.contributor.author, dc.contributor.advisor і dc.date.issued. Їх семантика спирається на модель опису ресурсів Dublin Core, яка визначає властивості назви, авторства, дат та інших характеристик [2]. Ідентифікатор Handle

використовується для зіставлення репозитарного запису з локальним документом. Повторна синхронізація оновлює відповідний запис, а окремо збережені ручні виправлення реквізитів мають пріоритет над імпортованими значеннями.

Один із ключових реалізованих алгоритмів пов'язує авторів репозитарних матеріалів із працівниками та їхніми кафедрами. Перед порівнянням виконуються приведення до нижнього регістру, уніфікація апострофів і розділових знаків, усунення зайвих пробілів. Для кадрового довідника формуються допустимі варіанти подання імені, зокрема прізвище з ініціалами. Автоматичне зіставлення приймається лише за однозначного збігу; неоднозначні імена не використовуються для довільного вибору працівника. Додатково передбачено ручні відповідності між авторським іменем та кафедрами.

Для кваліфікаційних робіт належність визначається за науковим керівником, оскільки автором є здобувач освіти. Якщо публікацію створили співавтори з різних кафедр, система зберігає один документ і пов'язує його з кількома папками. Це зменшує ризик розходження копій та забезпечує доступ у відповідних підрозділах. Матеріали, для яких кафедру встановити не вдалося, спрямовуються до окремої папки для уточнення. Таким чином, предметні правила доповнено можливістю відмови від ненадійного автоматичного рішення та участю відповідальної особи.

У системі реалізовано визначення незаповнених реквізитів з урахуванням типу документа, його автора та налаштувань кафедри. Перевірка може поширюватися на вибрані папки й часовий інтервал. Для наукової публікації враховується авторство, а для сертифіката – належність документа користувачеві. Виявлені пропуски подаються як перелік конкретних полів для доповнення. На цій основі пропонується обчислювати частку заповнених обов'язкових реквізитів і виділяти документи, які потребують першочергової актуалізації. Такий показник характеризуватиме якість облікових даних, а не наукову цінність публікації чи професійну якість викладача.

Реалізовані механізми працюють за заданими правилами та не є навченими моделями машинного навчання. Для їх розвитку запропоновано застосувати пошук подібних документів і дослідження робочих процесів. Рекомендації мають супроводжуватися поясненням та можливістю перевірки користувачем.

Для пошуку матеріалів пропонується формувати текстове подання з назви, анотації та ключових слів, якщо відповідні значення наявні в метаданих. Після нормалізації тексту та вилучення службових слів можна застосувати ваги TF-IDF і косинусну подібність. TF-IDF враховує частоту терміна в документі та його поширеність у колекції, а косинусна міра дає змогу порівнювати векторні подання [3]. У кафедральному документообігу це створить можливість пропонувати тематично близькі матеріали та виявляти потенційні повторні записи. Остаточне рішення про дублювання потребуватиме перевірки авторів, року й ідентифікаторів; сама текстова подібність не доводить тотожності документів.

Векторний пошук потребує адаптації до української мови: узгодження апострофів, словоформ, скорочень і змішаних українсько-англійських назв. Спочатку доцільно індексувати доступні метадані; повнотекстове видобування з файлів є окремим завданням. За недостатнього опису матеріалу система має повідомляти про обмеженість підстав для рекомендації. Реалізація модуля та перевірка на розміченій колекції становлять наступний етап розвитку проєкту.

Система зберігає завдання, їхні стани, строки, події погодження та журнал аудиту. Ці відомості можуть бути підготовлені для process mining – дослідження процесів за журналами подій [4]. Для цього кожну подію потрібно пов'язати з конкретним екземпляром процесу, назвою дії та часовою позначкою. Запропоновано аналізувати тривалість погодження, повернення на доопрацювання та частку завдань, завершених у строк. Спочатку слід узгодити значення подій і перевірити повноту журналу, оскільки пропущені часові позначки або змішані маршрути можуть спотворювати висновки про затримки.

Реалізовані засоби експорту публікацій і відомостей про підвищення кваліфікації у формат XLSX забезпечують повторне використання структурованих реквізитів у звітності. Запропоновані аналітичні показники можуть доповнити ці звіти переліком неповних записів, матеріалів для уточнення авторства та процесів із тривалим погодженням. Для керівника кафедри це створить

підстави своєчасно організовувати актуалізацію даних і розподіляти робочі завдання. Для викладача очікуваним результатом є зменшення повторного введення відомостей. У межах обраного тематичного напряму система підтримує організаційну складову цифрового освітнього середовища та облік навчально-методичного забезпечення.

Для експериментальної перевірки пропонується підготувати знеособлену вибірку з підтвердженими відповідностями авторів, прикладами неоднозначних імен, спільних публікацій та неповних реквізитів. Основними показниками мають бути точність і повнота зіставлення авторів, частка випадків ручного уточнення, релевантність перших результатів пошуку й медіанний час погодження. Порівняння з ручним опрацюванням слід виконувати на однакових завданнях. Наведені результати стосуються аналізу програмної реалізації; кількісна оцінка ефективності потребує окремого експерименту.

На прикладі mnau_docflow визначено послідовність переходу від зберігання документів до аналітичної підтримки роботи кафедри: узгодження метаданих, однозначне зіставлення авторів, контроль повноти реквізитів і подальше застосування методів інформаційного пошуку та аналізу процесів. Реалізовані механізми забезпечують структуровану основу для цього переходу. Практична цінність запропонованого підходу полягає в поєднанні автоматизації обліку з перевіркою якості даних і збереженням участі відповідальної особи. Подальша робота передбачає впровадження аналітичних модулів та експериментальне оцінювання їхньої корисності для цифрової трансформації освітнього управління.

Список використаних джерел

1. OECD. OECD Digital Education Outlook 2023: Towards an Effective Digital Education Ecosystem. Paris : OECD Publishing, 2023. 414 p. URL: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-digital-education-outlook-2023_c74f03de-en.html (дата звернення: 10.10.2026).

2. DCMI Usage Board. DCMI Metadata Terms. Dublin Core Metadata Initiative. 2020. URL: https://www.dublincore.org/specifications/dublin-core/dcmi-terms/ (дата звернення: 10.10.2026).

3. Manning C. D., Raghavan P., Schütze H. Introduction to Information Retrieval. Cambridge : Cambridge University Press, 2008. URL: https://nlp.stanford.edu/IR-book/information-retrieval-book.html (дата звернення: 10.10.2026).

4. IEEE Task Force on Process Mining. Process Mining Manifesto. 2012. URL: https://www.tf-pm.org/resources/manifesto (дата звернення: 10.10.2026).

УДК 004.93

РОЗРОБКА СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У ВІДЕОПОТОЦІ З БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Віктор Сиротенко, Олександр Жебко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Комп'ютерний зір належить до одного з найперспективніших напрямів розвитку штучного інтелекту, який дозволяє автоматизувати аналіз зображень і відеозаписів. Його використання охоплює різноманітні галузі, серед яких промисловість, транспорт, медицина та аграрний сектор. За оглядом 40 досліджень, у сільському господарстві методи глибокого навчання забезпечують високу точність і переважають поширені методи класичної обробки зображень [4]. Одним із актуальних напрямів є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для моніторингу територій і відстеження стану сільськогосподарських угідь. Отримані з БПЛА відеоматеріали можуть містити інформацію про рослинність, місце розташування об'єктів і помітні зміни поверхні ґрунту.

Розглянемо ключові етапи розробки програмної системи для розпізнавання об'єктів у відеопотоці з БПЛА. Головне завдання полягає у створенні програми, яка автоматично аналізуватиме відеокадри, визначатиме задані об'єкти та показуватиме отримані результати безпосередньо на відео.

На початковому етапі система буде спрямована на моніторинг сільськогосподарських угідь, однак у перспективі її можна буде адаптувати до інших сфер застосування.

Перш ніж розпочати розробку, необхідно визначити основні функціональні вимоги до системи. Програма повинна отримувати відео з файлу або сумісного джерела відеопотоку, обробляти окремі кадри, виконувати розпізнавання об'єктів і відображати результати аналізу. Для кожного виявленого об'єкта передбачається показувати обмежувальну рамку та назву відповідного класу.

Наприклад, під час моніторингу сільськогосподарських угідь система може бути налаштована на виявлення окремих рослин, бур'янів або інших об'єктів, які відрізняються за зовнішнім виглядом. Визначення ознак захворювань рослин також можливе, якщо буде підготовлено відповідний набір даних і навчено модель для розпізнавання таких ознак. Отже, перелік класів залежатиме від поставленого завдання та доступних навчальних матеріалів.

Для автоматичного аналізу зображень планується використовувати методи глибокого навчання, зокрема згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN). Такі мережі здатні автоматично визначати характерні ознаки зображень і використовувати їх для класифікації та локалізації об'єктів.

Серед поширених архітектур детекції об'єктів можна виділити YOLO, SSD і Faster R-CNN (табл. 1). YOLO розглядає детекцію як єдину задачу регресії та забезпечує швидке виявлення об'єктів [1], тому є перспективним варіантом для обробки відео в режимі, близькому до реального часу. SSD також виконує детекцію за один прохід моделі, використовуючи прогнози з кількох карт ознак різної роздільності [2], тоді як Faster R-CNN застосовує двоетапний підхід: спочатку мережа пропозицій областей формує кандидатів, а потім детектор уточнює результати [3].

Таблиця 1. Порівняльна характеристика архітектур детекції об'єктів (за даними оригінальних публікацій [1–3])

Архітектура	**Тип детектора**	**Основна ідея**	**Показники за даними авторів**
YOLO [1]	Одноетапний	Детекція як регресія: одна мережа за один прохід передбачає рамки та ймовірності класів	45 кадрів/с (базова модель), 155 кадрів/с (Fast YOLO)
SSD [2]	Одноетапний	Прогнози з кількох карт ознак різної роздільності; набір типових рамок у кожній позиції	Зіставна точність із методами з етапом пропозицій і значно вища швидкість
Faster R-CNN [3]	Двоетапний	Мережа пропозицій областей (RPN) і детектор Fast R-CNN зі спільними згортковими ознаками	5 кадрів/с (VGG-16, GPU); 73,2 % mAP на PASCAL VOC 2007

Наведені в таблиці показники отримано авторами архітектур на різному обладнанні та за різних умов, тому вони мають орієнтовний характер і не замінюють власного порівняння. Вибір конкретної архітектури повинен ґрунтуватися на порівнянні якості розпізнавання, швидкодії та вимог до обчислювальних ресурсів. Тому перед остаточним вибором моделі доцільно провести тестування декількох варіантів на однакових даних.

Одним із важливих етапів розробки є підготовка набору даних. Для цього необхідно зібрати зображення та відеокадри, які відповідають умовам майбутнього використання системи. Джерелами даних можуть бути власні відеозаписи з БПЛА або відкриті набори аерознімків, що містять потрібні категорії об'єктів. Прикладом великого відкритого набору є VisDrone, знятий з дронів над міськими та приміськими територіями 14 міст Китаю й призначений для детекції та відстеження об'єктів [5]. Оскільки такі сцени відрізняються від сільськогосподарських угідь, для аграрних задач, імовірно, знадобиться донавчання моделі на власних даних.

Після збору даних виконується їх попередня обробка та розмітка. Для задачі детекції на зображеннях позначаються розташування об’єктів і відповідні класи. Для підвищення стійкості моделі до змін умов зйомки (освітлення, висота польоту, ракурс) зазвичай застосовують аугментацію даних: повороти, віддзеркалення, зміну яскравості та масштабу. Далі дані розподіляються на навчальну, валідаційну та тестову вибірки. Навчальна вибірка використовується для налаштування параметрів нейронної мережі, валідаційна – для контролю процесу навчання, а тестова – для остаточного оцінювання якості моделі на даних, які не використовувалися під час навчання.

Після вибору та навчання моделі необхідно реалізувати програмний модуль обробки відеопотоку. Його завдання полягає в послідовному отриманні кадрів, підготовці зображень до обробки та передаванні їх нейронній мережі. Після виконання детекції система отримуватиме координати виявлених об’єктів, їхні класи та значення впевненості моделі.

Для реалізації такого підходу можна використати мову програмування Python, бібліотеку OpenCV для роботи з відео та відповідний програмний інструментарій для запуску обраної моделі глибокого навчання. OpenCV забезпечуватиме зчитування відеокадрів і виведення результатів, а модель нейронної мережі виконуватиме безпосереднє розпізнавання об’єктів. Місце запуску моделі (на борту БПЛА чи на наземній станції) визначатиме вимоги до ресурсів: бортова обробка менше залежить від каналу зв’язку, а наземна дозволяє використовувати складніші моделі.

Результати роботи системи відображатимуться безпосередньо на відео у вигляді обмежувальних рамок, назв класів і, за необхідності, показників впевненості. За додаткової реалізації алгоритму відстеження система зможе зіставляти виявлені об’єкти між послідовними кадрами та підтримувати їхні ідентифікатори під час переміщення в межах відео.

Для перевірки правильності роботи програмної системи необхідно провести тестування на підготовлених відеозаписах і зображеннях. Основними показниками оцінювання будуть точність (Precision), повнота (Recall), середня точність за класами (mean Average Precision, mAP) і швидкодія обробки кадрів (FPS); їхній зміст і наслідки низьких значень наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Показники оцінювання якості системи розпізнавання

Показник	**Що характеризує**	**Наслідки низького значення**
Precision	Частку правильних виявлень серед усіх об’єктів, визначених моделлю	Багато хибних спрацювань, зайві рамки на фоні ґрунту чи рослинності
Recall	Частку наявних об’єктів, яку вдалося виявити	Пропуск об’єктів, наприклад непомічені бур’яни
mAP	Узагальнену якість детекції за всіма класами	Низька загальна якість, потреба в уточненні даних чи моделі
FPS	Кількість кадрів, оброблених за секунду	Неможливість обробки відео в режимі, близькому до реального часу

Точність характеризує частку правильних виявлень серед усіх об’єктів, визначених моделлю, а повнота показує, яку частку наявних об’єктів вдалося виявити. Метрика mAP використовується для комплексного оцінювання якості детекції, а показник FPS визначає кількість кадрів, які система здатна обробити за секунду. Порівняння цих показників дасть змогу визначити переваги й обмеження обраних моделей та обґрунтувати вибір оптимального варіанта для практичного використання.

Крім того, необхідно перевірити роботу графічного інтерфейсу, коректність завантаження відеофайлів, відображення результатів і стабільність обробки відеопотоку. Під час практичного впровадження слід також враховувати вимоги до захисту відеоданих, контролю доступу та безпечного зберігання результатів аналізу.

Ми розглянули основні етапи розробки системи розпізнавання об’єктів у відеопотоці з безпілотних літальних апаратів. Запропонована методика передбачає використання згорткових нейронних мереж, підготовку спеціалізованого набору даних, реалізацію обробки відеопотоку та

візуалізацію результатів розпізнавання. Подальше навчання й тестування моделей дадуть змогу оцінити якість роботи системи та визначити можливості її практичного застосування.

Загалом розроблення такої програмної системи є перспективним напрямом автоматизації моніторингу сільськогосподарських угідь. Її практичне використання може спростити аналіз відеоданих, прискорити виявлення заданих об’єктів і створити основу для подальшого розвитку інтелектуальних систем моніторингу територій.

Список використаних джерел

1. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You only look once: unified, real-time object detection. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2016. P. 779–788. DOI: https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91.

2. Liu W. et al. SSD: single shot multibox detector. Computer Vision – ECCV 2016. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 9905. Cham : Springer, 2016. P. 21–37. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-46448-0_2.

3. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks. Advances in Neural Information Processing Systems. 2015. Vol. 28. P. 91–99.

4. Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F. X. Deep learning in agriculture: a survey. Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 147. P. 70–90. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016.

5. Zhu P., Wen L., Du D., Bian X., Fan H., Hu Q., Ling H. Detection and tracking meet drones challenge. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2022. Vol. 44, No. 11. P. 7380–7399. DOI: https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3119563.

УДК 519.21:004.032.26

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЦІНКИ ТА ПІДТРИМКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ЗЕРНОВИХ СХОВИЩ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

[1]Віктор Передерій, [2]Євген Борчик

[1]Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова

[2]Миколаївський національний аграрний університет

Миколаїв, Україна

Зернові сховища насьогодні дедалі частіше відносять до об'єктів критичної інфраструктури, тому побудова зрілої системи функціональної стійкості - це питання не лише збереження прибутків бізнесу, а й стабільності всього продовольчого сектору держави.

В період воєнного стану кібер та інформаційна безпека зернових хранилищ (елеваторів) перетворилася з суто корпоративного IT-питання на стратегічний елемент національної та глобальної продовольчої безпеки. Оскільки агросектор є критично важливою галуззю економіки України, сучасні зерносховища стали об'єктами підвищеного інтересу для кібератак і технічного шпигунства з боку ворога [1].

Вимоги до кібер та інформаційної безпеки зернових сховищ (елеваторів) регулюються міжнародним стандартом IEC 62443 (безпека промислової автоматизації), в Україні регулюються законодавством про критичну інфраструктуру (аграрний сектор та продовольство), зокрема Постановою КМУ № 518 (в оновленій редакції № 1470). Оскільки сучасні агропідприємства критично залежать від автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСУ ТП/SCADA), систем обліку зерна та логістичних баз даних. В умовах війни ці системи стають пріоритетними цілями для російських хакерів, які намагаються дезорганізувати експорт та знищити інфраструктуру.

Основними загрозами та векторами атак на зернові сховища є:

· програми-вимагачі (Ransomware) - шифрування баз даних обліку або серверів керування елеватором;

· спотворення даних - зміна хакерами даних про якість зерна у системі обліку з метою викрадення продукції чи фінансових махінацій;

· атаки на системи моніторингу (IoT) - фальсифікація даних у програмному забезпеченні;

· DDoS-атаки на логістичні сервіси - блокування доступу до клієнтських кабінетів,

Функціональна стійкість (functional Resilience) - це здатність систем елеватора продовжувати функціонувати або швидко відновлюватися після інцидентів [2, 3.]

Оцінка та підтримка функціональної стійкості зернових сховищ (елеваторів) є критично важливою, оскільки сучасні агропідприємства відносяться до об'єктів критичної інфраструктури (сектор продовольства). Цифровізація елеваторів (АСУ ТП, датчики вологості, автоматизовані системи зважування та обліку зерна) робить їх вразливими до кібератак, які можуть призвести до псування зерна, зупинки логістики або фінансових збитків. [4]

Основними задачами функціональної стійкості (Resilience) є:

· резервування каналів зв'язку - наявність альтернативних і дублюючих каналів інтернет-зв'язку для безперебійного передавання звітів та моніторингу.

· автономність при блекаутах - забезпечення серверних кімнат та диспетчерських пунктів джерелами безперебійного живлення (ДБЖ/UPS) та промисловими генераторами для запобігання втрати даних та збоїв ПЗ при різкому вимкненні світла.

· захист конфіденційних даних - обмеження доступу та шифрування комерційної інформації про обсяги зберігання зерна, логістичні маршрути, укладені контракти та реєстри власників зернових партій.

На сьогодні тема функціональної стійкості елеваторів і в зерносховищах перебуває на стику захисту критичної інфраструктури (ICS/SCADA), інтернету речей (IoT) та продовольчої безпеки. Дослідження за цим напрямом частіше публікуються у міжнародних виданнях, оскільки цифровізація агросектору (Smart Farming) там розпочалася раніше, проте українські вчені також активно вивчають це питання в контексті воєнних загроз та захисту підприємств АПК.

Міжнародні дослідження з кібербезпеки зерносховищ та продовольчих ланцюгів в основному зосереджені на дослідженні вразливостей централізованих систем автоматизованого керування елеваторами, аналізує загрози кібертероризму та пропонують заходи для підвищення стійкості інфраструктури зберігання зерна [5-9].

Українські наукові праці у сфері кіберзахисту АПК в основному фокусується на побудові комплексного кіберзахисту критичної інфраструктури зберігання зерна в умовах воєнного стану [10-12].

Для побудови надійної системи захисту пропонується підхід до оцінювання та підтримки функціональної стійкості зерносховищ (елеваторів) в реальному часі який базується на методах інтелектуальної та інформаційно – когнітивної технології.

У відповідності до нормативних документів та результатів досліджень основними факторами і вразливостями які мають найбільш значний вплив на функціональну стійкість інформаційної інфраструктури зерносховищ є:

1. Фактори інформаційної безпеки: DC - узгодженість даних; AD - доступність даних; DP - конфіденційність даних, DI - цілісність даних.

2. Фактори кібербезпеки: EI - зовнішній вплив; SF- шкідливе програмне забезпечення (Wipers / Ransomware); DS – захищеність даних; ILC – захищеність каналів витоку інформації.

3. Фактори емоційно-когнітивного стану користувачів: (ET) - емоційна напруга, (F) - фізична та емоційна втома, (PR) – продуктивність, (PI) - сприйняття інформації, (RT) - час реакції, (DT) - час прийняття рішень, (C) – концентрація уваги.

До основних типів вразливостей відносяться:

1. Фізичні вразливості $PV = f_1(Pa, Ae, Cd)$: недостатній захист від віддаленої фізичної атаки (Pa); недостатній контроль доступу до обладнання (Ae); несанкціоноване копіювання даних (Cd).

2. Вразливості програмного забезпечення $SV = f_2(Vd, Ve, Aa)$: нразливості валідації введених даних (Vd); нразливості в шифруванні (Ve); нразливості автентифікації та авторизації (Aa).

3. Вразливості технічного захисту інфраструктури $Pt = f_3(Pa, Rc, Cd)$: недостатній захист від віддаленої фізичної атаки (Pa); недостатній контроль віддаленого доступу до обладнання (Rc); несанкціоноване копіювання даних (Cd).

4. Вразливості мережевих засобів $NV = f_4(Np, Ns, Nd)$: використання незахищених мережевих протоколів (Np); недостатня сегментація мережі (Ns); вразливості мережевих пристроїв (Nd.)

Для оцінки та визначення оперативного стану функціональної стійкості інформаційної інфраструктури зерносховища від впливу зазначених факторів розроблена інформаційно-логічна модель представлена на рис. 1.

Особливістю нечітких факторів є неможливість їх безпосереднього виміру і запису в числовому виді. Для цього існують різні тести для оцінки, однак вони вимагають затрат часу і можуть представляти результат з деякою мірою невизначеності. Для рішення вказаних проблемних питань, та кількісної оцінки оперативного стану комплексної безпеки заданого об'єкту критичної інфраструктури ставиться завдання застосування ймовірнісного математичного апарату з використанням Байєсовської мережі довіри (БМД), теорії нечітких множин та інформаційно-когнітивних технологій. На стан комплексної безпеки заданого об'єкту критичної інфраструктури найбільш значний вплив мають фактори інформаційної та кібербезпеки, фактори вразливості та стан людського фактору.

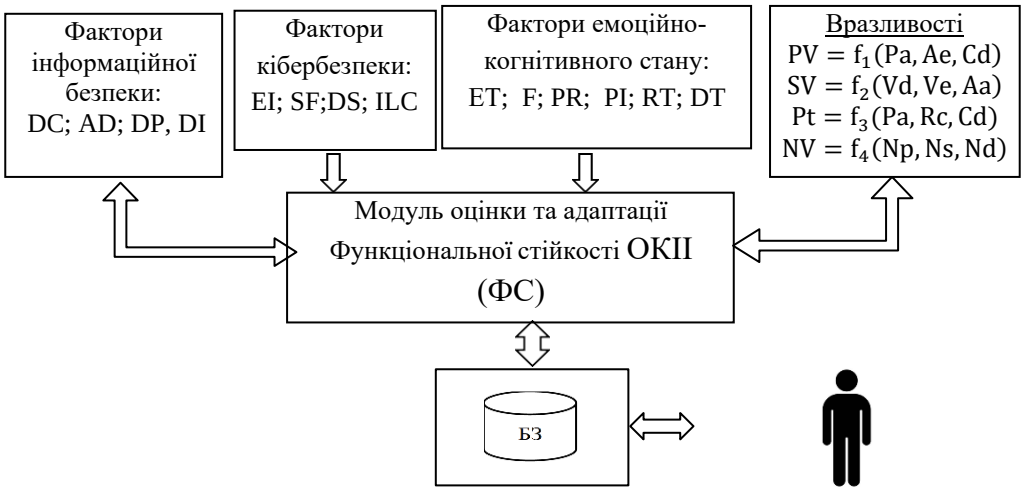


Рис. 1 - Інформаційно-логічна модель оцінки та корекції оперативного стану функціональної стійкості.

На сьогоднішній день однією з найбільш відповідних моделей, призначених для роботи з неповною, неточною і суперечливою інформацією, є БМД, яка заснована на ймовірнісному підході і здатна у максимальному ступені використовувати інформацію, що надходить з виділених джерел для досягнення максимального ефекту.

Баєсові мережі - це графові моделі імовірнісних і прич[illegible]о-наслідкових зв'язків між змінними в статистичному інформаційному моделюванні. У Баєсових мережах, можуть органічно поєднуватися емпіричні частоти, появи різних значень змінних, суб'єктивні оцінки «очікувань» і теоретичні уявлення про математичні ймовірності тих чи інших наслідків з апріорної інформації. Це являється важливою практичною перевагою і відрізняє Баєсові мережі від інших методик інформаційного моделювання.

У відповідності до інформаційно – логічної схеми (рис.1) визначається ступінь впливу зазначених нечітких факторів на заданий об'єкт критичної інфраструктури. Отримані результати представляються у вигляді ймовірностей можливих станів, отриманих методом експертних оцінок.

Для визначення відповідності стану зазначених нечітких факторів комплексної безпеки до категорії критичності ОКІ необхідно створити систему прогнозування значень ймовірностей, в основу якої покладено нечіткий логічний вивод за алгоритмом Мамдані з нечіткою Бази знань, в якій значення вхідних та вихідної змінної задаються експертами нечіткими множинами [13]. Після чого

необхідно побудувати та дослідити БМД оцінки стану функціональної стійкості заданого об’єкту у відповідності до категорії критичності, спрощена структура якої наведена на рисунку 2.

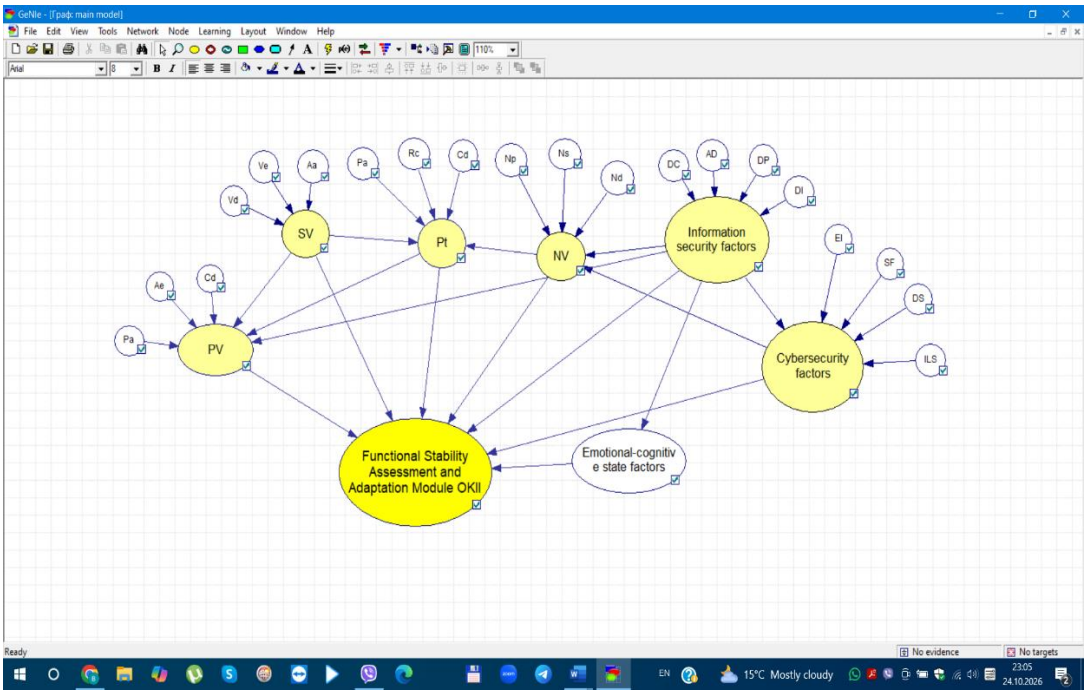


Рис. 2 - БМД оцінки стану функціональної стійкості заданого об’єкту.

Висновки. Для побудови надійної системи захисту запропоновано підхід до оцінювання та підтримки функціональної стійкості зерносховищ (елеваторів) в сучасних умовах який базується на методах інтелектуальної та інформаційно – когнітивної технології.

Визначені основні пріоритетні напрями наукових досліджень у напрямку розробки і впровадженню інформаційних технологій оцінки та підтримки стійкості зерносховищ. Для визначення комплексу показників що впливають на функціональну стійкість та безпеку критичного об’єкту розроблено інформаційно-логічну модель. Побудовано нечітку Байєсовську мережу довіри за допомогою якої на підставі знань експертів, проводиться комплексна оцінка та адаптація ймовірності станів функціональної стійкості зернових сховищ (елеваторів).

Список використаних джерел

1. Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» від 17.08.2022 р № 2163-VIII. Відомості Верховної Ради. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#Text (дата звернення 25.12.2023 р.)

2. Cyber defence. (30 Jul. 2024). NATO.

3.Perederyi V, Borchik E, Zosimov V and Bulgakova O (2026) Functional stability assessment and adaptation for critical infrastructure facilities. Front. Artif. Intell. 9:1777258. doi: 10.3389/frai.2026.1777258

Link: https://www.nato.int/cps/uk/natohq/topics_78170.htm?selectedLocale=en

4. Суходоля О. (2023). Стійкість критичної інфраструктури ЄС: посилення політики та координації. НІСД, 9 с.

Link: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2023-02/az_eu-cip-coordinated_24022023.pdf

5. Jones, R., & Feoktistov, D. (2025). Cybersecurity vulnerabilities in the food supply chain and their impact on food security: A systematic literature review. Global Smart Food Systems, 1(1), 1-27. https://doi.org/10.1108/GSFS-10-2024-0001

6. Jian, Y.; Zhang, Q.; Ge, L.; Jiang, Y. Technical methods of national security supervision: Grain storage security as an example. J. Saf. Sci. Resil. 2023, 41, 61–74. [Google Scholar] [CrossRef] [Scilit]

7. Tushar, S.R.; Alam, M.F.B.; Zaman, S.M.; Garza-Reyes, J.A.; Bari, A.B.M.M.; Karmaker, C.L. Analysis of the factors influencing the stability of stored grains: Implications for agricultural sustainability and food security. Sustain. Oper. Comput. 2023, 4, 40–52. [Google Scholar] [CrossRef] [Scilit]

8. Éverton, L.; Paulo, C.C. Applications of new technologies for monitoring and predicting grains quality stored: Sensors, Internet of Things, and Artificial Intelligence. Measurement 2022, 188, 110609. [Google Scholar] [CrossRef] [Scilit]

9. Said, P.; Pradhan, R. Food grain storage practices: A review. J. Grain Process. Stor. 2014, 11, 1–5. [Google Scholar]

10. Мордовцев, О., Аванесова, Н., & Любушин, Р. (2022). Формування системи інформаційної безпеки у сфері зберігання та розподілу продовольчих та енергетичних ресурсів. Аспекти публічного управління, 10(3), 21–30. https://doi.org/10.15421/152216.

11. Романашенко М. О., Романашенко І. О., Поливана Л. А. Важливість захисту інформації сільськогосподарських підприємств. Вісник студентського наукового товариства. 2021. Вип. 1. С. 13-16.

12. Урсол, О., & Гальчинський, Л. (2022). ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ КІБЕРЗАГРОЗ ПІДПРИЄМСТВА З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ВИТРАТ ДЛЯ ПЕВНОГО РІВНЯ КІБРЕЗБЕЗПЕКИ. Collection of Scientific Papers «SCIENTIA», (June 10, 2022; Sydney, Australia), 57–63. Retrieved from https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/240

13. Perederyi V, Borchik E, Zosimov V and Bulgakova O (2026) Functional stability assessment and adaptation for critical infrastructure facilities. Front. Artif. Intell. 9:1777258. doi: 10.3389/frai.2026.1777258.



Тематичний напрям № 5
Методи оптимізації, прогнозування та підтримки прийняття рішень

УДК 004.45:[62+33+316]

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ЛІКВІДНІСТЮ В СИСТЕМІ БЮДЖЕТУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Дмитро Ткалич, Володимир Безкоровайний
Харківський університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

Задача забезпечення необхідного рівня ліквідності та фінансової стійкості вирішується підсистемою планування та управління фінансовими ресурсами системи бюджетування підприємства [1]. Традиційні підходи фінансового менеджменту переважно ґрунтуються на детермінованій оцінці фінансового стану за системою показників, що характеризують ліквідність і фінансову стійкість підприємства [2–3]. До оцінювання та управління ліквідністю підприємства у наш час використовують два основні підходи: коефіцієнтний аналіз поточної, швидкої, абсолютної ліквідності та забезпеченості власними оборотними коштами [1]; балансування надходжень і видатків, контроль залишку грошових коштів, управління дебіторською та кредиторською заборгованістю, визначення потреби у фінансуванні та забезпечення своєчасного виконання поточних зобов’язань [4]. Обидва підходи використовують данні бухгалтерського або управлінського обліку щодо вартості оборотних активів та поточних зобов’язань. Ліквідність же тісно пов’язана обліковою вартістю активів підприємства (що не обов’язково відповідає їх поточній економічній вартості) та здатності своєчасно трансформуватися у грошові кошти. Тому, застосування цих підходів не завжди дає змогу об’єктивно оцінити реальну ліквідність підприємства. В реальних умовах економічного середовища характеристики грошових потоків зазвичай відрізнятися суттєвою динамічністю. Це обумовлює актуальність застосування методології системного підходу для моделювання процесів управління ліквідністю в системі бюджетування підприємства, що дозволить повніше враховувати взаємозв’язки між грошовими потоками, фінансовими ресурсами та управлінськими рішеннями в умовах неповної визначеності й дозволить підвищувати адаптивність управління ліквідністю підприємства.

Метою дослідження є вдосконалення процесу управління ліквідністю підприємства шляхом розроблення математичної моделі балансування поточних активів з короткостроковими зобов’язаннями за часовими термінами.

Для досягнення мети необхідним було розв’язання таких завдань:

- декомпозиція оборотних активів та поточних зобов'язань на елементи з параметрами їх стану;
- розроблення математичної модель трансформації балансової вартості активів у їх ліквідну вартість;
- розроблення математичної моделі балансування ліквідних активів і поточних зобов'язань підприємства у часовому вимірі.

Однією з найважливіших характеристик поточних активів підприємства є їх здатність до трансформації у грошові кошти. Така трансформація має послідовний характер: наприклад, товарні запаси, що знаходяться на складі, у процесі реалізації перетворюються на дебіторську заборгованість, яка після погашення покупцями трансформується у грошові кошти. Запропоновано провести декомпозицію обігових активів підприємства на окремі складові:

$$CA = \{D, Z, C\}, \quad (1)$$

де D – дебіторська заборгованість (за реалізовані товари, роботи та послуги, за розрахунками);

Z – товарні запаси;

C – грошові кошти та їх еквіваленти (готівкові та безготівкові грошові кошти, валютні цінності, еквіваленти грошових коштів).

Кожна складова поточних активів має оцінюватися з урахуванням не лише її балансової вартості, а й сукупності характеристик, які визначають можливість та строки її трансформації у грошові кошти. У зв'язку з цим дебіторську заборгованість доцільно подавати як множини елементів, кожен з яких характеризується відповідними параметрами:

$$D = \sum_{i=1}^{n} d_i, \quad d_i = \{A_i, T_i, P_i, R_i\}, \quad (2)$$

де d_i – оціночна вартість дебіторської заборгованості i-го дебітора; A_i – балансова вартість дебіторської заборгованості i-го дебітора; T_i – строк погашення дебіторської заборгованості i-го дебітора; P_i – ймовірність повного погашення дебіторської заборгованості i-го дебітора; R_i – характеристика надійності та платоспроможності i-го дебітора.

Товарні запаси також доцільно оцінювати не лише за їх балансовою вартістю, а з урахуванням номенклатури, кількості, фактичного стану та середнього строку реалізації, оскільки зазначені характеристики безпосередньо впливають на можливість і строки їх трансформації у грошові кошти:

$$Z = \sum_{i=1}^{n} z_i, \quad z_i = \{B_i, S_i, Tz_i\}, \quad (3)$$

де z_i – оціночна вартість i-го запасу, B_i – балансова вартість i-го запасу, S_i – стан та категорія i-го запасу, Tz_i – строк реалізації i-го запасу.

Товарні запаси є неоднорідною складовою поточних активів підприємства, оскільки їх балансова вартість не характеризує однозначно можливість та строки трансформації у грошові кошти. Фактична ліквідність окремого запасу залежить від його стану, готовності до реалізації, можливості використання або подальшої переробки, попиту на відповідний товар та часу, необхідного для його реалізації. Тому однакові за балансовою вартістю запаси можуть мати принципово різну ліквідність: одні можуть бути реалізовані практично без затримки, інші потребують додаткової обробки або тривалого часу для реалізації. Окремі запаси (внаслідок браку, пошкодження чи морального старіння) можуть навіть частково або повністю втратити здатність до трансформації у грошові кошти.

З урахуванням цього стан кожного елемента товарних запасів доцільно розглядати як окрему характеристику, що впливає на його ліквідну вартість. У межах запропонованої моделі можна виділити п'ять категорій стану запасів:

$$S_i \in \{S^{new}, S^{def}, S^{prod}, S^{mbp}, S^{obs}\} \quad (4)$$

де S^{new} – новий товарний запас, який перебуває у належному стані та готовий до реалізації; S^{def} – нові запаси, які через виробничий брак, пошкодження або втрату товарного вигляду не можуть бути реалізовані на звичайних умовах; S^{prod} – напівфабрикати та інші запаси, що перебувають у процесі виробництва; S^{mbp} – малоцінні та швидкозношувані предмети, які використовуються у господарській діяльності підприємства; S^{obs} – запаси, які внаслідок морального старіння, зміни технологій, втрати актуальності або зниження попиту частково чи повністю втратили свою економічну цінність.

Грошові кошти та їх еквіваленти є найбільш ліквідною складовою поточних активів. Вони можуть безпосередньо використовуватися для виконання поточних зобов’язань. Водночас навіть наявність коштів у касі або на рахунках підприємства не завжди означає їх повну доступність у необхідний момент. Фактична ліквідність цієї складової залежить від форми зберігання коштів, можливості їх оперативного використання, встановлених обмежень, а також зовнішніх ризиків, пов’язаних із функціонуванням фінансової та банківської системи.

Грошові кошти та їх еквіваленти пропонується подавати як множину елементів:

$$C \in \{c_k\}, \quad (5)$$

де C – оціночна вартість грошових коштів та їх еквівалентів; c_k – оціночна вартість окремої форми грошових коштів та їх еквівалентів.

Кожен елемент цього активу характеризується сумою, формою зберігання та рівнем доступності:

$$c_k = (A_k, F_k, K_k), \quad (6)$$

де A_k – балансова вартість грошових коштів; F_k – коефіцієнт фактичної доступності грошових коштів.

Грошові кошти та їх еквіваленти можуть бути представлені у різних формах:

$$F_k \in \{F^{cash}, F^{noncash}, F^{cur}\}, \quad (7)$$

де F^{cash} – грошові кошти у готівковій формі; $F^{noncash}$ – грошові кошти у безготівковій формі; F^{cur} – грошові кошти у іноземній валюті.

Загальну ліквідну вартість грошових коштів та їх еквівалентів можна визначити за співвідношенням:

$$A_l = \sum_{k=1}^{m} A_k K_k, \quad (8)$$

де A_l – загальна ліквідна вартість грошових коштів та їх еквівалентів; A_k – ліквідна вартість окремої форми грошових коштів, $K_k \in [0,1]$ – коефіцієнт фактичної доступності.

Коефіцієнт K_k може враховувати встановлені обмеження щодо використання коштів, можливість їх оперативного залучення для здійснення платежів та ризик втрати доступу до них. Таким чином, на відміну від традиційного підходу, за якого грошові кошти фактично враховуються за їх номінальною балансовою величиною, запропоноване представлення дає змогу визначити їх ліквідну вартість з урахуванням фактичної доступності.

Поточні зобов'язання є іншою складовою оцінювання ліквідності підприємства та характеризують обсяг його зобов'язань, які мають бути погашені протягом поточного періоду. Традиційно в процесі оцінювання ліквідності вони розглядаються як агрегована величина, що співвідноситься із загальною вартістю поточних активів. Однак однакова за балансовою вартістю сума поточних зобов'язань може створювати різне навантаження на ліквідність підприємства залежно від строків погашення, виду зобов'язання, умов розрахунків та пріоритетності платежів. Тому для поглибленого моделювання ліквідності доцільно представити поточні зобов'язання як суму окремих елементів та їх основних параметрів:

$$B = \sum_{i=1}^{n} b_i, \quad b_i \in \{V_i, T_i, F_i, P_i\}, \quad (9)$$

де B – загальна оціночна вартість поточних зобов'язань; b_i – оціночна вартість i-го зобов'язання; V_i – балансова вартість i-го зобов'язання; T_i – строк погашення вартість i-го зобов'язання; F_i – вид i-го зобов'язання; P_i – пріоритетність погашення i-го зобов'язання.

В залежності від виду поточні зобов'язання можна представити як множину:

$$F \in \{F^{sup}, F^{tax}, F^{s}, F^{c}, F^{other}\}, \quad (10)$$

де F^{sup} – зобов'язання перед постачальниками та підрядниками; F^{tax} – зобов'язання перед бюджетом за податками та іншими обов'язковими платежами; F^{s} – зобов'язання перед співробітниками; F^{c} – поточні кредитні зобов'язання; F^{other} – інші поточні зобов'язання.

Для оцінювання ліквідності важливо враховувати не лише загальну суму зобов'язань, а момент, у який відповідна сума має бути сплачена. Тому для кожного зобов'язання доцільно визначати його часову характеристику. При створенні балансової моделі доцільно також визначати сукупний обсяг зобов'язань, строк погашення яких припадає на певний часовий інтервал. Такий підхід дає змогу

перейти від статичного розгляду загальної суми поточних зобов'язань до визначення їх часової структури та зіставити потребу підприємства в ліквідних коштах із можливістю їх формування у відповідні періоди.

Крім строку погашення, для моделі доцільно враховувати пріоритетність платежу:

$$PR \in \{PR^{high}, PR^{medium}, PR^{low}\}, \quad (11)$$

де $PR^{high}, PR^{medium}, PR^{low}$ – висока, середня та низка пріоритетність виконання зобов'язань.

Такий підхід оцінки зобов'язань за кількома параметрами дає змогу врахувати, що різні зобов'язання можуть мати різний вплив на управлінські рішення щодо розподілу доступних ліквідних активів.

Проведена декомпозиція поточних активів і поточних зобов'язань дає змогу перейти від їх статичного співвідношення до дослідження ліквідності підприємства у часовому вимірі. Такий підхід є обґрунтованим, оскільки сама наявність поточних активів у певному обсязі не гарантує можливості своєчасного виконання поточних зобов'язань [5]. Фактична здатність підприємства здійснювати платежі визначається не лише обсягом активів, а й моментом, у який вони можуть бути трансформовані у грошові кошти, тоді як зобов'язання мають конкретні строки погашення. Отже, навіть за умови формального перевищення поточних активів над поточними зобов'язаннями підприємство може зіткнутися з дефіцитом ліквідності в окремому часовому періоді.

Необхідність врахування часової складової підтверджується сучасними дослідженнями управління оборотним капіталом, у яких особлива увага приділяється тривалості операційного та грошового циклів, управлінню дебіторською заборгованістю, запасами та платежами за зобов'язаннями. В умовах невизначеності проблема ускладняється тим, що строки надходження грошових коштів від дебіторів і реалізації запасів не є детермінованими, а тому фактичний обсяг доступних ліквідних ресурсів у майбутніх періодах може відрізнятися від прогнозованого. Сучасні дослідження також наголошують на необхідності поєднання прогнозування, сценарного аналізу та оптимізаційних моделей для управління оборотним капіталом в умовах невизначеності [6].

Таким чином, виникає задача визначення такого розподілу ліквідних активів у часі, за якого забезпечується максимально можлива відповідність між моментами їх доступності та строками погашення поточних зобов'язань. На відміну від традиційного коефіцієнтного підходу, у якому співвідношення активів і зобов'язань розглядається переважно на певну дату, запропонований підхід передбачає оцінювання достатності ліквідних ресурсів для виконання зобов'язань у кожному досліджуваному часовому періоді. Оптимізаційна задача полягає у визначенні такого розподілу ліквідних активів у часі, за якого сумарний дефіцит грошових коштів протягом планового періоду є мінімальним:

$$H_t = max\,(0, B_t - L_t), \quad (12)$$

де H_t – дефіцит грошових коштів у періоді t; B_t – сума поточних зобов'язань, що підлягають погашенню у періоді t; L_t – обсяг ліквідних активів, доступних для їх погашення у періоді t.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні запропонованої моделі з урахуванням нечіткого характеру параметрів, що визначають можливість і строки трансформації поточних активів у грошові кошти. Подальше дослідження передбачає розроблення багатокритеріальної моделі оптимізації часової збалансованості ліквідних активів і поточних зобов'язань з використанням засобів нечіткої та інтервальної математики [7–8]. Це дозволить не тільки мінімізувати дефіцит ліквідності, а й враховувати вартість залучення додаткових фінансових ресурсів для його покриття та можливі фінансові наслідки несвоєчасного виконання зобов'язань, зокрема штрафи та санкції.

Список використаних джерел

1. Ткалич Д. В., Безкоровайний В. В. Системологічна модель проблеми бюджетування у виробничо-збутових компаніях / Д. В. Ткалич, В. В. Безкоровайний // Біоніка інтелекту. 2026. № 2

(105). С. 113–123. DOI: https://doi.org/10.30837/bi.2026.2(105).11.

2. Гриліцька А. В., Харченко А. Ю. Вплив грошових потоків на ліквідність та платоспроможність підприємства / А. В. Гриліцька, А. Ю. Харченко // Економіка та суспільство. 2025. Вип. 72. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-133.

3. Кисельов І. А. Система показників платоспроможності та ліквідності, їх взаємозв'язок з фінансовою стійкістю / І. А. Кисельов // Економіка та суспільство. 2025. Вип. 75. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-75-41.

4. Стефанів І., Кісіль В. Методи нормалізації грошових потоків суб'єкта господарювання / І. Стефанів, В. Кісіль // Економічний аналіз. 2024. Т. 34, № 4. С. 358–364. DOI: https://doi.org/10.35774/econa2024.04.358.

5. Бондаренко Л. П., Микуш П. І. Стан та проблеми ліквідності торговельних підприємств України під час війни на прикладі ТОВ «Львівпідшипник». Економіка та суспільство. 2024. Вип. 61. С. 508–515. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-133.

6. Salas-Molina F., Rodríguez-Aguilar J. A., Guillen M. A multidimensional review of the cash management problem. Financial Innovation. 2023. Vol. 9. Art. 67. DOI: 10.1186/s40854-023-00473-7.

7. Beskorovainyi V. Combined method of ranking options in project decision support systems. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2020. No 4 (14). P. 13–20. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.013.

8. Bezkorovainyi V., Kolesnyk L., Gopejenko V., Kosenko V. The method of ranking effective project solutions in conditions of incomplete certainty. Advanced Information Systems, 2024. Vol. 8. No 2. P. 27–38. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.2.04.

УДК 519.876.5:577.352.3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У КЛІТИННІЙ РІДИНІ ПІД ДІЄЮ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Андрій Руденко, Віталій Мардзявко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі розроблено узагальнену математичну модель перехідних електромагнітних процесів у клітинній рідині під дією імпульсного електричного поля. Модель поєднує електродинамічну, біофізичну та теплову складові й враховує взаємозв'язок електропровідності клітинного середовища, електропорації мембран та джоулевого нагріву. Для опису динаміки процесу сформовано систему нелінійних диференціальних рівнянь, у якій провідність середовища залежить від ступеня електропорації та температури. Запропоновано представлення моделі у просторі станів та еквівалентну нелінійну RLC-схему клітинної мембрани, що забезпечує можливість її чисельної реалізації в середовищі MATLAB/Simulink. За результатами моделювання досліджено часові зміни струму, ступеня електропорації та температури клітинної речовини. Встановлено пороговий характер розвитку електропорації та нестаціонарність струмового відгуку, а також показано вторинну роль джоулевого нагріву за короткочасної дії імпульсного поля.

Актуальність. Дія імпульсних електромагнітних полів на біологічні об'єкти супроводжується електропорацією клітинних мембран, зміною електропровідності клітинного середовища та джоулевим нагрівом. У роботі пропонується узагальнена самоузгоджена математична модель, що поєднує електродинамічну, біофізичну (електропораційну) та теплову складові в єдину систему рівнянь, придатну до чисельної реалізації в MATLAB/Simulink. Нижче послідовно наведено ключові співвідношення розробленої моделі та обґрунтовано їхній фізичний зміст [1].

Виклад основного матеріалу. Клітинна рідина розглядається як гетерогенний електроліт з питомою електропровідністю σ і діелектричною проникністю ε у характерних для біологічних тканин межах:

$$\sigma \approx 0{,}5 - 1{,}5 См/м$$

$$\varepsilon = 60 - 80$$

Розподіл електричного потенціалу φ у клітинній речовині описується узагальненим хвильовим рівнянням з нелінійною, залежною від частоти ω та напруженості поля E провідністю $\sigma(\omega, E)$:

$$\Delta = (\sigma(\omega, E) \cdot \Delta\varphi) + \varepsilon(\omega) \cdot \partial / \partial t(\Delta^2 \varphi) = 0$$

де Δ – оператор Лапласа, φ – електричний потенціал. Струм у клітинному середовищі визначається узагальненим законом Ома через напруженість поля $E(t)$ та ефективну площу провідності S:

$$I(t) = \sigma(t) \cdot E(t) \cdot S$$

а сама провідність середовища еволюціонує в часі як сума початкового значення σ_0 і приросту, зумовленого електропорацією $\xi(t)$ та температурою T(t):

$$\sigma(t) = \sigma_0 + \Delta\sigma(\xi(t), T(t))$$

У явному вигляді ця залежність є мультиплікативною і враховує коефіцієнт впливу електропорації α та температурний коефіцієнт провідності β відносно початкової температури T_0:

$$\sigma(t) = \sigma_0 (1 + \alpha \cdot \xi(t)) \cdot [1 + \beta(T(t) - T_0)]$$

Ступінь електропорації мембрани $\xi(t) \cdot (0 \le \xi \le 1)$ підпорядковується кінетичному рівнянню порогового типу з коефіцієнтом утворення пор k_1, коефіцієнтом релаксації мембрани k_2, пороговою напруженістю поля $E(t)$ та коефіцієнтом нелінійності n; перший доданок відповідає за утворення пор, другий — за релаксацію мембрани:

$$d\xi / dt = k_1 \left[E(t) / E_{th} \right]^n \cdot (1 - \xi) - k_2 \xi$$

Для короткочасних імпульсів енергетичний процес описується у квазістаціонарному наближенні рівнянь Максвелла через діелектричну проникність середовища ε, що дає змогу побудувати енергетичне рівняння моделі та перейти до безрозмірних змінних [1-2]:

$$\nabla \times H = \sigma E + \varepsilon \cdot \frac{\partial E}{\partial t}$$

Для чисельної реалізації систему нормовано безрозмірними змінними — часом τ, струмом і, температурою θ та ступенем електропорації p:

$$\tau = t / t_0 ; i = I_b / I_0 ; \theta = T_b / T_0 ; p = P$$

що дозволяє записати узагальнену нормовану систему рівнянь відносно струму i, ступеня електропорації p та температури θ з коефіцієнтами a, b, c, d, які характеризують швидкість електропорації, релаксації та теплової динаміки:

$$i'' + r(p, \theta) i' + i = u'(\tau);$$

$$p' = a e^2 (1 - p) - b p;$$

$$\theta' = c\sigma(e, p) e^2 - d(\theta - 1)$$

Модель у просторі станів та еквівалентна RLC-схема мембрани. Для чисельної реалізації модель подано у формі простору станів із вектором стану, що об'єднує струм, його похідну, ступінь електропорації та температуру:

$$x(t) = [I_b; I_b'; P; T_b]^T$$

Динаміка струму I_b відповідає рівнянню коливального контуру з нелінійним, залежним від стану опором R_b, індуктивністю L_b та мембранною ємністю C_m:

$$I_b^{"} = \left(1/L_b \right) \cdot \left(U_b - R_b(P,T_b) I_b - \left(\frac{1}{C_m} \right) I_b \right)$$

Такий вигляд дозволяє інтерпретувати біологічну мембрану як еквівалентний нелінійний RLC-контур, у якому нелінійний опір визначається геометрією ділянки (довжиною l і площею перерізу S_o) та поточним станом провідності:

$$R_b(P,T_b) = \frac{l}{S_o \left[\sigma_0 + \sigma_p P + \sigma_T (T_b - T_0) \right]}$$

Актуалізація ступеня електропорації в цій системі описується рівнянням порогового типу відносно напруженості поля $E = \frac{U_b}{l}$:

$$P' = \alpha E^2 (1 - P) - \beta P;$$

$$E = \frac{U_b}{l}$$

Теплова підсистема та замикаюче рівняння біопровідності. Джоулів нагрів середовища враховано через рівняння теплового балансу з густиною ρ і питомою теплоємністю c середовища:

$$\rho c \cdot \frac{dT}{dt} = \sigma(t) \cdot E^2(t)$$

У повній моделі теплова підсистема пов'язана з електрофізичною частиною через залежну від стану провідність σ_b і додатковий член тепловіддачі з коефіцієнтом γ відносно початкової температури T_0:

$$T_b' = \left(\frac{1}{\rho c} \right) \cdot \left[\sigma_b(P;T_b) E^2 - \gamma (T_b - T_0) \right]$$

Замикає модель рівняння біопровідності, яке пов'язує поточну провідність клітинного середовища $\sigma_b(t)$ з початковою провідністю σ_0 , ступенем електропорації $P(t)$ та відхиленням поточної температури $T_b(t)$ від початкової T_0 через емпіричні коефіцієнти $\alpha; \beta$ [2]:

$$\sigma_b(t) = \sigma_0 + \alpha P(t) + \beta (T_b(t) - T_0)$$

Отримана система рівнянь (1)–(15) утворює замкнену самоузгоджену математичну модель перехідних електромагнітних процесів у клітинній рідині, придатну для чисельної реалізації в середовищі MATLAB/Simulink.

Результати чисельного моделювання. На основі системи (1)–(15) виконано моделювання проходження електромагнітного імпульсу крізь клітинну речовину в MATLAB/Simulink із побудовою графіків трьох параметрів перехідного процесу: струму $I_b(t)$, ступеня електропорації $\frac{\xi(t)}{P(t)}$ і температури $T_b(t)$. Отримана часова залежність струму має виражену нестаціонарну складову, що узгоджується з еквівалентною RLC-моделлю мембрани (формули 10 – 11). Крива ступеня електропорації демонструє різке зростання після досягнення порогової напруженості E_{th} з подальшим платоподібним характером – наслідок швидкого (мікросекундного) пороутворення за формулою (5) на тлі значно повільнішої релаксації мембрани. Теплова динаміка (формули 13–14)

показує підвищення температури, пропорційне $\sigma \cdot E^2$, проте цей ефект має вторинний характер порівняно з електрофізичними процесами [3].

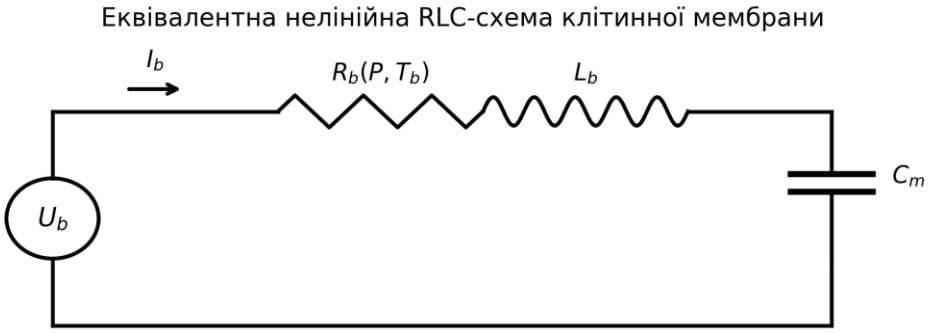


Рис. 1. Еквівалентна нелінійна RLC-схема клітинної мембрани, що відповідає рівнянням (9) - (11): джерело напруги U_b послідовно з нелінійним опором $R_b(P, T_b)$, індуктивністю L_b та мембранною ємністю C_m.

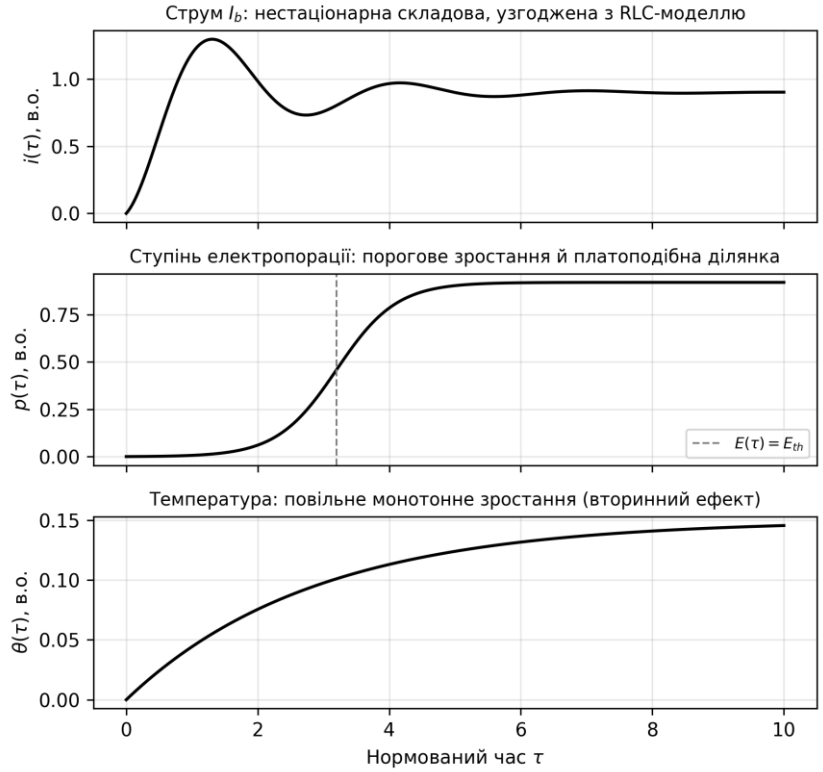


Рис. 2. Якісні часові залежності нормованого струму i(τ), ступеня електропорації p(τ) та температури θ(τ), отримані за результатами моделювання системи (1)–(15) в MATLAB/Simulink.

Висновок. Розроблена математична модель (формули 1–15) забезпечує самоузгоджений опис взаємопов'язаної динаміки електропровідності $\sigma_b(t)$, електропорації мембран $\frac{\xi(t)}{P(t)}$ та температури $T_b(t)$ клітинної речовини під дією імпульсного електричного поля, а зведення моделі до простору станів і еквівалентного нелінійного RLC-контура мембрани робить її придатною для чисельної реалізації в MATLAB/Simulink. Результати моделювання підтвердили пороговий і мікросекундний характер електропорації, нестаціонарність струмового відгуку клітинного середовища та вторинну (порівняно з електрофізичними процесами) роль джоулевого нагріву при короткочасних імпульсах,

що якісно узгоджується з сучасними експериментальними й теоретичними дослідженнями електропорації клітин.

Список використаних джерел

1. Krassowska W., Filev P. D. Modeling Electroporation in a Single Cell. Biophysical Journal. 2007. Vol. 92, no. 2. P. 404–417. URL: https://doi.org/10.1529/biophysj.106.094235.

2. Kotnik T., Pucihar G., Miklavčič D. Induced Transmembrane Voltage and Its Correlation with Electroporation-Mediated Molecular Transport. The Journal of Membrane Biology. 2010. Vol. 236, no. 1. P. 3–13. URL: https://doi.org/10.1007/s00232-010-9279-9.

3. Gimsa J., Wachner D. A Unified Resistor-Capacitor Model for Impedance, Dielectrophoresis, Electrorotation, and Induced Transmembrane Potential. Biophysical Journal. 1998. Vol. 75, no. 2. P. 1107–1116. URL: https://doi.org/10.1016/s0006-3495(98)77600-3 .

УДК 621.315.2:620.193.4

ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ АРРЕНІУСА ДЛЯ ПОЯСНЕННЯ МЕХАНІЗМІВ СТАРІННЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ПРИСКОРЕНИХ ВИПРОБУВАНЬ КАБЕЛІВ

Андрій Руденко, Віталій Мардзявко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Анотація. У роботі розглянуто застосування моделі Арреніуса для прогнозування довговічності кабельної ізоляції та проведення прискорених термічних випробувань. Проаналізовано залежність швидкості термодеструкції полімерних ізоляційних матеріалів від температури та показано можливість екстраполяції результатів короткочасних випробувань на нормальні умови експлуатації. Розглянуто визначення енергії активації процесу старіння за результатами випробувань при декількох підвищених температурах із використанням лінеаризованої залежності Арреніуса. Визначено роль коефіцієнта прискорення та температурного індексу під час оцінювання теплової витривалості ізоляційних матеріалів. Особливу увагу приділено умовам коректного застосування моделі, зокрема необхідності збереження домінуючого механізму старіння в досліджуваному температурному діапазоні. Показано перспективність використання моделі Арреніуса для оцінювання залишкового ресурсу кабелів та оптимізації прискорених випробувань.

Актуальність. Термін служби кабельних виробів визначається переважно швидкістю термодеструкції полімерної ізоляції та оболонки — процесами окиснення, розриву макромолекулярних ланцюгів і втрати пластифікатора, що прискорюються з підвищенням температури експлуатації. Оскільки реальний ресурс кабелів становить десятки років, безпосереднє випробування в номінальних теплових умовах є практично нездійсненним, тому основним інструментом прогнозування довговічності ізоляції слугують прискорені термічні випробування, результати яких екстраполюються на робочу температуру за допомогою моделі Арреніуса.

Виклад основного матеріалу. В основі моделі лежить рівняння Арреніуса, яке описує залежність константи швидкості хімічної реакції деструкції k від абсолютної температури T:

$$k(T) = A \cdot \exp(\frac{-E_a}{(RT)}) \qquad (1)$$

де A – передекспоненційний (частотний) множник, що характеризує ймовірність активних зіткнень молекул; E_a – енергія активації процесу деструкції ізоляції, Дж/моль; R – універсальна газова стала ($R \approx 8{,}314$ Дж/(моль·К)); T – абсолютна температура, К [1].

Оскільки термін служби ізоляції L обернено пропорційний швидкості реакції деструкції, підстановка $k(T)$ з (1) дає базове рівняння довговічності Арреніуса:

$$L(T) = A_1 \cdot \exp(\frac{-E_a}{(RT)}) \qquad (2)$$

Логарифмування виразу (2) лінеаризує залежність терміну служби від оберненої температури, що дає змогу визначити невідомі параметри A_1 та E_a графічно – методом найменших квадратів за результатами випробувань при кількох підвищених температурах:

$$\ln L = \ln A_1 + \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \qquad (3)$$

Графік залежності $\ln L$ від $\frac{1}{T}$ (діаграма Арреніуса) є прямою лінією з кутовим коефіцієнтом $\frac{E_a}{R}$, за яким визначається енергія активації, і з відрізком, що відсікається на осі ординат, який відповідає $\ln A_1$ [2-3].

Практичне застосування моделі при плануванні прискорених випробувань зводиться до обчислення коефіцієнта прискорення AF – відношення терміну служби за робочої (експлуатаційної) температури T_{use} до терміну служби за підвищеної температури випробування T_{test}:

$$AF = \frac{L(T_{use})}{L(T_{test})} = \exp\left[\left(\frac{E_a}{R}\right)\cdot\left(\frac{1}{T_{use}} - \frac{1}{T_{test}}\right)\right] \qquad (4)$$

Знання AF дозволяє за відносно короткою тривалістю прискореного випробування t_{test} при температурі $T_{test} > T_{use}$ прогнозувати очікуваний термін служби ізоляції за нормальних умов експлуатації:

$$L(T_{use}) = AF \cdot t_{test} \qquad (5)$$

У міжнародній практиці (зокрема, у стандарті IEC 60216 щодо теплової витривалості електроізоляційних матеріалів) на основі рівнянь (2) – (3) визначають так званий температурний індекс матеріалу – температуру, за якої розрахунковий термін служби ізоляції досягає нормованого значення (типово 20 000 год), що є кількісним показником термостійкості кабельного виробу для порівняння різних матеріалів.

Особливості застосування до кабельної ізоляції

При проведенні прискорених випробувань кабелів зразки витримують у термостатах або камерах старіння за кількох (як правило, не менше трьох) фіксованих температур, що перевищують номінальну робочу температуру ізоляції, з періодовим контролем визначального параметра — відносного видовження при розриві, електричної міцності або тангенса кута діелектричних втрат — до досягнення критерію відмови (наприклад, зниження видовження до 50 % початкового значення). Отримані пари значень «час до відмови — температура випробування» апроксимуються рівнянням (3), а достовірність лінеаризації в координатах Арреніуса слугує непрямим підтвердженням того, що механізм деструкції в усьому дослідженому діапазоні температур залишається незмінним (єдиний домінуючий хімічний процес)[4].

Слід враховувати обмеження моделі: рівняння Арреніуса коректно екстраполює результати лише за умови, що підвищення температури випробування не змінює домінуючий механізм старіння (наприклад, не спричиняє плавлення кристалічної фази полімеру чи перехід до термоокиснювального механізму, відмінного від того, що діє за робочої температури); для складніших випадків, коли на деструкцію додатково впливають механічні напруження або вологість, модель Арреніуса доповнюють багатофакторною моделлю Ейрінга.

Висновок. Модель Арреніуса (рівняння 1–3) є математичною основою прогнозування довговічності кабельної ізоляції за результатами короткочасних прискорених випробувань при підвищених температурах: лінеаризація залежності $\ln L$ від $\frac{1}{T}$ дозволяє визначити енергію активації процесу термодеструкції E_a та екстраполювати очікуваний термін служби на робочу температуру

експлуатації через коефіцієнт прискорення AF (формули 4–5). Це робить модель ключовим інструментом нормативних методик оцінювання теплової витривалості кабельних матеріалів (зокрема, за IEC 60216), водночас вимагаючи контролю незмінності механізму старіння в усьому діапазоні температур випробування як умови коректності екстраполяції отриманих результатів на реальний термін експлуатації.

Список використаних джерел

1. The Lifetime Prediction and Insulation Failure Mechanism of XLPE for High-Voltage Cable. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2023. Vol. 30, no. 2. P. 761–768. DOI: 10.1109/TDEI.2022.3215605.

2. Conductivity properties of XLPE insulation used for HVDC cable after accelerated thermal ageing. In: 2018 12th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM). Xi'an, 2018. DOI: 10.1109/ICPADM.2018.8401037.

3. Modelling of Insulation Thermal Ageing: Historical Evolution from Fundamental Chemistry Towards Becoming an Electrical Machine Design Tool. Energies. 2025. Vol. 18, no. 23. Art. 6087.

4. Overview of Monitoring, Diagnostics, Aging Analysis, and Maintenance Strategies in High-Voltage AC/DC XLPE Cable Systems. Sensors. 2025. Vol. 25, no. 22. Art. 7096.

УДК 004.9:519.854

ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ ВІДВІДУВАННЯ ЗАКЛАДІВ ВІДПОЧИНКУ З УРАХУВАННЯМ БЮДЖЕТНИХ ТА ЧАСОВИХ ОБМЕЖЕНЬ

Дмитро Мица, Володимир Безкоровайний

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

Планування відпочинкових маршрутів є популярною задачею як для туристів, так і для мешканців сучасних міст. Існуючі картографічні сервіси будують маршрут між уже обраними користувачем закладами, але не обирають самі заклади. Туристичні путівники та агрегатори відгуків пропонують готові добірки закладів, проте не враховують індивідуальний бюджет, доступний час і графіки роботи конкретного дня. Сервіси планування подорожей формують маршрути за шаблонними сценаріями й не дають змоги кількісно задати пріоритетність власних критеріїв вибору.

Метою роботи є підвищення ефективності процесів планування маршрутів відвідування закладів відпочинку в містах за рахунок розроблення методу, який дозволить обирати множину локацій і порядок їх відвідування з максимальною сумарною корисністю за дотримання обмежень бюджету, часових вікон та графіків роботи закладів.

Запропонований метод реалізується в два етапи. На першому етапі вподобання користувача перетворюються на числові оцінки привабливості кожного закладу, на другому – розв’язується комбінаторна задача вибору підмножини закладів і порядку їх обходу.

Для оцінювання привабливості використано метод зваженої суми (SAW) [1]. Користувач задає бали важливості b_j для кожного з критеріїв, за якими обчислюються вагові коефіцієнти:

$$w_j = b_j / \sum_{j=1}^{m} b_j, \quad j = 1, \dots, m_j, \text{ де } m \text{ – кількість критеріїв.}$$

Приклад системи критеріїв і спосіб обчислення часткових оцінок наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Критерії відповідності закладу вподобанням користувача

Критерій	Що порівнюється	Часткова оцінка
s_1 Категорія	Пріоритет категорії закладу	$s_1 = \text{пріоритет} / 5$
s_2 Кухня	Кухня закладу та бажані кухні	1 при збігу, інакше 0
s_3 Ціна	Рівень закладу p і бажаний p^*	$s_3 = 1 - \lvert p - p* \rvert / 3$
s_4 Атмосфера	Теги закладу T і бажані T^*	$s_4 = \lvert T \cap T* \rvert / \lvert T* \rvert$

Критерій	Що порівнюється	Часткова оцінка
s_5 Рейтинг	Рейтинг r і мінімальний r_{min}	$s_5 = (r - r_{min}) / (5 - r_{min})$
s_6 Віддаленість	Відстань від точки старту d, радіус пошуку R	$s_6 = 1 - d / R$

Корисність закладу i для конкретного користувача обчислюється як зважена згортка часткових оцінок, приведених до шкали [0; 1]:

$$U(i) = \sum_{j=1}^{m} w_j \, s_j(i).$$

Другий етап формалізовано як задачу орієнтування з часовими вікнами (Orienteering Problem with Time Windows) [2, 3]. Задано множину закладів-кандидатів $V = \{1, \dots, n\}$, точку старту 0, вартості c_i, тривалості перебування d_i, часові вікна $[a_i; b_i]$, матрицю часу переміщення t_{ij}, бюджет B і часове вікно прогулянки [$T_{\text{п}}$; $\text{T}_{\text{к}}$]. Потрібно знайти послідовність $P = (p_1, \dots, p_k)$, для якої $\Sigma\, U(p_l) \to max$ за обмежень:

$$\Sigma\, c(p_l) \le B\,, \qquad (1)$$

$$\tau(p_l + 1) = max\{\, \tau(p_l) + d(p_l) + t(p_l, p_l + 1)\,;\, a(p_l + 1)\,\}\,, \qquad (2)$$

$$\tau(p_l) + d(p_l) \le b(p_l)\,,\ \ \tau(p_l) \ge T\text{п}\,,\ \ \tau(pk) + d(pk) \le\ T\text{к}\,, \qquad (3)$$

де $\tau(p_l)$ – час прибуття до закладу p_l. Співвідношення (2) означає, що в разі раннього прибуття користувач очікує на відкриття закладу. Задача узагальнює задачу комівояжера і є NP-складною.

Для отримання точного розв'язку застосовано динамічне програмування з бітовими масками (адаптація методу Гелда–Карпа) [4]. Множина відвіданих закладів кодується маскою mask, стан dp[mask][i] визначає найраніший час завершення маршруту, який обходить заклади з mask і закінчується в закладі i. Ключовою властивістю, що дає змогу не включати бюджет до стану, є незалежність сумарної вартості та сумарної корисності множини закладів від порядку обходу: для кожної маски ці величини обчислюються один раз, а маски з вартістю понад B відкидаються без розгляду. Складність алгоритму становить $O(2^{\text{n}}\, n^2)$ за часом і $O(2^{\text{n}}\, n)$ за пам'яттю (табл. 2).

Таблиця 2 – Оцінка обчислювальної складності точного алгоритму

Кількість кандидатів n	Кількість станів $2^{\text{n}}\, n$	Кількість переходів $2^{\text{n}}\, n^2$
10	$1{,}0 \cdot 10^4$	$1{,}0 \cdot 10^5$
15	$4{,}9 \cdot 10^5$	$7{,}4 \cdot 10^6$
20	$2{,}1 \cdot 10^7$	$4{,}2 \cdot 10^8$
25	$8{,}4 \cdot 10^8$	$2{,}1 \cdot 10^{10}$

Як видно з табл. 2, точний алгоритм придатний для $n \le 15–20$, тому множина кандидатів попередньо обмежується закладами з найбільшими значеннями $U(i)$. Для більшої кількості закладів застосовано евристичний алгоритм: початковий маршрут будується методом найближчого сусіда, доповнюється жадібним вставленням за максимальним відношенням $U(i)$ до приросту часу, після чого покращується процедурою 2-opt зі складністю $O(n^2)$ на ітерацію. Подібні підходи показали прийнятну якість для задач планування туристичних маршрутів [5].

Запропонований метод реалізується у веб-застосунку: серверна частина на платформі Node.js, клієнтська частина з картографічною візуалізацією, СУБД PostgreSQL, наповнення бази закладів і розрахунок матриці часу переміщення через зовнішні джерела геоданих (Google Places API, OpenStreetMap).

Наукова новизна полягає в поєднанні моделі кількісного оцінювання індивідуальних вподобань користувача з моделлю задачі орієнтування з часовими вікнами, що дає змогу враховувати суб'єктивні критерії вибору закладів безпосередньо в цільовій функції задачі маршрутизації. Практичне значення полягає в можливості для користувача отримувати готовий план дня з часовим розкладом і його підсумковою вартістю.

Подальші дослідження спрямовано на експериментальне порівняння точного та евристичного алгоритмів за якістю розв'язку й часом виконання на наборах даних різної розмірності, а також на розширення моделі для багатоденного планування.

Список використаних джерел

1. Bezkorovainyi V., Kolesnyk L., Gopejenko V., Kosenko V. The method of ranking effective project solutions in conditions of incomplete certainty. Advanced Information Systems, 2024. Vol. 8. No. 2. P. 27–38.

2. Vansteenwegen P., Souffriau W., Van Oudheusden D. The orienteering problem: A survey. European Journal of Operational Research. 2011. Vol. 209, № 1. P. 1–10.

3. Gunawan A., Lau H. C., Vansteenwegen P. Orienteering Problem: A survey of recent variants, solution approaches and applications. European Journal of Operational Research. 2016. Vol. 255, № 2. P. 315–332.

4. Righini G. Efficient optimization of the Held–Karp lower bound. Open Journal of Mathematical Optimization, 2021. Vol. 2. No. 9. URL: https://ojmo.centre-mersenne.org/item/10.5802/ojmo.11.pdf (дата звернення: 09.10.2026).

5. Gavalas D., Konstantopoulos C., Mastakas K., Pantziou G. A survey on algorithmic approaches for solving tourist trip design problems. Journal of Heuristics. 2014. Vol. 20, № 3. P. 291–328.

УДК 004.89: 338.27

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ВОЛАТИЛЬНОСТІ ФОНДОВИХ РИНКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Кирило Уваров, Володимир Безкоровайний

Харківський університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна,

Волатильність фондового ринку є ключовою характеристикою динаміки цін фінансових активів і основним кількісним вимірником ринкового ризику. Від точності її прогнозування залежить якість оцінювання вартості під ризиком, ціноутворення похідних інструментів та формування інвестиційних портфелів. Попри тривалу історію досліджень, задача залишається відкритою: фінансові часові ряди характеризуються низьким співвідношенням сигнал/шум, кластеризацією волатильності, ефектом важеля, «важкими хвостами» розподілу дохідностей і структурними зсувами, спричиненими кризовими подіями [1–3]. Традиційно задачу розв'язують у межах двох окремих дослідницьких традицій. Моделі сімейства ARCH/GARCH описують умовну дисперсію як параметричну функцію попередніх шоків і власних лагових значень, що добре відтворює персистентність волатильності, але обмежує клас допустимих залежностей [2]. Моделі машинного навчання, навпаки, здатні апроксимувати складні нелінійні відображення, проте не спираються на економетричну структуру процесу й потребують ретельної інженерії ознак [1] (табл. 1).

Таблиця 1 - Порівняння класів моделей прогнозування волатильності

Клас моделей	Сильні сторони	Обмеження
Економетричні (ARCH/GARCH, EGARCH)	Інтерпретовність параметрів; відтворення кластеризації та персистентності; стійкість на коротких вибірках	Жорстко задана параметрична форма; обмежене врахування нелінійних взаємодій ознак і структурних зсувів
Ансамблі дерев (випадковий ліс, XGBoost)	Апроксимація нелінійностей; робота з великим простором різнорідних ознак; оцінювання важливості ознак	Відсутність механізму врахування часової структури; потреба в інженерії лагових ознак; ризик перенавчання
Рекурентні мережі	Явне моделювання	Висока вимогливість до обсягу даних;

(LSTM, GRU)	довгострокових залежностей у послідовності; гнучкість архітектури	низька інтерпретовність; чутливість до гіперпараметрів

Зіставлення показує, що обмеження одного класу моделей значною мірою компенсуються перевагами іншого. Це дає підстави розглядати їх не як альтернативи, а як компоненти єдиної системи.

Метою роботи є обґрунтування системного підходу до побудови моделей прогнозування волатильності, що поєднують економетричні та нейромережеві компоненти.

Системний підхід передбачає розгляд задачі як цілісної системи взаємопов'язаних підсистем: збору та передобробки ринкових даних; формування простору ознак; побудови й навчання базових моделей; ансамблювання прогнозів; оцінювання точності та підтримки прийняття рішень. Принциповим є те, що горизонт прогнозу, набір ознак і критерій якості узгоджуються між собою як елементи єдиного контуру, а не добираються ізольовано: зміна горизонту прогнозування змінює як інформативність окремих ознак, так і придатність конкретної метрики точності. При розробці технології і засобів прогнозування волатильності запропоновано обирати варіанти з використанням методології багатокритеріального оцінювання [4–5].

Цільовою змінною системи доцільно обрати реалізовану волатильність, обчислену за логарифмічними дохідностями на ковзному вікні обсягом n спостережень:

$$RV_t = [\ (1/n) \cdot \Sigma\ r^2_{t-i+1}\ ]^{1/2}, \qquad (1)$$

де r_t – логарифмічна дохідність активу; n – довжина вікна оцінювання.

Економетричною компонентою системи може виступати модель GARCH(1,1) та її асиметрична модифікація EGARCH, що враховує різну реакцію волатильності на позитивні й негативні шоки:

$$\sigma^2_t = \omega + \alpha \cdot \varepsilon^2_{t-1} + \beta \cdot \sigma^2_{t-1}, \qquad (2)$$

де $\omega > 0$; $\alpha \geq 0$; $\beta \geq 0$ – параметри моделі, а умова $\alpha + \beta < 1$ забезпечує стаціонарність процесу.

Простір ознак пропонується формувати за принципом поєднання різнорідних джерел інформації: лагові значення реалізованої волатильності та дохідностей; ковзні середні й ковзні стандартні відхилення на кількох масштабах часу; показники обсягу торгів; індикатори асиметрії та ексцесу розподілу дохідностей; календарні ознаки. Окремим елементом є умовна дисперсія, оцінена GARCH-моделлю: у такій конфігурації економетрична модель виступає не конкурентом алгоритму навчання, а генератором теоретично обґрунтованої ознаки для нього. Прогноз гібридної системи набуває вигляду:

$$RV_{t+h} = f\ (\ x_t,\ \sigma^2_t\ ) + e_{t+h}, \qquad (3)$$

де x_t – вектор ознак; $\sigma^2 t$ – прогноз умовної дисперсії за GARCH; h – горизонт прогнозування; $f(\cdot)$ – нелінійне відображення, що навчається ансамблевим алгоритмом.

Окремої уваги потребує методика перевірки такої системи. Через часову впорядкованість спостережень випадковий поділ вибірки є некоректним: навчання й валідацію слід здійснювати за схемою ковзного вікна з послідовним зсувом уперед, що унеможливлює використання майбутньої інформації. Точність прогнозів доцільно оцінювати за метриками RMSE, MAE та MAPE, а статистичну значущість різниці між моделями – за тестом Дібольда-Маріано [6], оскільки саме по собі зменшення помилки на тестовій вибірці не свідчить про систематичну перевагу однієї моделі над іншою.

Системне поєднання економетричних і нейромережевих компонентів з узгодженим вибором горизонту прогнозу, набору ознак і критерію якості є перспективним напрямом підвищення точності прогнозування волатильності фондових ринків. Подальші дослідження передбачають: удосконалення моделей з метою врахування неповної визначеності вхідних даних [4]; розроблення засобів підтримки прийняття рішень щодо вибору засобів та результатів прогнозування [5]; проведення обчислювальних експериментів на індексах розвинених ринків із виокремленням періодів кризової волатильності та статистичну перевірку значущості отриманих результатів.

Список використаних джерел

1. Східницька Г. В., Марчук З. П., Гончар Г. П. Використання штучного інтелекту для прогнозування волатильності фінансових ринків. Економічна парадигма, 2026. Том. 109. №5. С. 420–431. URL: https://humanitarian.com.ua/index.php/economics/article/view/2181 (дата звернення: 01.10.2026).
2. Буртняк І., Судук Н. Модель визначення волатильності фондового ринку. Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. 2022. Том. 302. №1. С. 316-320. URL: https://heraldes.khmnu.edu.ua/index.php/heraldes/article/view/1254 (дата звернення: 01.10.2026).
3. Poon S.-H., Granger C. W. J. Forecasting volatility in financial markets: a review. Journal of Economic Literature. 2003. Vol. 41, No. 2. P. 478–539. URL: https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/002205103765762743(дата звернення: 01.10.2026).
4. Beskorovainyi V. Combined method of ranking options in project decision support systems. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2020. No 4 (14). P. 13–20. URL: http://journals.uran.ua/itssi/article/view/ITSSI.2020.14.013 (дата звернення 01.10.2026).
5. Bezkorovainyi V., Kolesnyk L., Gopejenko V., Kosenko V. The method of ranking effective project solutions in conditions of incomplete certainty. Advanced Information Systems, 2024. Vol. 8. No 2. P. 27–38. URL: http://ais.khpi.edu.ua/article/view/305462/297067 (дата звернення 01.10.2026).
6. Рагімов В. A Bayesian VAR model for inflation: the case of Azerbaijan. Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice, 2025. No. 4(63). P. 180–191. URL: https://fkd.net.ua/index.php/fkd/article/view/4788/4413 (дата звернення 01.10.2026).

УДК 330.4:519.8

АЛГОРИТМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ

Іван Хилько, Олег Перепьолкін

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю формалізації економічних процесів розвитку територій як багатокритеріальної оптимізаційної задачі, що передбачає визначення оптимального розподілу обмежених ресурсів між конкуруючими напрямками регіонального розвитку з урахуванням економічної ефективності, соціальної значущості та обмежень зовнішньої середовища. При цьому потрібно побудувати математичну модель, яка дозволяє мінімізувати витрати або максимізувати інтегральний ефект розвитку території за умови виконання системи ресурсних та інституційних обмежень, а також розробити алгоритмічний підхід до її розв'язання з використанням методів дослідження операцій.

Мета роботи полягає в теоретичному обґрунтуванні та аналізі можливостей застосування методів дослідження операцій для алгоритмічної оптимізації економічних процесів розвитку територій з метою підвищення ефективності управління ресурсами та прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

У сучасних умовах трансформації регіональної економіки особливе значення набуває підвищення ефективності управління процесами розвитку територій. Зростання складності соціально-економічних систем, обмеженість ресурсів та необхідність швидкого реагування на зовнішні зміни зумовлюють потребу у використанні формалізованих методів прийняття рішень [1]. У цьому контексті методи дослідження операцій виступають потужним інструментарієм, що дозволяє здійснювати алгоритмічну оптимізацію економічних процесів та забезпечувати раціональний розподіл ресурсів на регіональному рівні.

Алгоритмічна оптимізація в межах розвитку територій передбачає побудову математичних моделей, які описують взаємозв'язки між економічними показниками, обмеженнями та цільовими функціями [2]. Такі моделі забезпечують формалізацію завдання планування інвестицій, розвитку інфраструктури, логістичних систем, а також розміщення виробничих об'єктів. В основі підходу

лежить припущення про можливість подання складних соціально-економічних процесів у вигляді оптимізаційних завдань, розв'язання яких здійснюється за допомогою алгоритмів математичного програмування [1].

Застосування методів дослідження операцій у процесах регіонального розвитку сприяє переходу від інтуїтивного управління до науково обґрунтованого прийняття рішень. Зокрема, завдання оптимального розподілу бюджетних коштів можуть бути формалізовані як завдання багатокритеріальної оптимізації, де враховуються показники економічної віддачі, соціального ефекту та рівня ризику [2]. Така комплексна постановка завдання дозволяє враховувати суперечливі цілі, характерні для реальних процесів територіального розвитку, де потрібно одночасно максимізувати економічний ріст і мінімізувати соціальне напруження. Використання алгоритмічних процедур у таких випадках забезпечує знаходження збалансованих рішень в межах заданих обмежень.

Важливим аспектом є також застосування мережевих моделей для аналізу транспортної та логістичної інфраструктури територій. Методи теорії графів дозволяють моделювати економічні зв'язки між регіонами, визначати оптимальні маршрути постачання ресурсів та мінімізувати витрати на транспортування. У свою чергу, методи мережевої оптимізації дозволяють розробляти координовані стратегії розвитку для кількох регіонів одночасно, максимізуючи синергетичні ефекти від спільного використання інфраструктури та ресурсів. Це створює ефективний інструментарій для підвищення ефективності регіональних економічних систем [3].

Особливу роль відіграє використання методів динамічного програмування, які дозволяють враховувати багатоступеневий характер процесів розвитку територій. У цьому випадку кожен етап прийняття рішень впливає на подальші стани системи, що потребує побудови рекурентних залежностей для визначення оптимальної траєкторії розвитку. Такий підхід є ефективним для довгострокового планування інвестиційних проєктів.

Алгоритмічна оптимізація також пов'язана із застосуванням стохастичних методів, оскільки економічні процеси розвитку територій характеризуються невизначеністю. Використання імітаційного моделювання та стохастичного програмування дозволяє враховувати ризики та оцінювати різні сценарії розвитку, що підвищує стійкість управлінських рішень [2]. При цьому застосування методів імітаційного моделювання та аналізу сценаріїв дозволяє розробляти гнучкі стратегії розвитку, які можуть бути адаптовані до непередбачених змін в економічному та соціальному середовищі.

Серед ключових методів дослідження операцій, що застосовуються в регіональному управлінні, особливе місце посідає лінійне та цілочисельне програмування. Ці методи дозволяють вирішувати завдання оптимального розподілу бюджетних ресурсів між галузями регіональної економіки з урахуванням законодавчих, фінансових та організаційних обмежень. Зокрема, завдання розподілу інвестицій між інфраструктурними проєктами може бути формалізоване як завдання цілочисельного програмування, де цільова функція відображає максимізацію сукупного економічного ефекту під час виконання умов щодо бюджетних лімітів та пріоритетності напрямків розвитку [3]. Проте традиційні методи програмування потребують розширення за рахунок сучасних інформаційних технологій.

Сучасні інформаційні технології значно розширюють можливості реалізації методів дослідження операцій. Використання великих даних та алгоритмів машинного навчання дозволяє підвищити точність моделей та адаптивність оптимізаційних рішень до змін зовнішньої середовища. Не менш важливим є застосування економетричних методів і моделей як складової алгоритмічної оптимізації економічних процесів – регресійні моделі та аналіз часових рядів забезпечують обґрунтований розподіл ресурсів у системі регіонального управління в умовах цифрової трансформації [4].

У практичному аспекті алгоритмічна оптимізація сприяє підвищенню ефективності управління територіальним розвитком шляхом раціонального використання ресурсів, оптимізації інвестиційних потоків та удосконалення системи стратегічного планування [3]. Це забезпечує формування більш ефективної моделі регіонального управління.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що алгоритмічна оптимізація економічних процесів розвитку територій є ефективним інструментом підвищення якості управлінських рішень в умовах обмежених ресурсів та високої складності соціально-економічних систем. Використання

методів дослідження операцій дозволяє формалізувати процеси регіонального розвитку у вигляді математичних моделей, що забезпечує можливість їх подальшого аналітичного та чисельного дослідження [5].

Таким чином, застосування методів дослідження операцій для алгоритмічної оптимізації економічних процесів розвитку територій є важливим напрямком сучасної економічної науки, що забезпечує підвищення ефективності управлінських рішень та стале розвиток регіональних систем. Перспективним напрямком подальших досліджень є розширення застосування методів дослідження операцій у поєднанні з цифровими технологіями та економетричним моделюванням, що дозволить підвищити адаптивність оптимізаційних рішень до динамічних змін зовнішньої середовища та забезпечити сталий розвиток регіональних економічних систем.

Список використаних джерел

1. Petropoulos F. et al. Operational Research: methods and applications. Journal of the Operational Research Society. 2024. Vol. 75, No. 3. P. 423–617. DOI: https://doi.org/10.1080/01605682.2023.2253852

2. Clautiaux F., Ljubić I. Last fifty years of integer linear programming: A focus on recent practical advances. European Journal of Operational Research. 2025. Vol. 324, No. 3. P. 707–731. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.11.018

3. Kochenderfer M. J., Wheeler T. A., Wray K. H. Algorithms for Decision Making. Cambridge : MIT Press, 2022. 688 p. URL: https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi68/0050248.pdf (дата звернення: 04.10.2026).

4. Бегун С. І., Хомюк Н. Л., Подзізей О. О. Економетричні методи та моделі в прийнятті управлінських рішень в умовах цифрової трансформації. Економіка та суспільство. 2024. № 66. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-16

5. Хилько І.І., Перепьолкін О. О. Інтеграція методів дослідження операцій та штучного інтелекту для ефективності прийняття рішень. Моделювання соціально-економічного розвитку в системі забезпечення продовольчої безпеки : матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції (м. Миколаїв, 07-08 травня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 306-309. URL : https://www.mnau.edu.ua/files/nauk_prof_konf/zb-07-08-05-2026.pdf#page=286

УДК 339.564:330.43

АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ЕКСПОРТУ ТОВАРІВ УКРАЇНИ МЕТОДАМИ ЕКОНОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Вікторія Хльобас, Іван Хилько

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Зовнішньоекономічна діяльність та експорт товарів є ключовими факторами забезпечення макроекономічної стабільності України. В умовах сучасних викликів дослідження тенденцій експортних потоків набуває особливого значення. Вітчизняні науковці зосереджують увагу на забезпеченні стійкості економіки, а також на застосуванні економетричних методів для аналізу зовнішньоторговельних процесів та їх взаємозв'язку з макропоказниками [1, 2, 3].

Разом з тим, постійна трансформація економічного середовища вимагає регулярного оновлення прогностичних моделей. З огляду на це, метою роботи є побудова трендових економетричних моделей динаміки експорту за 2005–2024 роки, оцінка їх якості, перевірка точності за даними 2025 року та розрахунок прогнозів на 2026–2027 роки.

Інформаційною базою дослідження є офіційні статистичні дані щодо обсягів експорту товарів України за період 2005–2025 років [4]. Для виявлення основної тенденції динаміки використано метод найменших квадратів (МНК), за допомогою якого побудовано лінійну модель тренда:

$$\bar{y}_t = a_0 + a_1 t \qquad (1)$$

поліноміальну модель другого порядку відповідно:

$$\bar{y}_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 \quad (2)$$

де $\bar{y}_t$ – теоретичне значення показника експорту; t – порядковий номер року (t = 1, 2, ..., n); a_0, a_1, a_2 – параметри рівнянь тренда, що визначаються шляхом розв'язання систем нормальних рівнянь.

Оцінку якості та адекватності побудованих економетричних моделей здійснено за допомогою коефіцієнта детермінації (R^2), середньої квадратичної помилки (MSE), середньої абсолютної похибки (MAD) та відносної похибки прогнозу (MAPE).

За результатами розрахунків МНК на основі сформованої бази даних було одержано параметри зазначених моделей. Порівняльний аналіз показав, що поліноміальна модель другого порядку (2) забезпечує найкращу апроксимацію вихідного часового ряду:

$$\bar{y}_t = 108794 + 62166t + 2302{,}4t^2 \quad (3)$$

Побудована параболічна модель характеризується високим коефіцієнтом детермінації (R^2 = 0,9477), що свідчить про те, що 94,77% варіації обсягів експорту пояснюється обраною тенденцією. Для порівняння, лінійний тренд показав дещо нижчий рівень відповідності (R^2 = 0,9376). Перевірка прогностичної здатності моделі на контрольних даних 2024 року (t = 20) підтвердила її високу точність та адекватність: при фактичному обсязі експорту 2252428 млн грн розраховане теоретичне значення склало 2273074 млн грн, а відносна похибка прогнозу становила лише -0,92% (проти 6,24% у лінійної моделі). Це дозволяє використовувати модель як основний інструмент для перспективного прогнозування.

Виконаємо ретроспективну перевірку прогнозних показників за 2025 рік (t = 21) на основі фактичних статистичних даних [4]. Підставивши значення порядкового номера року у побудовану поліноміальну модель, сформовано розрахунковий обсяг експорту:

$$\bar{y}_{2025} = 108794 + 62166 \cdot 21 + 2302{,}4 \cdot 21^2 == 2429638 \text{ млн }] \quad (4)$$

Зіставлення цього теоретичного показника з фактичними макроекономічними даними за 2025 рік (2262587 млн грн) [4] показало відносну похибку прогнозу на рівні 7,38%. Отриманий результат підтверджує достатню надійність та адекватність параболічного тренда в умовах значної волатильності економічних процесів, що доводить доцільність його використання для подальшого перспективного прогнозування (рис. 1).

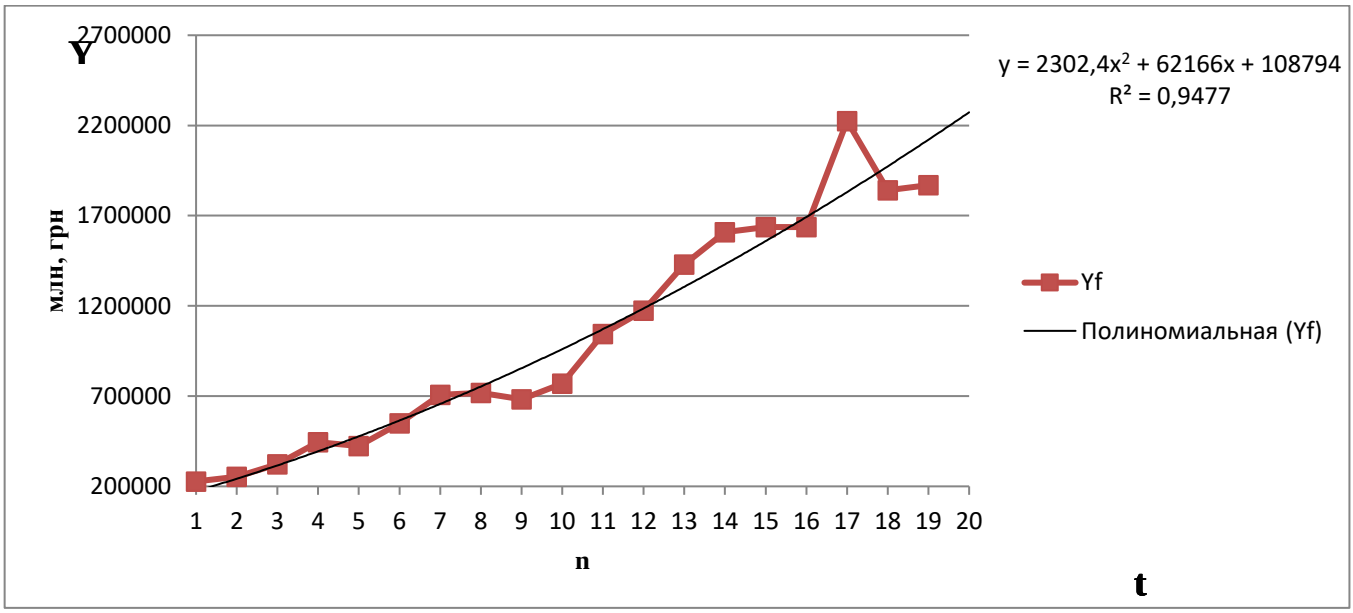


Рис. 1. Динаміка та моделювання обсягів експорту товарів України за допомогою полінома 2-го порядку (2005–2024 рр.)

Джерело: побудовано автором на основі інформаційного джерела [4].

З огляду на підтверджену точність побудованої моделі, за допомогою рівняння виконано перспективне прогнозування обсягів експорту товарів України на 2026 (t = 22) та 2027 (t = 23) роки.

Підстановка відповідних значень порядкових номерів років у поліноміальну модель дала такі прогнозні результати для 2026 року:

$$\bar{y}_{2026} = 108794 + 62166 \cdot 22 + 2302{,}4 \cdot 22^2 == 2590808 \text{ млн}$$

та для 2027 року відповідно:

$$\bar{y}_{2027} = 108794 + 62166 \cdot 23 + 2302{,}4 \cdot 23^2 == 2756582 \text{ млн}$$

Проведене дослідження підтверджує доцільність застосування параболічного тренда для аналізу зовнішньоторговельних процесів України в умовах нестабільного макроекономічного середовища. Отримані прогнозні оцінки дають змогу сформувати об'єктивне уявлення про майбутню траєкторію експортних потоків, а сформований економетричний інструментарій слугує надійною аналітичною основою для розробки стратегій стимулювання зовнішньої торгівлі та прийняття зважених державних управлінських рішень.

Список використаних джерел

1. Бикова А. Л., Галєєв О. С. Теоретичні аспекти макроекономічного прогнозування: вітчизняний досвід. Економіка та суспільство. 2024. Вип. 62. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-62-58.

2. Економетричне моделювання впливу експортно-імпортних операцій на рівень ВВП України / А. О. Азарова, Л. Х. Нікіфорова, О. Х. Рузакова, В. Х. Химич. Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. 2024. № 6. С. 363–369. URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/43987 (дата звернення: 07.10.2026).

3. Рагуліна А. О., Хилько І. І. Економетричні моделі в аналізі регіональних програм підтримки сталого розвитку сільського господарства. Браславські читання. Економіка XXI століття: національний та глобальний виміри : збірник матеріалів II Міжнародної наукової-практичної конференції, 06 листопада 2024 року. Одеса : ОДАУ. 2024. С. 52-54. URL : https://osau.edu.ua/wp-content/uploads/2024/11/Braslavski-chytannya-Zbirnyk-2024.pdf (дата звернення: 07.10.2026).

4. Зовнішньоторговельний баланс України. Мінфін : вебсайт. URL: https://index.minfin.com.ua/ua/economy/gdp/eximp/ (дата звернення: 07.10.2026).

УДК 332.3:338.5:330.43

АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ РИНКОВИХ ЦІН НА ОРЕНДУ ЗЕМЛІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Юлія Кислякова

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: О. Ю. Пархоменко,
кандидат фізико-математичних наук, доцент
Миколаївський національний аграрний університет

Анотація. Розглянуто теоретичні та методичні підходи до аналізу й прогнозування орендної плати за землі сільськогосподарського призначення в Україні в умовах структурних змін ринку. Спираючись на теорії диференціальної ренти та капіталізації ренти, обґрунтовано склад пояснювальних чинників орендної плати. На основі сучасних публікацій доведено доцільність комбінування класичних моделей часових рядів (SARIMA) з рекурентними нейронними мережами (LSTM). Запропоновано схему оцінювання точності на відкладеній вибірці та наведено програмну реалізацію мовою Python.

Оренда залишається основною формою землекористування в аграрному секторі України, тому динаміка орендної плати безпосередньо впливає на собівартість продукції, інвестиційні рішення

аграрних підприємств і доходи власників паїв. Запровадження ринку купівлі-продажу, а згодом і допуск юридичних осіб до придбання земель змінили співвідношення між ціною землі та рентним доходом. Воєнні ризики додали невизначеності. У цих умовах потрібні моделі, які враховують нестаціонарність і структурні злами в даних, а не лише екстраполюють минулі тенденції.

Економічна природа орендної плати пояснюється теорією диференціальної ренти Д. Рікардо: земля є обмеженим фактором виробництва, тому власник отримує залишковий дохід, який дорівнює різниці між вартістю виробленої продукції та сукупними витратами на неї. Спрощено це можна записати як

$$R = P \cdot Y - C,$$

де R – рента з одиниці площі, P – ціна продукції, Y – урожайність, C – витрати без урахування плати за землю.

Звідси випливає, що орендна плата є похідною від трьох груп чинників. Перша група – кон'юнктура товарних ринків, друга – родючість і місцезнаходження ділянки, третя – інституційні умови, зокрема захист прав орендодавців, роздробленість землекористування та рівень конкуренції між орендарями. Остання група пояснює, чому за однакової прибутковості орендна плата в країнах із різною якістю інституцій помітно відрізняється.

Зв'язок між орендою та ціною землі описує теорія капіталізації ренти. Вартість ділянки розглядають як приведену вартість майбутніх рентних платежів:

$$V = R/(r - g),$$

де r – ставка дисконтування, g – очікуваний темп зростання ренти.

Звідси відношення орендної плати до ціни землі наближається до різниці $r - g$. Зростання цін на землю без пропорційного зростання орендних ставок свідчить або про зниження ставки дисконтування, або про підвищення очікувань щодо майбутньої ренти. Така динаміка властива ринкам, що відкриваються для нових категорій покупців. Це обґрунтовує спільний аналіз цін купівлі-продажу та оренди й використання орендної дохідності як індикатора.

З погляду статистики місячні або квартальні ціни оренди є часовим рядом, який зазвичай містить тренд, сезонність і випадкову складову. Умовою застосування класичних моделей є стаціонарність, тобто сталість середнього та дисперсії в часі. Її перевіряють розширеним тестом Дікі-Фуллера, а нестаціонарні ряди зводять до стаціонарних логарифмуванням і диференціюванням. Модель SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)s описує ряд співвідношенням $\Phi(B^s)\varphi(B)(1 - B)^d(1 - B^s)^D\, y_t = \Theta(B^s)\theta(B)\varepsilon_t$, де B – оператор запізнення, φ і θ – авторегресійний та ковзного середнього поліноми несезонної частини, Φ і Θ – їхні сезонні аналоги, ε_t – білий шум. Перевагами моделі є прозорість параметрів і можливість побудови довірчих інтервалів. До обмежень належать лінійність і чутливість до структурних змін.

Сучасні дослідження прогнозування цін у сільському господарстві демонструють поступовий зсув від традиційних економетричних моделей до методів машинного та глибинного навчання, причому жоден клас моделей не має універсальної переваги [1]. Для земельного ринку України цей висновок підтверджується емпірично. У роботі [2] для передбачення вартості земельних ділянок застосовано алгоритми градієнтного бустингу та ансамблі дерев, а коефіцієнт детермінації сягнув 0,897. Набір даних без інформації про оренду давав помітно гірші результати, а орендна ставка та орендна дохідність належали до найвпливовіших ознак. Це емпірично узгоджується з теорією капіталізації ренти: орендні показники є не лише об'єктом прогнозування, а й змістовним індикатором ринкової вартості землі.

Щодо часових рядів, у дослідженні [3] порівняно три архітектури LSTM-мереж для прогнозування цін на землю за період з липня 2021 до серпня 2024 року. Найкращу точність показала глибока модель (RMSE 2375,90), а прогноз на 2025 рік передбачав зниження ціни в доларовому еквіваленті з 805–810 до 724–725 USD/ha. Цей результат потребує обережного тлумачення. Ряд є відносно коротким, стосується цін купівлі-продажу, а не оренди, а вибір валюти вимірювання істотно змінює напрям динаміки. Тому перенесення методики на орендну плату слід розглядати як робочу гіпотезу, що вимагає самостійної перевірки.

Додатковим аргументом на користь комбінованого підходу є результати дослідження [4]. На ринку кукурудзи багатовимірні моделі виявилися точнішими за одновимірні, а кризові події 2020 та 2022 років погіршували якість прогнозів усіх нейромережевих моделей. Для орендних цін це означає, що екзогенні змінні (ціни на сільськогосподарські культури, обмінний курс, інфляцію, нормативну грошову оцінку) варто поєднувати з явним тестуванням стійкості моделей до структурних змін.

Відповідно, запропоновано таку схему. Спочатку ряд логарифмують і перевіряють на стаціонарність тестом Дікі-Фуллера. Далі будують базову модель SARIMA як еталон і порівнюють її з рекурентною нейронною мережею. Якість оцінюють за RMSE та MAPE на відкладеній вибірці, а для надійності висновків доцільно застосовувати ковзний горизонт перевірки (rolling-origin). Програмну реалізацію наведено нижче.

```
import numpy as np, pandas as pd
from statsmodels.tsa.stattools import adfuller
from statsmodels.tsa.statespace.sarimax import SARIMAX
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
from tensorflow.keras import Sequential, layers
# Файл: date (початок місяця), rent_uah_ha (середня орендна плата, грн/га)
y = (pd.read_csv("lease_prices.csv", parse_dates=["date"], index_col="date")
["rent_uah_ha"].asfreq("MS").interpolate())
print("ADF p-value (diff log):", adfuller(np.log(y).diff().dropna())[1])
rmse = lambda a, b: float(np.sqrt(np.mean((np.asarray(a) - np.asarray(b))**2)))
mape = lambda a, b: float(np.mean(np.abs((np.asarray(a) - np.asarray(b)) / np.asarray(a))) * 100)
h, L = 6, 12 # горизонт прогнозу, довжина вікна
train, test = y[:-h], y[-h:]
# 1) SARIMA (еталонна модель)
sarima = SARIMAX(np.log(train), order=(1, 1, 1),
seasonal_order=(1, 0, 0, 12)).fit(disp=False)
f_sarima = np.exp(sarima.forecast(h))
# 2) LSTM
sc = MinMaxScaler()
s = sc.fit_transform(np.log(train).values.reshape(-1, 1))
X = np.array([s[i:i + L] for i in range(len(s) - L)]); t = s[L:]
model = Sequential([layers.Input((L, 1)), layers.LSTM(32),
layers.Dropout(0.2), layers.Dense(1)])
model.compile("adam", "mse")
model.fit(X, t, epochs=200, batch_size=8, verbose=0)
win, out = s[-L:].copy(), []
for _ in range(h): # рекурсивний прогноз
p = model.predict(win[None], verbose=0)[0, 0]
out.append(p); win = np.vstack([win[1:], [[p]]])
f_lstm = np.exp(sc.inverse_transform(np.array(out).reshape(-1, 1)).ravel())
for name, f in [("SARIMA", f_sarima), ("LSTM", f_lstm)]:
print(f"{name}: RMSE={rmse(test, f):.1f}, MAPE={mape(test, f):.2f}%")
```

Прогнозування орендної плати на землі сільськогосподарського призначення доцільно будувати як порівняння кількох класів моделей на спільній валідаційній схемі, а не як пошук єдиної «найкращої» моделі. Теорія ренти та капіталізації обґрунтовує вибір пояснювальних змінних, а теорія часових рядів визначає вимоги до підготовки даних і вибору моделі. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення вибірки за рахунок регіональних даних, включення рентної дохідності як екзогенної змінної та оцінювання стійкості прогнозів до структурних змін ринку.

Список використаних джерел

1. Sun F., Meng X., Zhang Y., Wang Y., Jiang H., Liu P. Agricultural product price forecasting methods: A review. Agriculture. 2023. Vol. 13, No. 9. Art. 1671. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture13091671.
2. Бутенко М. Є., Павленко В. І. Архітектура програмного забезпечення для збору й аналізу даних про вартість землі сільськогосподарського призначення з використанням машинного навчання. Інфокомунікаційні та комп'ютерні технології. 2023. № 2 (6). С. 30–37. DOI: https://doi.org/10.36994/2788-5518-2023-02-06-03.
3. Юрченко І., Ходаківська О., Мартинюк М. Прогнозування цін на сільськогосподарські землі в Україні за допомогою глибоких нейронних мереж LSTM. Agricultural and Resource Economics. 2025. Т. 11, № 1. С. 183–[кінцева сторінка]. DOI: https://doi.org/10.51599/are.2025.11.01.07.
4. Vancsura L., Csonka A. Corn price forecasts in the shadow of the Russian–Ukrainian conflict. Agricultural Economics (Zemědělská ekonomika). 2026. Vol. 72, No. 7. P. 461–472. DOI: https://doi.org/10.17221/102/2025-AGRICECON.

УДК 330.43:519.816

МУЛЬТИПЛІКАТИВНИЙ СИНТЕЗ НЕЧІТКИХ ОЦІНОК ЗА СХЕМОЮ БЕЛЛМАНА-ЗАДЕ У ЗАДАЧАХ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Ірина Дебела

Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон, Україна

Актуальність. Сучасні динамічні системи функціонують в умовах високої макроекономічної турбулентності, структурних трансформацій та підвищеної інформаційної неоднорідності. За таких умов класичні детерміновані та стохастичні економіко-математичні моделі часто втрачають прогнозне значення через високу чутливість до нелінійних екзогенних шоків та нездатність адекватно формалізувати якісні характеристики середовища.

Необхідність модернізації прогнозного інструментарію вимагає переходу від пасивного моніторингу та реактивних управлінських дій до концепції проактивної адаптації. Це обумовлює актуальність розробки гібридних моделей, які поєднують інтелектуальний аналіз гетерогенних часових рядів із математичним апаратом нечіткої логіки для формалізації нелінійних закономірностей у динаміці складних систем.

Постановка проблеми. Традиційні підходи до оцінювання комплексних системних показників базуються переважно на адитивних схемах згортки індикаторів. Проте адитивні функції агрегування володіють суттєвим методологічним недоліком - ефектом взаємної компенсації ризиків. За такої схеми суттєве погіршення одного з критичних параметрів системи маскується високими значеннями інших показників, що призводить до заниження загрози та викривлення прогнозних траєкторій.

У контексті прогнозування проблема ускладнюється нелінійною взаємодією чинників та багатокритеріальністю вибору сценаріїв розвитку. Оскільки прийняття рішень відбувається в умовах неповноти даних, процеси прогнозування неминуче протікають у нечіткому середовищі. Отже, виникає науково-практична проблема розробки такого інструментарію агрегування об'єктивних індикаторів, який би блокував компенсаційний ефект і забезпечував високу чутливість до латентних дестабілізуючих чинників у зоні невизначеності.

Метою дослідження є розробка та математична формалізація гібридного алгоритму мультиплікативного синтезу нечітких оцінок на основі принципу Беллмана-Заде для оцінювання ступеня можливості реалізації фазових станів системи й ідентифікації її переходу в «сірі зони» невизначеності.

Методи. Теоретико-методологічною основою дослідження є системне поєднання методів інтелектуального аналізу даних, теорії нечітких множин Л. Заде та концепції прийняття рішень у нечіткому середовищі Р. Беллмана та Л. Заде [1,2]. Удосконалений підхід базується на методологічних засадах гібридного прогнозування, викладених у працях [3,4].

Побудова математичної моделі передбачає реалізацію таких послідовних етапів:

1. Крос-верифікація та нормалізація даних. Для забезпечення стійкості моделі застосовується перехресна верифікація часових рядів із незалежних джерел (міжнародна база FRED, статистичні масиви Держстату України та оперативний моніторинг Trading Economics). З метою приведення різномасштабних входів до безрозмірного простору [0, 1] застосовується метод Min-Max Scaling:

$$\widetilde{x_i} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, i = 1 \div 120 \quad (1)$$

Де: x_i – фактичне значення вхідного індикатора у *i*-му періоді;

x_{max}, x_{min} - мінімальне та максимальне значення показника у вибірці;

$\widetilde{x_i}$ - нормоване значення у діапазоні [0, 1].

2. Фазифікація та параметризація лінгвістичних змінних. Перехід від нормованих числових значень $\widetilde{x_i}$ до нечітких множин здійснюється через систему трикутних функцій належності $\mu(x)$ для лінгвістичних термів «Низький» (L), «Помірний» (M), «Високий» (H):

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \le a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \le b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & x \ge c \end{cases}, \quad (2)$$

де опорні точки (a, b, c) визначають межі підтримки та ядро нечіткого терму.

Таблиця 1 Параметризація функцій належності лінгвістичних термів

Лінгвістичний терм	*Позначення*	*Опорні точки (a,b,c)*	*Інтерпретація фазового стану системи*
Низький	*L*	(0; 0; 0,30)	*Зона відносної стабільності та низького ризику*
Помірний	*M*	(0,15; 0,40; 0,65)	*Очікувана амплітуда системних коливань*
Високий	*H*	(0,50; 1,00; 1,00)	*Прояв екзогенних або ендогенних шоків*

Перетин функцій належності суміжних термів у діапазоні нормованих значень [0,40; 0,65] формує інтервал невизначеності - «сіру зону». Входження інтегрального показника в цю зону сигнал про зміну якісного стану системи та необхідність впровадження превентивних заходів.

3. Нечіткий мультиплікативний синтез за схемою Беллмана-Заде. Відповідно до принципу нечіткого перетину критеріїв за схемою Беллмана-Заде, інтегральний показник ступеня можливості реалізації сценарію $D \in [0,1]$ [обчислюється як адаптивна мультиплікативна згортка:

$$D = \prod_{i=1}^{n} (\mu_i(x))^{\omega_i} \quad (3)$$

де $\mu_i(x)$ - значення функції належності *i*-го індикатора;

ω_i - адаптивний ваговий коефіцієнт *i*-го джерела, що задовольняє умову нормування $\sum_{i=1}^{n} \omega_i = 1$ ($\omega_i > 0$).

За відсутності апріорної переваги джерел встановлюється паритет вагових коефіцієнтів ($\omega_1 = \omega_2 = 0{,}5$).

Мультиплікативна форма (3) діє за принципом «вузького місця» (bottleneck filter): якщо принаймні один індикатор вказує на високий ризик ($\mu_i(x) \to 0$) загальний показник *D* стрімко знижується, блокуючи хибно-оптимістичні оцінки.

Результати дослідження. Програмну реалізацію розробленого алгоритму виконано мовою Python 3.10 у середовищі Jupyter Notebook із використанням наукових бібліотек Pandas 2.1.0

(структурування та перетворення часових рядів), NumPy 1.24.0 (векторизовані матричні обчислення) та Matplotlib 3.8.0 (візуалізація перетинів нечітких множин та фазових траєкторій).

Апробацію моделі проведено на даних індексу споживчих цін за період 2014 - 2026 рр. Оцінка ретроспективної точності показала високий рівень апроксимації (середня абсолютна помилка *MAE* = 0,042; корінь із середньоквадратичної помилки *RMSE* = 0,057).

Таблиця 2 *Динаміка фазових станів системи за результатами моделювання (2015–2026 рр.)*

Період / Етап	*Нормоване значення* $\tilde{x}$	*Показник D (Беллмана-Заде)*	*Характеристика фазового стану системи*
2015 р. (Пиковий шок)	1,00	1,00	*Екстремальний шок, критична дестабілізація*
2020 р. (Лаг стабілізації)	0,06	0,06	*Локальний мінімум, перехід до зони L («Низький»)*
2022 р. (Воєнно-структурний шок)	0,41	0,38	*Вихід із зони стабільності, сплеск ризику*
2025-2026 рр. (Прогнозний горизонт)	[0,25; 0,35]	[0,25; 0,33]	*Входження у зону «керованого очікування», поступова стабілізація*

Результати експерименту показують, що на прогнозному горизонті 2025-2026 рр. значення інтегрального показника *D* стабілізується у коридорі [0,25; 0,33]. Згідно з параметризацією (Таблиця 1), це відповідає переходу системи від терму «Помірний» до верхньої межі терму «Низький» (відносна стабільність). Завдяки мультиплікативному синтезу показник *D* зберігає не лінійну чутливість до потенційних латентних ризиків, утримуючи систему в зоні «керованого очікування» та запобігаючи передчасному послабленню контролю.

Висновки:

1. Обґрунтовано та удосконалено математичний апарат прогнозування складних динамічних систем, що інтегрує нормування Min-Max Scaling, нечітку параметризацію трикутними сплайнами та принципи мультиплікативного синтезу Беллмана-Заде.

2. Математично доведено та практично підтверджено переваги мультиплікативної згортки над адитивними методами: усунення ефекту компенсації ризиків забезпечує високу чутливість моделі до локальних дестабілізаційних сигналів у «сірих зонах» невизначеності.

3. Програмна реалізація в середовищі Python 3.10 підтвердила високу точність моделі (MAE = 0,042), а також дозволила сформувати графік розподілу ступенів можливості реалізації макроекономічних сценаріїв на 2025-2026 рр. Запропонований підхід є ефективним інструментом для систем підтримки прийняття рішень та переходу до проактивного адаптивного управління.

Список використаних джерел

1. Bellman R. E., Zadeh L. A. Decision-Making in a Fuzzy Environment. Management Science. 1970. Vol. 17, no. 4. P. B141-B164. DOI: https://doi.org/10.1287/mnsc.17.4.B141

2. Zadeh L. A. Fuzzy logic and the calculi of fuzzy rules, fuzzy graphs, and fuzzy probabilities. Computers & Mathematics with Applications. 1999. Vol. 37, no. 11-12. P. 35. DOI: https://doi.org/10.1016/s0898-1221(99)00140-6

3. Дебела І. М. Нечіткий алгоритм прийняття рішень: схема Беллмана-Заде оцінки альтернатив. Управління інноваційним розвитком соціально-економічних систем : колективна монографія / за заг.

ред. В. В. Храпкіної, К. В. Пічик. Київ : НаУКМА, 2024. С. 626-634. DOI: https://doi.org/10.35668/978-966-518-843-8

4. Debela I. Hybrid model based on multiplicative aggregation of objective indicators for long-term consumer price index forecasting Economic Scope. 2026. No.213. P.431–438. URL: https://doi.org/10.30838/EP.213.431-438

5. Новікова Ю., Романенко Т., Кравченко В. Математичне моделювання багатовимірних процесів у задачах. Наука і техніка сьогодні. 2026. № 3 (57). С. 2732-2740. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-3(57)-2732-2740

УДК 332.2:631.11

ПРОГНОЗУВАННЯ ОРЕНДНОЇ ПЛАТИ ЗА ЗЕМЛІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ МУЛЬТИПЛІКАТОРА «ЦІНА / ОРЕНДА»

Юлія Кислякова

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: О. Є. Богатєнкова,
асистент Миколаївський національний аграрний університет

Орендна плата – основний дохід власників паїв, головна стаття витрат аграріїв і значне джерело доходів громад: у I кварталі 2025 р. оренда комунальної землі сформувала 54,7 % податкових надходжень громад, пов’язаних з обігом сільгоспземель [1]. Оренда залишається домінувальним видом земельних правочинів: у січні-травні 2025 р. укладено 144,8 тис. договорів оренди проти 51,6 тис. угод купівлі-продажу, тобто майже втричі більше [1]. Водночас ряди ринкових орендних цін короткі: торги правами оренди комунальних земель на платформі Prozorro.Продажі проводяться лише з кінця 2021 р. [1], тому складні моделі часових рядів тут непридатні. Ціна купівлі та оренда взаємопов’язані: за регресійною оцінкою KSE, зростання середньої орендної плати в сільраді на 1 % відповідає зростанню ціни землі на 0,21 % [1].

Мета роботи – перевірити, чи можна за коротким рядом спрогнозувати орендну плату через мультиплікатор «ціна / оренда» та чи точніший такий прогноз за сезонний наївний.

Використано опубліковані KSE Агроцентром середньозважені за площею показники: ціну купівлі-продажу всіх проданих сільгоспземель P і річну орендну плату на земельних торгах для комунальних земель R (обидва в тис. грн/га) за I кв. 2023 – III кв. 2024 та травень 2025 р. [1-4]. Ціну наведено для 7 кварталів, оренду – для 6, оскільки значення оренди за IV кв. 2023 р. знайти не вдалося. Методика очищення даних у різних оглядах KSE може відрізнятися (для травня 2025 р. відкинуто по 5 % найдешевших і найдорожчих ділянок) [1], тому порівняння наближене. Мультиплікатор (кількість років оренди, що відповідає ціні) обчислювали за (1); тренд ціни оцінено методом найменших квадратів за 7 кварталами (t = 1…7) за (2); орендну плату на II кв. 2025 р. (t^* = 10) прогнозували за (3), де $\bar{k}$ – середнє значення мультиплікатора за 6 кварталів [5]:

$$k_t = \frac{P_t}{R_t} \quad (1)$$

$$\hat{P}_t = a + b \cdot t \quad (2)$$

$$\hat{R} = \frac{a + b \cdot t_*}{\bar{k}} \quad (3)$$

Прогноз порівнювали з фактичною орендою квітня (12,0) та травня 2025 р. (14,6 тис. грн/га) [1] за середньою абсолютною процентною похибкою (MAPE) [6]:

$$\text{MAPE} = \frac{100}{h} \sum_{j=1}^{h} \frac{|R_j - \hat{R}_j|}{R_j} \quad (4)$$

де R_j і $\hat{R}_j$ – фактична та прогнозна оренда, h = 2 – кількість місяців порівняння. Еталоном слугував сезонний наївний прогноз – оренда II кв. 2024 р. (8,3 тис. грн/га).

Вихідні дані й розрахунки наведено в табл. 1 і на рис. 1. У 2023–2024 рр. ціна зросла з 34,8 до 45,4 тис. грн/га (на 30,5 %), а оренда знизилась з 8,9 до 7,5 тис. грн/га (на 15,7 %), тому мультиплікатор збільшився з 3,91 до 6,05 року (середнє 4,97, σ = 0,74). У травні 2025 р. він знизився до 3,57, що узгоджується з оцінкою KSE «близько 3,5 року оренди» [1]. Тренд ціни: $\hat{P} = 32{,}69 + 1{,}78 \cdot t$ ($R^2 = 0{,}948$); прогноз на II кв. 2025 р. – 50,5 тис. грн/га, що на 3,1 % нижче за фактичну ціну травня (52,1).

Таблиця 1. Ціна землі, оренда на торгах і мультиплікатор

Період	P, тис. грн/га	R, тис. грн/га	k = P/R, років
I кв. 2023	34,8	8,9	3,91
II кв. 2023	36,4	8,2	4,44
III кв. 2023	38,5	7,4	5,20
IV кв. 2023	37,8	–	–
I кв. 2024	42,2	8,5	4,96
II кв. 2024	43,6	8,3	5,25
III кв. 2024	45,4	7,5	6,05
Травень 2025	52,1	14,6	3,57

За формулою (3) прогноз оренди становить 10,2 тис. грн/га, тоді як фактично було 12,0 у квітні й 14,6 у травні: MAPE = 22,9 % (15,3 і 30,4 %). Сезонний наївний прогноз (8,3) дає MAPE = 37,0 % (30,8 і 43,2 %). Отже, мультиплікаторний підхід точніший за еталон, але систематично занижує оренду, оскільки в 2025 р. мультиплікатор різко знизився (рис. 1). Мультиплікатор, який за прогнозної ціни 50,5 точно відтворив би фактичну оренду, становить 4,21 у квітні та 3,46 у травні, тобто на 15 і 30 % нижче за середнє 4,97.

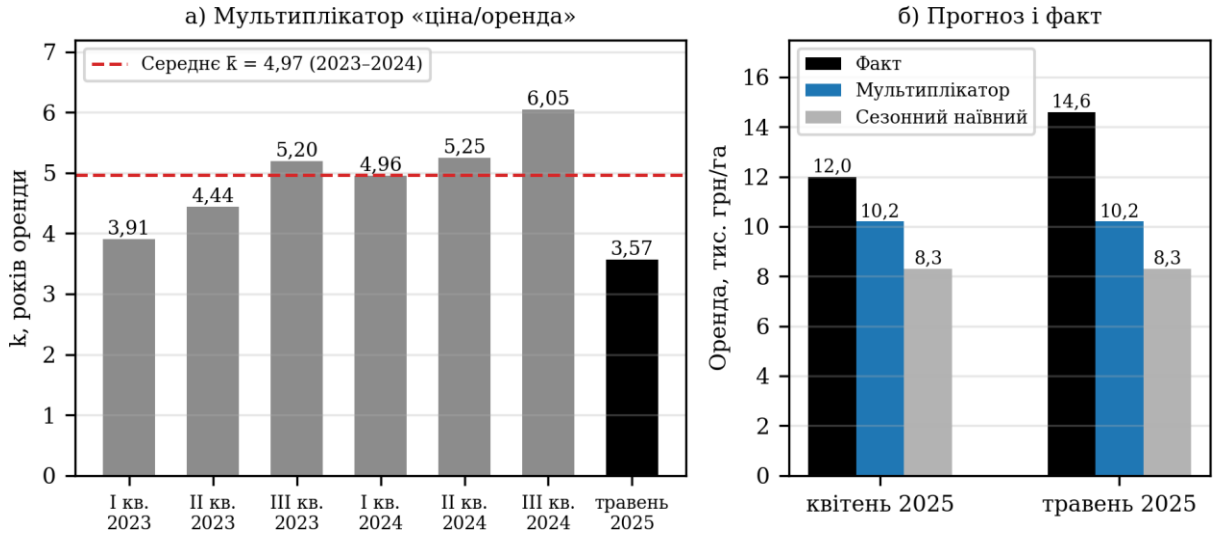


Рис. 1. Мультиплікатор «ціна / оренда» (а) та порівняння прогнозів оренди із фактом (б)

Для перевірки стійкості розраховано мультиплікатор за річними показниками 2024 р.: ціна 44,3 тис. грн/га і середньозважена оренда на торгах 9,306 тис. грн/га [1] дають k = 4,76, що близьке до середнього 4,97. Прогноз за цим значенням – 10,6 тис. грн/га (MAPE = 19,5 %: 11,6 % у квітні та 27,3 % у травні), тобто висновок якісно не змінюється. Водночас річна оренда 2024 р. (9,3) перевищує кожне з трьох відомих квартальних значень (8,5; 8,3; 7,5), тож у IV кварталі 2024 р. оренда, імовірно, була помітно вищою, а мультиплікатор – нижчим за 6,05: зниження k могло початися ще до 2025 р. Це наближена оцінка, бо показники мають різну методику розрахунку.

Динаміка у 2025 р. випереджає цінову: від II кв. 2024 р. до квітня-травня 2025 р. оренда зросла на 45-76 % (8,3 → 12,0-14,6), а ціна – на 19,5 % (43,6 → 52,1). Для порівняння, еластичність 0,21 із

регресії KSE для таких приростів оренди відповідала б зростанню ціни лише на 9-16 %; ця оцінка є перерізовою і наведена як ілюстрація, а не як прогноз. Практично важливо, що прогноз доцільно подавати як діапазон. Табл. 2 показує чутливість оренди до мультиплікатора та прогнозної ціни: за ціни 50,5 і k від 3,57 до 6,05 оренда становить 8,3-14,1 тис. грн/га, а похибка ціни у ±5 % змінює результат лише на 0,4-0,7 тис. грн/га, тобто головна невизначеність пов'язана з мультиплікатором, а не з ціною.

Таблиця 2. Чутливість прогнозу оренди $\hat{R} = \hat{P}/k$, тис. грн/га

k, років	$\hat{P}$ = 48,0	$\hat{P}$ = 50,5	$\hat{P}$ = 53,0
3,57 (травень 2025)	13,4	14,1	14,8
4,00	12,0	12,6	13,2
4,50	10,7	11,2	11,8
4,97 (середнє 2023–2024)	9,7	10,2	10,7
5,50	8,7	9,2	9,6
6,05 (максимум)	7,9	8,3	8,8

Можливі причини зниження мультиплікатора у 2025 р. KSE пов'язує зі сприятливою кон'юнктурою агробізнесу після збиткових 2022-2023 рр. і появою нового орієнтира – аукціонів Земельного банку: середня оренда державних земель на торгах (20,8 тис. грн/га) у 2,6 раза перевищує комунальну (8,1 тис. грн/га), а на аукціон державної землі припадає в середньому 9,2 цінової пропозиції проти 3 для комунальної [1]. Ми цієї гіпотези причинно не перевіряли. Крім того, мультиплікатор 3,6-6,1 значно нижчий за рівень капіталізації 20, який KSE приймає в модельних розрахунках [1], а частка угод за ціною, близькою до нормативної грошової оцінки, складала 54 % у 2023 р., 47 % у 2024 р. і 44 % у 2025 р. [1]. Це узгоджується з висновком KSE про можливе заниження офіційних цін купівлі, тобто реальний мультиплікатор може бути вищим.

Обмеження: ряд містить лише 7 спостережень, а показники відрізняються за визначенням (оренда комунальних земель на торгах не дорівнює оренді приватних паїв; квартальні дані порівнюються з місячними; методика очищення цін неоднакова). Значення ціни за IV кв. 2023 та I кв. 2024 р. узято з вторинного джерела [4]; перевірка охоплює лише два місяці, тому результат ілюстративний, а відмінність у точності між методами статистично не перевірялася.

Висновки. Мультиплікатор «ціна / оренда» в 2023-2024 рр. зростав (3,91 → 6,05), а в травні 2025 р. знизився до 3,57. Прогноз оренди II кв. 2025 р. за середнім мультиплікатором (10,2 тис. грн/га) мав MAPE 22,9 % проти 37,0 % у сезонного наївного, але занизив фактичні значення; заміна на річний мультиплікатор 2024 р. дає MAPE 19,5 %. Практично доцільно подавати прогноз як діапазон за можливими значеннями мультиплікатора (8,3-14,1 тис. грн/га) і стежити за його відхиленням як індикатором переоцінки оренди.

Список використаних джерел

1. Земельний ринок в Україні: фінальний аналітичний огляд / KSE Агроцентр. Київ, 2025. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/06/Zemelniy-rinok-v-Ukrayini.pdf (дата звернення: 15.10.2026).

2. Капіталізація ринку сільгоспземель за результатами 3-го кварталу 2024 року зросла на 332 млрд грн або на 3,9 млрд дол. США. Kyiv School of Economics. 2024. 4 листоп. URL: https://kse.ua/ua/about-the-school/news/kapitalizatsiya-rinku-silgospzemel-za-rezultatami-3-go-kvartalu-2024-roku-zrosla-na-332-mlrd-grn-abo-na-3-9-mlrd-dol-ssha/ (дата звернення: 15.10.2026).

3. Земельний ринок в Україні: аналітичний огляд за 3 квартал та вересень 2023 року / KSE Агроцентр. Київ, 2023. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/10/Analitichnii---oglyad-stanu-zemelnogo-rinku-v-Ukrai--ni.-Tretii---kvartal-2023.pdf (дата звернення: 15.10.2026).

4. Ціни на товарну землю зросли майже до 47 тис. грн/га. AgroPortal.ua. URL: https://agroportal.ua/news/ukraina/cini-na-tovarnu-zemlyu-pidnyalisya-mayzhe-do-47-tis-grn-ga (дата звернення: 15.10.2026).

5. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. 3rd ed. Melbourne : OTexts, 2021. URL: https://otexts.com/fpp3/ (дата звернення: 15.10.2026).

6. Hyndman R. J., Koehler A. B. Another look at measures of forecast accuracy. International Journal of Forecasting. 2006. Vol. 22, No. 4. P. 679-688. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001.

УДК 004.032.26

ПОРІВНЯННЯ ТОЧНОСТІ ТА СТАБІЛЬНОСТІ СТАТИСТИЧНИХ І НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ МІСЯЧНОГО СЕЗОННОГО РЯДУ

Віолетта Кім

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: О. Є. Богатєнкова,
асистент Миколаївський національний аграрний університет

Прогнозування часових рядів лежить в основі планування в економіці, енергетиці та агровиробництві, а нейромережеві моделі нині часто протиставляють класичним статистичним. Проте порівняння на 1045 місячних рядах змагання M3 показало, що розглянуті методи машинного навчання поступалися статистичним за точністю на всіх горизонтах і потребували більше обчислювальних ресурсів [1]; водночас гібридні схеми намагаються поєднати переваги обох підходів [2]. Для користувача важлива не лише середня точність, а й відтворюваність результату: нейромережа, навчена двічі з різними початковими вагами, може давати різні прогнози. Ще одна методична проблема – оцінювання на єдиному розбитті «навчання / тест», яке випадково може сприяти одному з методів; тому рекомендують повторювати оцінювання на кількох початках прогнозу [5].

Мета роботи – порівняти точність і стабільність статистичних методів (Holt-Winters, SARIMA) та багатошарового перцептрона (MLP) під час прогнозування сезонного ряду як на одному розбитті з горизонтом 24 місяці, так і за ковзним початком прогнозу з горизонтом 12 місяців.

Використано відкритий ряд міжнародних авіаперевезень пасажирів (тис. осіб) за 144 місяці 1949-1960 рр. [3], отриманий з набору AirPassengers (R datasets) засобами бібліотеки statsmodels. Основне розбиття: навчальна вибірка – 1949-1958 рр. (n = 120), тестова – 1959-1960 рр. (h = 24). Порівнюються: сезонний наївний прогноз (базовий рівень); модель Holt–Winters з адитивним трендом і мультиплікативною сезонністю [4, 5]; SARIMA(0,1,1)(0,1,1)12 для логарифмованого ряду, тобто «модель авіалінії» [3]:

$$(1-B)(1-B^{12})\,ln\,y_t \;=\; (1+\theta B)(1+\Theta B^{12})\,\varepsilon_t \qquad (1)$$

де B – оператор зсуву назад, θ і Θ – параметри ковзного середнього, ε_t – білий шум. Порядок моделі задано апріорі й не підбирався за тестовими даними; на основній навчальній вибірці отримано $\theta = -0{,}342$ і $\Theta = -0{,}541$. Параметри згладжування Holt-Winters оцінено автоматично ($\alpha = 0{,}364$; $\beta \approx 0$; $\gamma = 0{,}636$), тобто нахил тренду фактично не змінюється з часом.

MLP має один прихований шар (tanh), вхід із 12 останніх стандартизованих логарифмічних приростів і один вихід – наступний приріст; навчання методом L-BFGS із L2-регуляризацією 0,01. Кількість нейронів обрано з {4, 8, 16} за помилкою на останніх 12 місяцях навчальної вибірки (обрано 16); прогноз на кілька кроків вперед – рекурсивний, результат перетворюється назад до рівнів ряду. Для оцінки стабільності MLP навчали 30 разів із різними початковими вагами, а «ансамблем» називаємо середнє прогнозів цих запусків. Точність оцінювали за показниками:

$$\text{MAPE} \;=\; \frac{100}{h}\sum_{t=1}^{h}\frac{|y_t-\hat{y}_t|}{y_t} \qquad (2)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{h}\sum_{t=1}^{h}(y_t - \hat{y}_t)^2} \quad (3)$$

$$\text{MASE} = \frac{\frac{1}{h}\sum_{t=1}^{h}|y_t - \hat{y}_t|}{\frac{1}{n-m}\sum_{t=m+1}^{n}|y_t - y_{t-m}|} \quad (4)$$

де y_t і $\hat{y}_t$ – фактичне та прогнозне значення, h – горизонт, m = 12 – сезонний лаг, n = 120 – довжина навчальної вибірки. MASE [6] нормує похибку на середню абсолютну похибку сезонного наївного прогнозу у навчальній вибірці: значення менше за 1 означає кращу точність, ніж у цього наївного прогнозу.

Результати основного розбиття наведено в табл. 1 і на рис. 1. Найкращі показники за всіма метриками має Holt-Winters (MAPE 6,39 %, MASE 1,01); SARIMA дає 8,52 %, а ансамбль MLP – 7,80 %. Усі методи значно точніші за сезонний наївний прогноз (15,52 %). Різниця між Holt-Winters і ансамблем MLP невелика, а на другому році тестового періоду ансамбль навіть дещо точніший (7,66 % проти 7,99 %), проте на одному ряді таку різницю не можна вважати достовірною.

Таблиця 1. Показники точності 24-місячного прогнозу (1959-1960 рр.)

Метод	MAPE, %	RMSE, тис. пас.	MASE	MAPE, 1-й рік, %	MAPE, 2-й рік, %
Сезонний наївний	15,52	76,99	2,49	11,06	19,99
Holt–Winters	6,39	32,49	1,01	4,79	7,99
SARIMA(0,1,1)(0,1,1)12	8,52	43,19	1,38	6,76	10,28
MLP, ансамбль із 30 запусків	7,80	39,29	1,25	7,95	7,66
MLP, окремий запуск (середнє ± σ)	11,86 ± 6,91	62,45 ± 35,30	1,88 ± 1,13	9,20 ± 4,61	14,51 ± 9,89

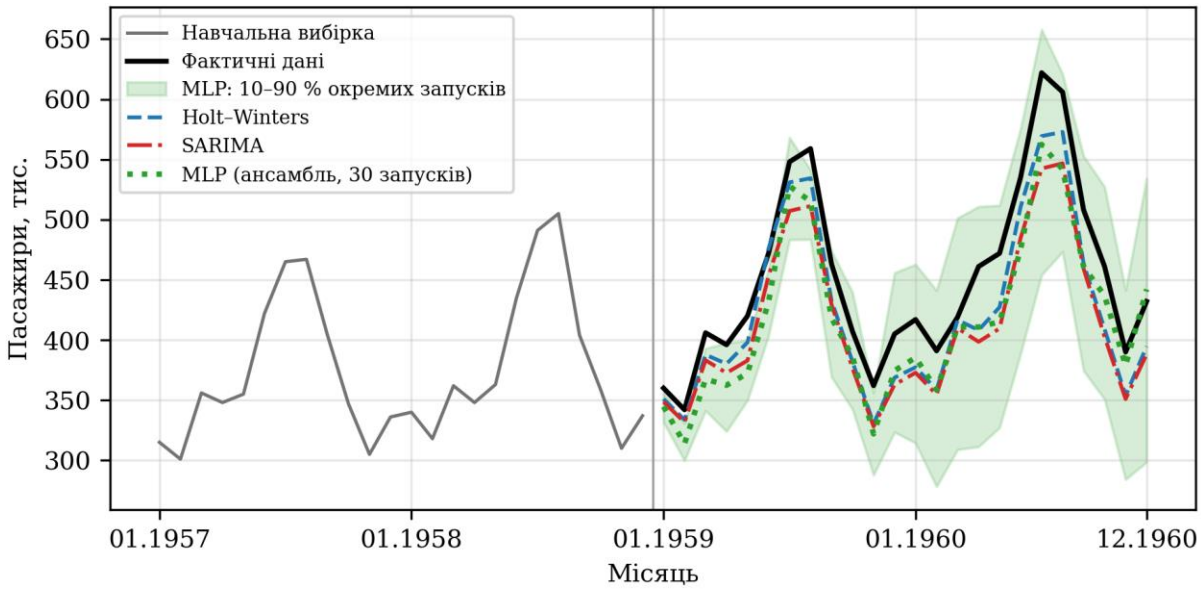


Рис. 1. Прогнози на 1959-1960 рр. і фактичні значення

Принципово інша картина – в окремих запусках MLP: середній MAPE становить 11,86 % зі стандартним відхиленням 6,91 в. п., а розкид – від 2,66 до 34,82 % (медіана 9,61 %; 10-й і 90-й процентилі – 5,63 і 19,46 %). Лише 5 із 30 запусків (17 %) виявилися точнішими за Holt-Winters і 11 із 30 (37 %) – за SARIMA, а 24 із 30 перевершили сезонний наївний прогноз (рис. 2а). Отже, висока точність ансамблю досягається усередненням, яке гасить дисперсію, зумовлену початковими вагами.

Дослідник, який повідомив би лише про найкращий запуск (2,66 %), зробив би висновок про суттєву перевагу нейромережі, а той, хто взяв би найгірший (34,82 %), – про її непридатність; обидва висновки були б хибними.

Показово й систематичне зміщення прогнозів. Середня процентна похибка (MPE; від'ємне значення означає заниження) становить −6,32 % для Holt-Winters, −8,52 % для SARIMA, −7,61 % для ансамблю MLP і −15,52 % для сезонного наївного прогнозу. SARIMA занижує прогноз у всіх 24 місяцях, а Holt–Winters і ансамбль MLP – у 23 із 24. Тому MAPE кожного методу майже збігається з модулем його MPE: похибка зумовлена не випадковими коливаннями, а тим, що сезонна амплітуда у 1959–1960 рр. зростала швидше, ніж у навчальній вибірці. Для окремих запусків MLP середнє зміщення становить −7,61 % (σ = 10,17 в. п.), а 23 із 30 запусків (77 %) занижували прогноз.

Імовірною причиною нестабільності MLP є співвідношення розміру моделі й вибірки: мережа з 16 прихованими нейронами має 225 параметрів (12·16 вхідних ваг, 16 зміщень, 16 вихідних ваг і 1 зміщення), тоді як основна навчальна вибірка дає лише 107 навчальних прикладів (119 приростів без 12 лагів). За такого співвідношення цільова функція має багато локальних мінімумів, а результат оптимізації залежить від початкових ваг, що узгоджується зі спостережуваним розкидом; проте цю гіпотезу спеціально не перевіряли.

Щоб перевірити, чи не зумовлена картина конкретним розбиттям, оцінювання повторено для чотирьох початків прогнозу (навчання до кінця 1956, 1957, 1958 і 1959 рр.) з горизонтом 12 місяців (табл. 2, рис. 2б); кількість нейронів MLP залишено 16, тобто підібрану на основному розбитті. Ранжування методів змінюється залежно від вікна: у 1957 р. найточнішою була SARIMA (1,66 %), у 1958 р. – навіть сезонний наївний прогноз (3,14 %), у 1959 і 1960 рр. – Holt-Winters (4,79 і 2,21 %). За середнім MAPE по чотирьох вікнах Holt-Winters залишається найкращим (3,59 %), далі йдуть SARIMA (4,73 %), ансамбль MLP (5,64 %) і сезонний наївний прогноз (8,73 %). Ансамбль точніший за середній окремий запуск MLP (6,52 %) у кожному з чотирьох вікон, а розкид окремих запусків істотно залежить від вікна: σ коливається від 0,87 до 4,61 в. п.

Таблиця 2. MAPE, %, 12-місячного прогнозу за чотирма початками прогнозу

Вікно (12 міс.)	Сез. наївний	Holt–Winters	SARIMA	MLP, ансамбль	MLP, окремий запуск (± σ)
1957 р.	10,76	3,66	1,66	2,40	2,95 ± 0,87
1958 р.	3,14	3,68	7,60	9,04	9,06 ± 1,46
1959 р.	11,06	4,79	6,76	7,95	9,20 ± 4,61
1960 р.	9,99	2,21	2,90	3,18	4,88 ± 2,24
Середнє	8,73	3,59	4,73	5,64	6,52 ± 2,29

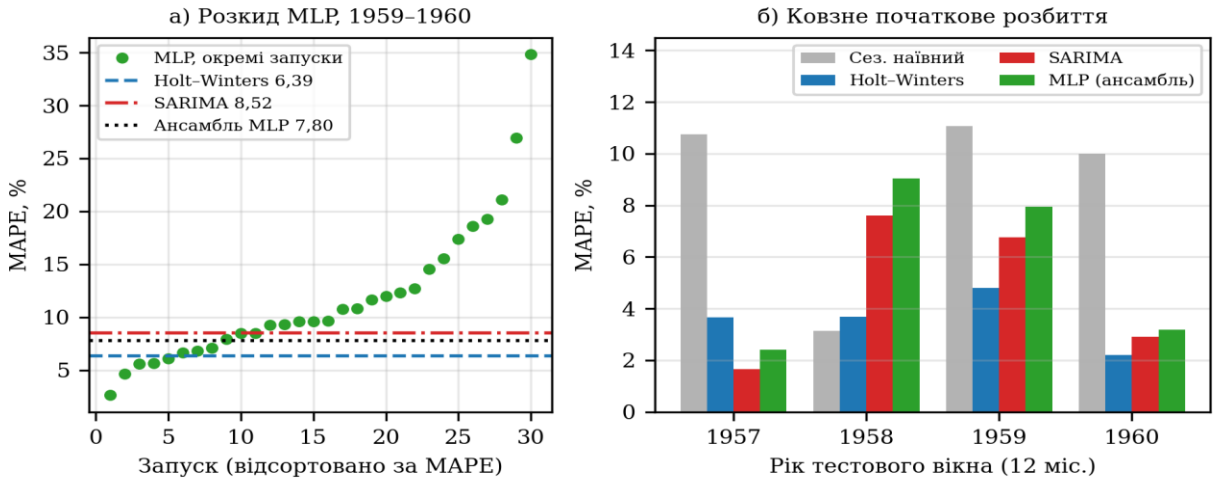


Рис. 2. Розкид MAPE окремих запусків MLP (а) та MAPE за ковзним початком прогнозу (б)

Практичне значення полягає в тому, що для коротких місячних рядів (до кількох сотень спостережень) статистичні моделі доцільно використовувати як обов'язковий еталон, а нейромережу – лише з багаторазовим навчанням (ансамблем) і звітуванням про розкид помилки, а не про один «вдалий» запуск. Додатково слід перевіряти результат на кількох початках прогнозу, бо ранжування методів на одному розбитті може не відтворюватися. Для агровиробництва, де сезонні ряди (споживання ресурсів, обсяги продажу, надходження врожаю) зазвичай короткі, це означає, що простий Holt-Winters або SARIMA є надійною відправною точкою, а перехід до нейромереж виправданий лише за наявності суттєвого приросту точності на незалежних вікнах.

З отриманих результатів випливає простий протокол порівняння статистичних і нейромережевих методів на коротких рядах: (1) обов'язково включати сезонний наївний прогноз і масштабовану за ним похибку MASE; (2) навчати нейромережу не менше кількох десятків разів із різними початковими вагами та наводити середнє, розкид і результат ансамблю; (3) повторювати оцінювання на кількох початках прогнозу; (4) підбирати гіперпараметри лише за валідаційною частиною навчальної вибірки, не користуючись тестовими даними. Дотримання цих кроків не потребує значних ресурсів: усі розрахунки цієї роботи виконуються за лічені хвилини на звичайному комп'ютері.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розширенням набору рядів (зокрема аграрних і енергетичних), перевіркою рекурентних архітектур і гібридних схем «ARIMA + нейромережа» [2], а також із формальним порівнянням точності прогнозів за допомогою статистичних тестів.

Обмеження дослідження: один ряд, фіксований порядок SARIMA, невеликий обсяг навчальних даних (від 96 до 132 спостережень), неповний перебір гіперпараметрів MLP і лише одна архітектура; тому результати не узагальнюються на інші ряди й архітектури, зокрема рекурентні та гібридні [2]. Статистичну значущість відмінностей між методами не перевіряли.

Висновки. На відкритому місячному сезонному ряді Holt-Winters мав найменшу похибку як на основному розбитті (MAPE 6,39 %, MASE 1,01), так і в середньому за чотирма ковзними вікнами (3,59 %). Ансамбль MLP показав 7,80 % і 5,64 % відповідно, SARIMA – 8,52 % і 4,73 %. Окремі запуски MLP мають середній MAPE 11,86 % і значний розкид (σ = 6,91 в. п.), тож точність нейромережі потрібно оцінювати за набором запусків. Результати підтверджують доцільність порівняння з простими статистичними еталонами, але не доводять переваги жодного методу в загальному випадку.

Список використаних джерел

1. Makridakis S., Spiliotis E., Assimakopoulos V. Statistical and Machine Learning forecasting methods: Concerns and ways forward. PLoS ONE. 2018. Vol. 13, No. 3. e0194889. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194889.

2. Zhang G. P. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. Neurocomputing. 2003. Vol. 50. P. 159-175. DOI: https://doi.org/10.1016/S0925-2312(01)00702-0.

3. Box G. E. P., Jenkins G. M., Reinsel G. C., Ljung G. M. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 5th ed. Hoboken : Wiley, 2015.

4. Winters P. R. Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. Management Science. 1960. Vol. 6, No. 3. P. 324-342.

5. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. 3rd ed. Melbourne : OTexts, 2021. URL: https://otexts.com/fpp3/ (дата звернення: 15.10.2026).

6. Hyndman R. J., Koehler A. B. Another look at measures of forecast accuracy. International Journal of Forecasting. 2006. Vol. 22, No. 4. P. 679-688. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001.

Тематичний напрям № 6

Математичне моделювання в інженерії, енергетиці та агропромисловому виробництві

УДК 621:37

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ІМПУЛЬСІВ У РЕЗОНАНСНОМУ ГЕНЕРАТОРІ НА ОСНОВІ НЕЛІНІЙНОГО ДІОДА

Віталій Мардзявко, Андрій Руденко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Сучасні технології обробки та знезараження зернової продукції потребують пошуку способів, які дають змогу зменшити використання хімічних реагентів та забезпечити необхідний електрофізичний вплив на оброблюване середовище. Одним із перспективних напрямів є застосування високочастотних та імпульсних електромагнітних полів. Реалізація такого способу обробки потребує відповідного джерела електромагнітних імпульсів, характеристики якого мають відповідати заданому режиму технологічного впливу. У дослідженні [1] розглядалася можливість застосування резонансного генератора імпульсів на основі нелінійного діода для електрофізичної обробки зернової продукції.

Особливість такого генератора полягає у взаємодії резонансного (*LC*)-контуру з нелінійною вольт-амперною характеристикою діода (рис. 1). Під час роботи відбувається періодичний обмін енергією між індуктивністю та ємністю, а нелінійний елемент впливає на перебіг струму та напруги в контурі. Унаслідок цього форма та характер електричного сигналу можуть відрізнятися від звичайних коливань у лінійному (*LC*)-контурі. Для розуміння цього процесу необхідно розглянути взаємозв’язок між основними електричними величинами та простежити їх зміну в часі.

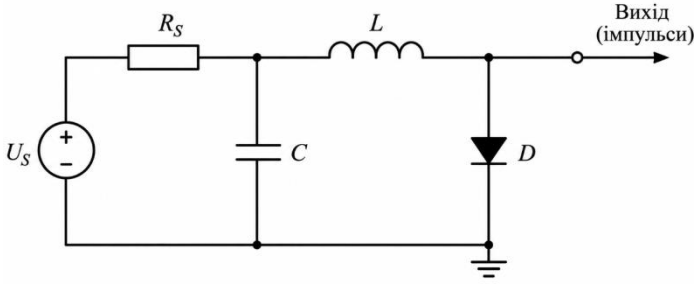


Рис. 1. Принципова електрична схема резонансного генератора імпульсів на основі нелінійного діода

На схемі U_s позначає напругу джерела живлення, R_s - обмежувальний резистор, L та C - відповідно індуктивність і ємність резонансного контуру, D - нелінійний діодний елемент. Взаємодія L, C та нелінійної характеристики діода забезпечує виникнення й підтримання резонансних автоколивань.

Безпосередній аналіз роботи реального генератора потребує відповідного електричного обладнання, вимірювальних засобів та проведення експериментальних досліджень. Водночас для первинного ознайомлення з принципом формування імпульсів доцільно використовувати спрощений математичний опис, який дає змогу представити основні електричні процеси без урахування всіх конструктивних та фізичних особливостей реального пристрою.

Отже, побудова математичної моделі є доцільним першим етапом розгляду резонансного генератора імпульсів на основі нелінійного діода, що дозволяє пов’язати його основні електричні параметри з процесом формування імпульсного сигналу та отримати наочне уявлення про перебіг електричних процесів у генераторі.

Метою роботи є ознайомлення з спрощеною математичною моделлю резонансного генератора імпульсів на основі нелінійного діода для опису формування імпульсного сигналу.

Результат дослідження. Основною характеристикою нелінійного діода є його вольт-амперна характеристика:

$$I_D = f\left(U_D\right), \tag{1}$$

де I_D - струм через діод, U_D - напруга на діоді, $f(U_D)$ - нелінійна функція, що визначає вольт-амперну характеристику діода.

Для виникнення та підтримання автоколивань важливою є наявність ділянки негативного диференціального опору. Математично ця умова визначається як:

$$\frac{dI_D}{dU_D} \le 0, \tag{2}$$

Негативний знак похідної означає, що на певній ділянці ВАХ [2] збільшення напруги супроводжується зменшенням струму. Така властивість діода дає змогу компенсувати активні втрати енергії в резонансному контурі.

Динамічні процеси в резонансному генераторі описуються системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} L\dfrac{dI}{dt} = U_s - RI - U_D \\ C\dfrac{dU_D}{dt} = I - I_D\left(U_D\right) \end{cases}, \tag{3}$$

де L - індуктивність контуру; C - ємність; R - активний опір; I - струм у контурі; U_s - напруга джерела живлення; U_D - напруга на діоді.

Перше рівняння описує зміну струму в індуктивності, а друге - зміну напруги на ємності. Їх спільний розв'язок характеризує процес обміну енергією між індуктивним і ємнісним елементами з урахуванням нелінійної характеристики діода.

Резонансна частота LC-контуру визначається виразом:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \tag{4}$$

де f_0 - резонансна частота контуру. Вибір параметрів L і C визначає частотний режим роботи генератора.

У спрощеному вигляді умову виникнення автоколивань можна представити співвідношенням:

$$\left|R_D\right| \ge R, \tag{5}$$

де R_D - негативний диференціальний опір діода, а R - активний опір резонансного контуру. За цієї умови компенсація втрат у контурі за рахунок нелінійного діодного елемента забезпечує можливість підтримання коливального процесу.

Амплітуда сформованого імпульсного сигналу визначається максимальним значенням напруги на діоді:

$$U_m = \max\left|U_D(t)\right|, \tag{6}$$

Період повторення імпульсів визначається часовим інтервалом між двома послідовними імпульсами:

$$T = t_{k+1} - t_k, \tag{7}$$

а частота їх повторення:

$$f = \frac{1}{T}, \tag{8}$$

Таким чином, система (3) у поєднанні з нелінійною характеристикою (1) та умовою негативного диференціального опору (2) формує спрощений математичний опис процесів у резонансному генераторі. Чисельне розв'язання цієї системи дає змогу отримати часові залежності $I(t)$ та $U_D(t)$, за якими можна наочно простежити характер зміни струму і напруги та ознайомитися з основними характеристиками сформованого імпульсного сигналу - амплітудою, періодом і частотою.

Висновок. У роботі розглянуто спрощену математичну модель резонансного генератора імпульсів на основі нелінійного діода. Розглянута система диференціальних рівнянь дає змогу описати зміну струму та напруги в часі з урахуванням основних параметрів резонансного контуру і нелінійного діодного елемента. На основі математичного опису можна наочно простежити процес обміну енергією між індуктивністю та ємністю, вплив нелінійної характеристики діода на коливальний процес і формування імпульсного сигналу. Визначення амплітуди, періоду та частоти імпульсів у межах моделі дає базове уявлення про основні характеристики сформованого сигналу.

Запропонована модель має спрощений та ознайомчий характер і не передбачає відтворення всіх фізичних процесів реального генератора або його експериментальної перевірки. Її використання є доцільним для базового ознайомлення з принципом роботи резонансного генератора та розуміння взаємозв'язку між параметрами LC-контуру, нелінійною характеристикою діода і процесом формування імпульсного сигналу.

Список використаних джерел

1. Кунденко М. П., Вахоніна Л. В., Руденко А. Ю. Аналіз проблеми якості обробки в установках для електромагнітної обробки зернової продукції. Інженерія природокористування. 2022. № 1 (23). С. 40–45. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.6807892.

2. Akdemir Evrendilek G., Atmaca B., Bulut N., Uzuner S. Development of pulsed electric fields treatment unit to treat wheat grains: Improvement of seed vigour and stress tolerance. Computers and Electronics in Agriculture. 2021. Vol. 185. Article 106129. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106129.

УДК:331.101.1:519.6:664.6

ВІД ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ДО МОДЕЛІ: МАТЕМАТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ФІЗІОЛОГІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРАЦІ НА ХЛІБОЗАВОДІ

Антоніна Галєєва

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

На ТОВ «Терновський хлібзавод» система охорони праці спрямована на запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та створення належних санітарно-гігієнічних умов у виробничих приміщеннях. Особливості хлібопекарського виробництва пов'язані з використанням теплового обладнання, механізованих ліній, електрообладнання, а також виконанням робіт у приміщеннях із підвищеною температурою та запиленістю повітря, що потребує постійного контролю за станом умов праці.

Система охорони праці на підприємстві організовується відповідно до вимог чинного законодавства України та включає комплекс санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів [1, с. 429]. На підприємстві відповідальність за створення безпечних умов праці покладається на керівника та посадових осіб структурних підрозділів. Для координації роботи з охорони праці створюється

служба охорони праці та призначаються відповідальні особи, які контролюють дотримання вимог безпеки праці, проводять інструктажі, організовують навчання працівників та здійснюють аналіз причин можливих порушень та нещасних випадків.

Одним із важливих елементів системи охорони праці є проведення інструктажів з охорони праці. Працівники ТОВ «Тернівський хлібзавод» перед початком роботи, які працюють з механізмами та обладнанням підвищеної небезпеки проходять навчання з безпечних методів виконання виробничих операцій, ознайомлюються з правилами експлуатації обладнання та порядком дій у разі виникнення аварійної ситуації. Працівники, які обслуговують тістомісильну машину, повинні бути проінструктовані щодо правил запуску обладнання, заборони очищення рухомих частин під час роботи та використання засобів індивідуального захисту. Проведення інструктажів фіксується у спеціальних журналах установленої форми [2, с. 928].

Важливе значення для забезпечення безпеки праці має контроль технічного стану обладнання. У хлібопекарському виробництві використовуються печі, тістомісильні машини, транспортери, подільники тіста та інше механічне обладнання, яке може становити небезпеку для працівників у разі несправності або порушення правил експлуатації. Несправність захисного кожуха на тістомісильній машині може призвести до травмування рук працівника під час роботи. Тому на підприємстві проводяться регулярні технічні огляди [3, с. 101], профілактичне обслуговування обладнання та перевірка справності систем автоматичного захисту.

Особлива увага на ТОВ «Терновський хлібзавод» приділяється забезпеченню санітарно-гігієнічних умов праці. У виробничих цехах підтримується належний температурний режим, функціонують системи вентиляції та освітлення, проводиться регулярне прибирання приміщень. У мучному відділенні встановлюються вентиляційні системи для зменшення концентрації мучної пилки у повітрі, оскільки її накопичення може негативно впливати на органи дихання працівників та створювати ризик виникнення алергічних реакцій. Працівники забезпечуються спеціальним одягом, рукавицями, головними уборами та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт.

Організація охорони праці на підприємстві здійснюється відповідно до нормативно-правових актів України. Основним документом є Закон України «Про охорону праці», який визначає основні засади державної політики у сфері охорони праці, права та обов'язки працівників та роботодавців щодо створення безпечних умов праці. Відповідно до цього закону керівник ТОВ «Терновський хлібзавод» забезпечує функціонування системи управління охороною праці, організує навчання працівників, проводити атестацію робочих місць та вживає заходів щодо запобігання виробничого травматизму.

Важливе значення для регулювання трудових відносин має Кодекс законів про працю України [4, с. 29], який встановлює вимоги щодо режиму праці та відпочинку, тривалості робочого часу, охорони праці жінок, а також гарантії працівникам у разі пошкодження здоров'я на виробництві. Працівники, які працюють у гарячих цехах біля хлібопекарських печей, мають право на регламентовані перерви для відпочинку та відновлення працездатності.

Під час організації безпечних умов праці підприємство також керується державними санітарними нормами, правилами пожежної безпеки та нормативними актами щодо експлуатації електроустановок та технологічного обладнання. Зокрема, у виробничих приміщеннях дотримуються встановлених норм температури, вологості, освітлення та рівня шуму [5, с. 447]. Для попередження пожеж на підприємстві проводяться перевірки стану електромереж, забезпечується наявність вогнегасників та розробляються плани евакуації персоналу.

Виробничі приміщення та робочі місця на підприємствах хлібопекарської промисловості повинні відповідати вимогам безпеки та гігієни праці, оскільки специфіка технологічного процесу пов'язана з дією підвищених температур, запиленості повітря, шуму, рухомих механізмів та значних фізичних навантажень. На ТОВ «Терновський хлібзавод» організація виробничих приміщень спрямована на забезпечення безпечних умов праці працівників, дотримання санітарно-гігієнічних норм та створення оптимального виробничого середовища для ефективного виконання трудових обов'язків.

Основними виробничими приміщеннями підприємства є мучне відділення, тістоприготувальний цех, пекарське відділення, пакувальна дільниця, складські приміщення та допоміжні санітарно-побутові кімнати. Кожне приміщення має свої особливості щодо умов праці та рівня виробничих ризиків. У мучному відділенні основною проблемою є підвищена концентрація мучної пилки у повітрі. Під час завантаження муки, його просіювання та транспортування у виробниче середовище утворюється пилка, яка може подразнювати органи дихання та слизові оболонки працівників. Тривалий вплив мучної пилки здатний спричиняти алергічні реакції, кашель та професійні захворювання дихальної системи. Для зниження запиленості на підприємстві використовуються вентиляційні системи та місцеві відсмоктувачі повітря [6, с. 65].

Особливу увагу приділяють організації робочих місць у тістоприготувальному цеху, де працівники контактують із тістомісильними машинами, дільниками тесту та транспортерами. Робочі місця повинні бути організовані таким чином, щоб забезпечити вільний доступ до обладнання, безпечне переміщення працівників та можливість швидкого вимкнення механізмів у разі аварійної ситуації. Біля тістомісильних машин встановлені захисні кожухи та блокувальні пристрої, які запобігають доступу до рухомих частин обладнання під час його роботи. У разі відсутності чи несправності таких пристроїв виникає ризик травмування рук працівників [7, с. 120].

У пекарському відділенні умови праці характеризуються підвищеною температурою та тепловим випромінюванням від хлібопекарських печей. Працівники, які здійснюють контроль випікання та вивантаження готової продукції, тривалий час перебувають у зоні високих температур, що створює значне теплове навантаження на організм. Пекар під час відкриття печі для перевірки готовності хлібобулочних виробів піддається впливу гарячого повітря та пари, що може призвести до перегрівання організму або отримання термічних опіків. Для покращення умов праці у виробничих приміщеннях функціонують системи вентиляції та кондиціонування повітря [8, с. 144], а працівникам надаються регламентовані перерви для відпочинку.

Важливим елементом безпеки праці є стан підлоги та проходів у виробничих цехах. На ТОВ «Тернівський хлібзавод» підлога рівна, неслизька та стійка до впливу вологості та механічних навантажень. У процесі виробництва на поверхню підлоги можуть потрапляти мука, вода або залишки тісту, що створює небезпеку падіння працівників. Працівник пакувальної ділянки під час транспортування лотків із готовою продукцією може посковзнутися на забрудненій поверхні та отримати травму. Для попередження таких ситуацій проводиться регулярне прибирання виробничих поміщень та контроль санітарного стану робочих зон [9, с. 46].

Важливе значення для безпеки та гігієни праці має освітлення робочих місць. Недостатній рівень освітлення погіршує видимість, сприяє швидкій втомі працівників і підвищує ризик помилок під час роботи з обладнанням. На підприємстві використовується комбіноване природне та штучне освітлення, яке забезпечує належні умови для виконання виробничих операцій.

Під час аналізу робочих місць враховується також рівень шуму та вібрації, що виникають внаслідок роботи механічного обладнання [10, с. 159]. Джерелами шуму є тістомісильні машини, компресора, вентиляційні установки та транспортери. Тривалий вплив шуму негативно впливає на нервову систему працівників, що викликає втому, головний біль і зниження концентрації уваги. Працівник виробничої лінії протягом усієї зміни перебуває в зоні постійного шуму від роботи обладнання, що може призводити до професійного виснаження. Для зменшення шумового навантаження використовуються звукоізоляційні матеріали та проводиться своєчасне технічне обслуговування обладнання.

Важливою складовою гігієни праці є забезпечення працівників санітарно-побутовими приміщеннями [11, с. 558]. На підприємстві передбачаються гардеробні, душові, кімнати для відпочинку та приймання їжі. Працівники забезпечуються спеціальним одягом, головними уборами та засобами індивідуального захисту відповідно до характеру роботи. Працівники мучного відділення використовують респіратори або захисні маски для зниження впливу пилу на органи дихання.

Аналіз виробничих приміщень та робочих місць на ТОВ «Терновський хлібзавод» засвідчує про наявність низки виробничих факторів, які можуть впливати на безпеку та здоров'я працівників.

Основними з них є підвищена температура, запиленість повітря, шум, небезпека травмування рухомими частинами обладнання та фізичне навантаження. Для забезпечення належних умов праці на підприємстві необхідно постійно удосконалювати систему вентиляції, підтримувати справний технічний стан обладнання, контролювати санітарний стан приміщень та забезпечувати працівників ефективними засобами захисту.

Список використаних джерел

1. Піндера М. В. Контроль та управління безпечністю харчових продуктів. Актуальні проблеми та перспективи розвитку агропродовольчої сфери, індустрії гостинності та торгівлі : тези доповідей IV міжнар. наук. практ. конф., 4 листопада 2025 р. / Державний біотехнологічний ун-т. Харків, 2025. С. 428-430. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22771.

2. Іваненко В., Курепін В. Впровадження інноваційних систем безпеки на підприємства під час війни на прикладі міста Миколаїв. Актуальні проблеми та перспективи розвитку обліку, аналізу та контролю в соціально-орієнтованій системі управління підприємством : матеріали IX всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Полтава, 26 березня 2026 р.). Полтава : Полтавський державний аграрний університет, 2026. С. 926-928. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25169.

3. Курепін В. М., Зубєхіна-Хайят О. В. Механізми антикризового управління як основа адаптації бізнесу до турбулентного середовища. Modern Economics. 2025. № 54(2025). С. 95-103. DOI:https://doi.org/10.31521/modecon.V54(2025)-13.

4. Іваненко В. С. Макроекономічні аспекти економічної безпеки підприємств аграрного профілю. Управління механізмами гарантування фінансово-економічної безпеки соціально-економічних систем різних рівнів функціонування : матеріали IV всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Миколаїв; 26–28 листопада 2025 р.). Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 27-28. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/23929.

5. Іваненко В. С. Вплив блекаутів на ментальне здоров’я та механізми адаптації. Проблеми надзвичайних ситуацій : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Черкаси, 21 травня 2026 року). Черкаси : НУЦЗ України, 2026. С. 447-448. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25631.

6. Курепін В. М., Іваненко В. С. Застосування цифрових технологій у сільському господарстві для досягнення цілей сталого розвитку. Modern Economics. 2024. № 47(2024). С. 62-69. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V47(2024)-09.

7. Іваненко В. С. Система управління надзвичайними ситуаціями в умовах воєнних викликів: муніципальний аспект. Інтеграція науки та практики управління в умовах соціокультурних трансформацій: зб. матеріалів IV Міжнар. наук.-практич. конф. (28 квітня 2026 року, м. Лубни). Лубни : ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2026. С. 116-121. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26716.

8. Курепін В. М. Безпечність харчових продуктів як складова продовольчої безпеки України. Стратегічні напрями забезпечення продовольчої безпеки України у воєнний період : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 27-28 листопада 2025 року) / Державний університет інформаційно комунікаційних технологій. Київ, 2025. С. 143-146. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/23363.

9. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

10. Курепін В. М. Механізм фінансування та громадської участі в забезпеченні заходів безпеки на локальному та регіональному рівнях. Modern Economics. 2026. № 55(2026). С. 153-161. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V55(2026)-21.

11. Іваненко В. С. Роль лідерства в забезпеченні безпеки підприємства: аналітичний аспект. Інноваційне підприємництво: стан та перспективи розвитку. Інноваційне підприємництво: стан та перспективи розвитку : збірник матеріалів XI міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 27 березня 2026 р.). Київ : КНЕУ, 2026. С. 554-559. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26639.

УДК 531.1:631.362.3:633.1

МОДЕЛЬ КОНТРОЛЬОВАНОГО ГРАВІТАЦІЙНОГО РУХУ ЗЕРНА ПО ЧОТИРЬОМ ПЕРЕСИПНИМ ПОЛИЦЯМ

Анатолій Антонець, Володимир Арендаренко, Олег Іванов
Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

Актуальною проблемою АПК є безпечне завантаження висотних силосів зерном без його травмування. Одним із шляхів вирішення даної проблеми є розробка завантажувальних установок, які забезпечують контроль швидкості гравітаційного руху зерна за рахунок різних кутів нахилу розгінних та гальмівних ділянок [1].

Розглянемо процес переміщення зерна по чотирьох пересипних полицях, які послідовно чергуються та складаються з двох розгінних і двох гальмівних ділянок. Розгінні полиці мають довжину l_1 та кут нахилу α. Гальмівні полиці характеризуються довжиною l_2 і кутами нахилу β та γ відповідно. З метою зменшення травмування зерна приймаємо умову, за якої кінцева швидкість сходу зерна з останньої полиці дорівнює початковій швидкості зерна на вході до першої розгінної полиці.

Початкову швидкість V_0 зерно набуває внаслідок вільного падіння з бункера, розташованого на висоті h_0 над краєм першої розгінної полиці. Під час падіння зерна від вихідного отвору бункера до краю першої розгінної ділянки його швидкість становить $V_0 = \sqrt{2gh_0}$. Під час подальшого переміщення зерновий потік, проходячи відстань l_1 по першій розгінній полиці, збільшує свою швидкість до максимального значення V_{max}. Перша розгінна ділянка розташована під кутом α до горизонту. З урахуванням перетворення частини потенціальної енергії зернового потоку в кінетичну, а також дії сили тертя, що характеризується коефіцієнтом тертя μ між шаром зерна та поверхнею полиці, отримаємо спрощене рівняння, яке описує процес перетворення енергії зернового потоку під час його руху по першій розгінній полиці:

$$\frac{mV_0^2}{2}\sin\alpha + mgl_1\sin\alpha - \mu mgl_1\cos\alpha = \frac{mV_{\max}^2}{2}$$

Після проходження першої розгінної полиці зерновий потік сходить із її краю та здійснює вільне падіння з висоти h на першу гальмівну полицю. З урахуванням кутів нахилу розгінної та гальмівної ділянок отримаємо:

$$\left(\frac{mV_{\max}^2}{2}\sin\alpha + mgh\right)\sin\beta$$

Рух зернового потоку по першій гальмівній ділянці довжиною l_2, яка розташована під кутом β до горизонту, відбувається під дією максимальної кінетичної енергії, набутої під час руху по першій розгінній ділянці, додаткової кінетичної енергії, отриманої внаслідок падіння з висоти h, а також потенціальної енергії зернового потоку $\mu mgl_2\sin\beta$. Водночас рух зернового потоку по даній ділянці супроводжується протидією сил тертя $\mu mgl_2\cos\beta$, яка через кут нахилу $\beta \le \alpha$ є набагато більше і спричиняє зменшення швидкості зерна з $V_{\max}$ до $\frac{2V_{\max}}{3}$ [2]. Отже, після проходження першої гальмівної ділянки в розрахунковій моделі передбачається зниження максимальної швидкості руху зерна на одну третину. Така умова має забезпечити стабільне переміщення зернового потоку та

запобігти його накопиченню і перевантаженню на наступних ділянках. На основі закону збереження енергії отримаємо:

$$\left(\frac{mV_{\max}^2}{2}\sin\alpha + mgh\right)\sin\beta + mgl_2\sin\beta - \mu mgl_2\cos\beta = \frac{m\left(\frac{2V_{\max}}{3}\right)^2}{2}.$$

Після проходження першої гальмівної полиці зерновий потік сходить із її краю та здійснює повторне падіння з висоти h на другу розгінну полицю. Враховуючи кути нахилу розгінної й гальмівної ділянок, отримаємо: $\left(\frac{2mV^2_{\max}}{9}\sin\beta + mgh\right)\sin\alpha$. Під час подальшого руху по другій розгінній ділянці зерно збільшує швидкість руху із $\frac{2V_{\max}}{3}$ до швидкості V.

Рух зернової маси по другій гальмівній полиці, розташованій під кутом γ до горизонту, відбувається також через набуту кінетичну та потенціальної енергію. Цьому руху протидіє сила тертя, вплив якої на даній ділянці є більш суттєвим через менший кут нахилу γ ($\gamma \le \alpha$). В наслідок цього швидкість зернового потоку поступово зменшується від значення V до V_0.

На основі наведених вище залежностей, які описують рух зернового потоку по розгінних і гальмівних ділянках, сформуємо аналітичну модель його гравітаційного переміщення [2]:

$$\begin{cases} mgh_0 = \frac{mV_0^2}{2} \\ \frac{mV_0^2}{2}\sin\alpha + mgl_1\sin\alpha - \mu mgl_1\cos\alpha = \frac{mV_{\max}^2}{2} \\ \left(\frac{mV_{\max}^2}{2}\sin\alpha + mgh\right)\sin\beta + mgl_2\sin\beta - \mu mgl_2\cos\beta = \frac{2mV_{\max}^2}{9} \\ \left(\frac{2mV^2_{\max}}{9}\sin\beta + mgh\right)\sin\alpha + mgl_1\sin\alpha - \mu mgl_1\cos\alpha = \frac{mV^2}{2} \\ \left(\frac{mV^2}{2}\sin\alpha + mgh\right)\sin\beta + mgl_2\sin\gamma - \mu mgl_2\cos\gamma = \frac{mV_0^2}{2} \end{cases}. \quad (1)$$

Для визначення співвідношень між кутами нахилу розгінних і гальмівних ділянок розв'яжемо систему рівнянь (1). На основі першого, другого та третього рівнянь системи (1) отримаємо залежність, яка дає змогу визначити кут β через задане значення кута α:

$$\begin{aligned}\left(\left(h_0 + l_1\right)\sin^2\alpha - \mu l_1\sin\alpha\cos\alpha + h + l_2\right)\sin\beta - \mu l_2\cos\beta = \\ = \frac{4}{9}\left(h_0\sin\alpha + l_1\sin\alpha - \mu l_1\cos\alpha\right)\end{aligned} \quad (2)$$

Використавши друге, четверте та п'яте рівняння системи (1) і виконавши відповідні перетворення та спрощення, отримаємо залежність, яка визначає кут γ через кути α і β:

$$\begin{aligned}l_2\sin\gamma - \mu l_2\cos\gamma = h_0 - h\sin\beta - \frac{4}{9}\left(h_0 + l_1\right)\sin^3\alpha\sin^2\beta + \frac{4}{9}\mu l_1\cos\alpha\sin^2\alpha\sin^2\beta - \\ -\left(h + l_1\right)\sin^2\alpha\sin\beta + \frac{1}{2}\mu l_1\sin 2\alpha\sin\beta\end{aligned} \quad (3)$$

Розв'яжемо рівняння (2), виконавши відповідні перетворення. Враховуючи, що значення кутів α і β належать діапазону (0; $\frac{\pi}{2}$), отримаємо залежність кута β від кута α:

$$\beta = 2arctg\left(\frac{-a+\sqrt{a^2+(\mu^2 l_2^2-b^2)}}{\mu l_2 - b}\right)+2\pi k$$

$$a = \left(\left(h_0+l_1\right)\sin^2\alpha - \mu l_1 \sin\alpha\cos\alpha + h + l_2\right) \qquad (4)$$

$$b = \frac{4}{9}\left(h_0\sin\alpha + l_1\sin\alpha - \mu l_1\cos\alpha\right)$$

Для визначення кута γ подібним чином розв'яжемо рівняння (3), маємо:

$$\gamma = 2arctg\left(\frac{-c+\sqrt{c^2+(\mu^2 l_2^2-d^2)}}{\mu l_2 - d}\right)+2\pi k \qquad (5)$$

Отримаємо систему рівнянь, що визначає кути β і γ через заданий кут α:

$$\begin{cases} a = \left(h_0+l_1\right)\sin^2\alpha - \mu l_1 \sin\alpha\cos\alpha + h + l_2 \\ b = \frac{4}{9}\left(h_0\sin\alpha + l_1\sin\alpha - \mu l_1\cos\alpha\right) \\ \beta = 2arctg\left(\frac{-a+\sqrt{a^2+(\mu^2 l_2^2-b^2)}}{\mu l_2 - b}\right)+2\pi k \\ c = l_2 \\ d = h_0 - h\sin\beta - \frac{4}{9}\left(h_0+l_1\right)\sin^3\alpha\sin^2\beta + \frac{4}{9}\mu l_1\cos\alpha\sin^2\alpha\sin^2\beta - \\ -\left(h+l_1\right)\sin^2\alpha\sin\beta + \frac{1}{2}\mu l_1\sin 2\alpha\sin\beta \\ \gamma = 2arctg\left(\frac{-c+\sqrt{c^2+(\mu^2 l_2^2-d^2)}}{\mu l_2 - d}\right)+2\pi k \end{cases} \qquad (6)$$

Запропонована фізико-математична модель, що представлена системами (1) і (6), дає змогу знаходити кути β і γ нахилу гальмівних полиць в залежності від кута α нахилу розгінних ділянок. Модель враховує висоту падіння зерна h з однієї полиці на іншу, довжини розгінних та гальмівних ділянок l_1 та l_2, початкову висоту падіння зерна h_0, а також коефіцієнт тертя μ між зерновою масою та матеріалом полиць.

Список використаних джерел

1. Arendarenko V., Antonets A., Ivanov O., Dudnikov I., Samoylenko T. Building an analytical model of the gravitational grain movement in an open screw channel with variable inclination angles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2021. 3(7 (111)). 100-112. doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235451.

2. Antonets A., Arendarenko V., Ivanov O., Dudnikov I., Liashenko S. Development of an analytical model of the controlled movement of grain material on the bulk shelves of a loading-gravity-cascade unit. *Technology Audit and Production Reserves*. 2025. 3(1(83). 13-19. doi.org/10.15587/2706-5448.2025.330574.

UDC 330.341.1:621.7

FEATURES OF MODELING KINETIC REGULARITIES OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF AN INDUSTRIAL MACHINE-BUILDING AND REPAIR ENTERPRISE

Dmytro Dan′ko, Oleksandr Stoyanov
Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine

Academic Supervisors: Marchenko D.D.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Lymar O.O.
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
Mykolayiv National Agrarian University

Abstract: The paper examines the kinetic patterns of innovation processes development at an industrial mechanical engineering and repair enterprise in the context of ensuring its sustainable operation. The paper examines the relationship between the enterprise's production and innovation potential, as well as the innovation receptivity indicator, which determines the enterprise's ability to effectively implement its accumulated innovative potential. The paper analyzes the characteristic stages of the innovation cycle, in particular, the periods of growth, stabilization, decline, and recovery of potential. A relationship is established between changes in innovative potential, economic efficiency, innovative receptivity, and the enterprise's production potential. The paper substantiates the need for systematic management of innovation processes and the creation of a specialized innovation unit within the enterprise structure capable of coordinating scientific, technical, design, and technical and economic projects. The obtained provisions can be used to formulate strategies for the innovative and sustainable development of enterprises in the mechanical engineering industry.

Key words: innovative development, innovative potential, production potential, innovative receptivity, kinetics of innovative processes, innovation cycle, industrial enterprise, mechanical engineering, sustainable development, innovative management.

Introduction.

Innovative industrial development remains the only viable vector for the sustainable functioning of Ukraine's agro-industrial complex. Innovation is generally understood as the final result of innovative activity. A new or improved technological process applied in practice, or a new approach to organizing social services, presupposes the temporary nature of its formation and the passage of all stages from development to industrial implementation. Like most physical, chemical, technological, and thermodynamic phenomena underlying mechanical engineering production, technical and economic processes, including innovation ones, are typically nonlinear and depend on a multitude of variable factors, as confirmed by the nonlinear nature of global macroeconomic cycles of growth, stabilization, and stagnation. This suggests that innovation processes have their own kinetic patterns. This is indicated, in particular, by the rapid development of nanotechnology, which has ensured the emergence of fundamentally new products.

The aim of the work is to study the kinetic features of the development of innovative processes in industrial enterprises of the automotive and tractor engineering industry using the example of the largest manufacturers of cardan shafts, shock absorbers and brake chambers for automotive, railway and agricultural machinery, with similar production capacities.

Results and discussion.

Innovative activity combines the material, technical, technological, managerial and intellectual resources of an enterprise, which makes it possible to describe the kinetics of accumulation of production potential *by* $П_n$ of functional dependencies proportional, decelerating and accelerating (Fig. 1, curves 1-3). For real economic conditions, the most typical dependence is one with saturation (curve 2), caused by equipment depreciation, market saturation, and declining efficiency of production processes.

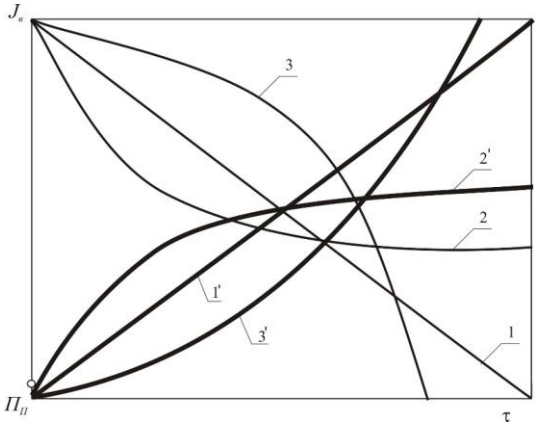


Fig. 1. Kinetics of production potential $П_n$ (1–3) and innovation susceptibility Iv (1'–3') under different sustainable development strategies: 1, 1′ proportional; 2, 2′ decelerating; 3, 3′ accelerating

Production potential serves as the basis for the development of innovative potential a set of resources that provide an enterprise with an advantageous market position. The ability to effectively realize this potential is defined as "innovation receptivity" I_v , the kinetics of which are functionally similar to the kinetics of production potential (curves 1'–3').

The innovative cycle of enterprise functioning τ_{ic} includes four characteristic periods: growth $\Delta\tau_p$, stabilization $\Delta\ \tau_{ct}$, fall $\Delta\tau_p$ and restoration $\Delta\tau_v$ of potential:

$$\tau_{ic} = \Delta\tau_{\text{p}} + \Delta\tau_{ct} + \Delta\tau_n + \Delta\tau_v$$

Growth in initial potential is associated with improvements in corporate culture and intellectual support; stabilization occurs when these capabilities are aligned with current production; decline is due to depreciation and obsolescence of equipment, and market saturation with similar products; recovery is ensured by personnel retraining and the implementation of resource-saving solutions.

For sustainable development of the enterprise, the depth of the potential drop Δh should not exceed the initial level, and should decrease consistently in each subsequent cycle:

$$\Delta h_1 > \Delta h_2 > \Delta h_3 > \ldots > \Delta h_n$$

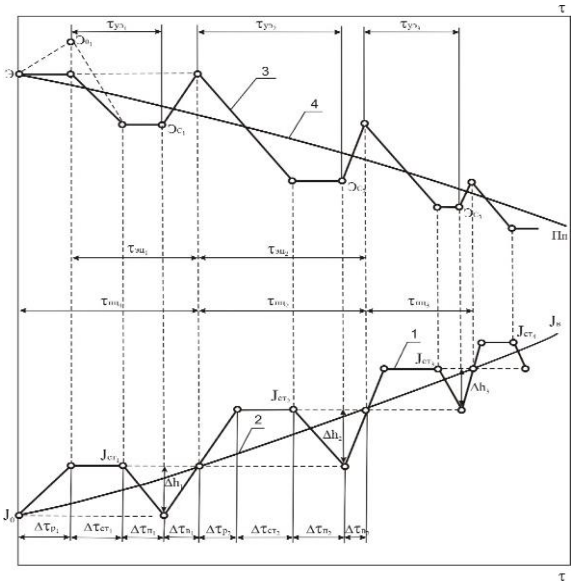


Fig. 2. Correlation of kinetic dependencies of changes in innovation potential (1), economic efficiency (3), innovation receptivity (2) and production potential (4)

Similar kinetic patterns are characteristic of the economic efficiency indicator S_{jk} . The cycle of effective functioning τ_{ys} consists of periods of growth, stable functioning, and a decline in efficiency, while the cycle of sustainable development τ_{ic} additionally includes a recovery period:

$$\tau_{ys} = \tau_{sp} + \tau_{sc} + \tau_{sn}; \quad \tau_{ic} = \tau_{sp} + \tau_{sc} + \tau_{sn} + \tau_{sv}$$

Sustainable development of an enterprise requires that the relative increase in efficiency in successive cycles decreases:

$$\frac{S_1}{S_0} > \frac{S_2}{S_1} > \frac{S_3}{S_2} > \ldots$$

Correlation of the kinetic cycles discussed above (Fig. 2) can be achieved by creating an innovative division within the enterprise's scientific and technical center that coordinates research, design, and feasibility studies. The absence of such a structure leads to operational instability and loss of market position.

Conclusions.

An analysis of the functioning of industrial enterprises with similar levels of production potential and homogeneous product purposes confirms the existence of stable kinetic patterns in the development of innovative potential, which support the implementation of a sustainable development strategy during the transition period. One effective tool for such a strategy is the creation of functional units within the enterprise structure to support intellectual support for innovation.

References

1. Kononov, Y., & Lymar, O. (2025). Investigating the stability of oscillations of rectangular plates in an infinitely long rectangular parallelepiped with an ideal fluid. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(7 (133), 14–21. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.323200

2. Manufacturing enterprises move towards sustainable development: ESG performance, market-based environmental regulation, and green technological innovation. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 372. Article 123244. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.123244.

3. Rahmani A., Bonyadi Naeini A., Mashayekh J., Aboojafari R., Daim T., Yalcin H. Green innovation for a greener future: A meta-analysis of the impact on environmental performance. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 460. Article 142547. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.142547.

4. Mathematical modeling of the process of rolling body rolls with needed rollers / A.V. Zubiekhina-Khaiiat, D.D. Marchenko // Problems of Tribology. - Vol 24. - No 3/93 (2019). – p. 45-50. DOI: https://doi.org/10.31891/2079-1372-2019-93-3-45-50.

5. Oliynyk T., Lymar O. (2024). The Effectiveness of Managing Educational Institutions at the Local Level. Modern Economics, 44(2024), 126-132. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V44(2024)-20.

6. Exchange interaction and models of contact generation of disturbances in tribosystems / Zaspa, Y., Dykha, A., Marchenko, D., Matiukh, S., Kukurudzyak, Y. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020, 4(5-106), p. 25–34.

UDC 330.341.1:658.5

MODELING OF CLUSTER STRUCTURES OF INTELLECTUAL SUPPORT OF INNOVATIVE ACTIVITIES OF ENTERPRISES

Denys Shpakovs′kyy, Ruslan Shafaruk

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine

Academic Supervisors:
Lymar O.O.
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
Marchenko D.D.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Mykolayiv National Agrarian University

Abstract. This paper examines current organizational and methodological approaches to establishing cluster structures that provide intellectual support for the innovation activities of industrial and repair

enterprises. It substantiates the importance of integrating research potential, production resources, and management mechanisms to enhance the efficiency of enterprise innovation development within a changing market environment. The study identifies key prerequisites for forming cluster structures, specifically the need to restore collaboration among manufacturing enterprises, research institutions, and higher education establishments, as well as the need to improve the coordination of scientific and technical projects and mitigate the risks associated with implementing innovative solutions.

Particular attention is paid to the functional characteristics of intra-cluster and regional innovation structures. The paper highlights the role of the scientific and technical center as the coordinating core of the intra-cluster, responsible for organizing research and engaging specialized laboratories, testing units, and research-educational institutions to address production challenges. It outlines the potential of regional innovation clusters to pool resources and coordinate participants in scientific and technical programs. A conceptual approach is proposed for quantifying the effectiveness of cluster collaboration using an integral index that accounts for participant coordination levels, the speed of innovation adoption, resource availability, and project implementation risks. The research findings can be applied to further refine innovation management models, organize scientific and technical support for production, and foster partnerships between enterprises and research-educational institutions.

Keywords: innovation cluster, intracluster, infrocluster, scientific and technical center, innovation management.

Problem statement. Performance innovative development depends from abilities enterprises quickly respond to changes market conditions and transform scientific results in production solution. Relaxation traditional connections between industry, scientific institutions and higher education institutions education made it difficult complex intellectual software production. Additional barriers are insufficient flexibility program-specific financing, deficit project management and limited organizational support performers.

Purpose of work: To summarize approaches to construction cluster structures capable of to provide coordination research, production adaptation and implementation innovation at the level enterprise and region.

Basic results. In the source two interconnected levels organizations innovative interactions. Intracluster is forming within enterprises, and its core is the scientific and technical center (STC), which combines coordination functions with their own research. To work are involved factory laboratories, testing, metrological and standardization services, as well as shared departments with scientific institutions and universities. Such configuration contributes formation permanent teams and faster adaptation developments to production conditions.

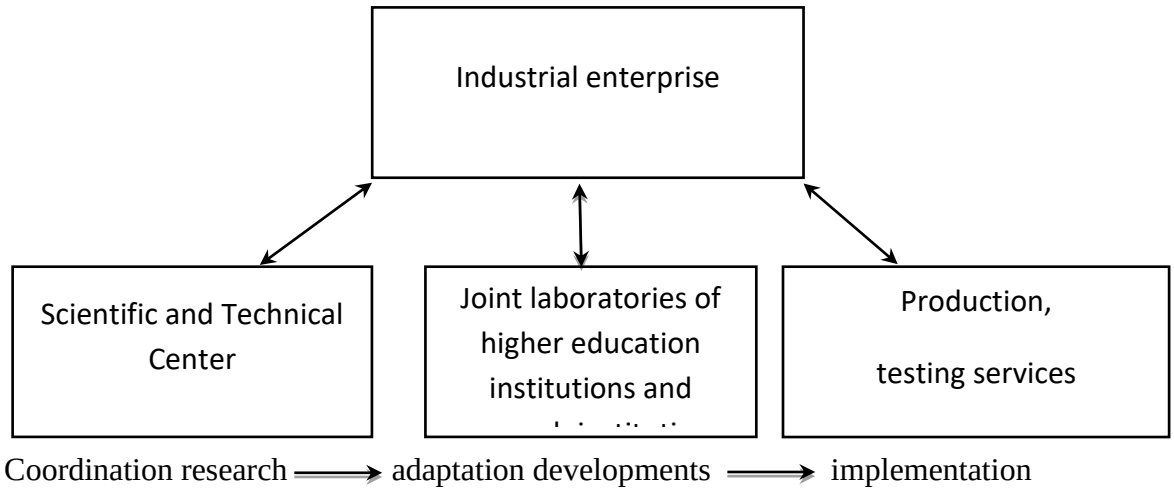


Figure 1 – Generalized scheme of intracluster interactions

Regional infracluster relies on scientific and technical program coordinated by regional organs management and profile scientific and technical structures. Customer companies join through their own STCs or research laboratories that provide connection between regional tasks and production needs. An

important condition effectiveness both models are consistent resources, responsibility and management solutions for all stages innovative project.

Formalization interactions. For a conceptual description performance cluster structures can be generalized index, namely:

$$E = w_1K + w_2A + w_3R - w_4Z, \quad \Sigma w_i = 1, \quad w_i \geq 0$$

where E is the integral efficiency of cluster interaction; K - level of coordination of participants; A - speed of adaptation of development to production; R - resource availability; Z - aggregate realization risk; w_i weighting factors. The formula has conceptual in nature and requires parameterization for practical evaluation.

Conclusions. Integration of STC into the production cycle and development of partnerships with scientific and educational institutions create organizational framework for a stable innovative accompaniment enterprises. Combination intracluster and regional levels gives opportunity to involve wider research potential, coordinate resources and increase adaptability innovative projects. Proposed index maybe serve as the basis for further quantitative modeling after definition indicators and weights.

References

1. Voinycha L., Kozhel P. Theoretical and methodological fundamentals of clustering as a tool for managing the innovation and investment development of industrial enterprises. Bulletin of Lviv National Environmental University. Series «AIC Economics». 2024. No. 31. P. 135–145. DOI: https://doi.org/10.31734/economics2024.31.019 .

2. Kononov Yu. About update of conditions of stability of vibration of a plate which separates ideal liquids of different density in a rectangular channel with hard foundations / Yu. Kononov, O. Lymar // International Journal Of Mechanical Engineering And Information Technology. IJMEIT. - 2018. - Vol. 06. - Issue 01 . - P. 1755-1760.

3. Kropelnytska S. O., Kit S. F. Economic clustering as a tool for innovation-driven development: theoretical and methodological foundations and Ukrainian realities. The Actual Problems of Regional Economy Development. DOI: https://doi.org/10.15330/apred.2.21.250-266 .

4. Ishchuk S. O., Sozanskyy L. Yo., Protseviat O. S. Cluster assessment of the innovation dynamics in the industry by regions of Ukraine. Statistics of Ukraine. 2025. No. 4(111). DOI: https://doi.org/10.31767/su.4(111)2025.04.07 .

5. Kononov, Y., & Lymar, O. (2025). Investigating the stability of oscillations of rectangular plates in an infinitely long rectangular parallelepiped with an ideal fluid. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(7 (133), 14–21. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.323200

6. Clusters, Innovation and Entrepreneurship. Paris : OECD Publishing, 2009. 234 p. DOI: https://doi.org/10.1787/9789264044326-en .

7. Zaspa Y., Dykha A., Marchenko D., Matiukh S., Kukurudzyak Y. Exchange interaction and models of contact generation of disturbances in tribosystems / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – PC Technology Center, 2020. – Vol 4, No 5 (106) (2020) – pp. 25–34. ISSN 1729-4061. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209927.

8. Marchenko, D., & Matvyeyeva, K. (2020). Improving the durability of moving joints working in conditions of intensive wear. Problems of Tribology, 25(3/97), 39-44. https://doi.org/https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-97-3-39-44.

9. The concept of clusters and cluster policies and their role for competitiveness and innovation: main statistical results and lessons learned. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2008. DOI: https://doi.org/10.2769/67535.

УДК 519.6:331.45:658.2

ПРОГНОЗУВАННЯ БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ НА ОСНОВІ МАТЕМАМИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ЗОН

Дар'я Лотарєва

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. М. Курепін,
канд.екон.наук, доцент кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Аналіз виробничих приміщень та робочих зон є важливою складовою оцінки умов праці перепелиній фермі ІПО МНАУ, оскільки саме від особливостей організації виробничого простору значною мірою залежить безпека працівників, ефективність виробничих процесів та якість отримуваної продукції. Виробничі приміщення ферми включають зони утримання перепелів, інкубаційні приміщення, ділянки збирання та сортування яєць, складські приміщення для кормів, допоміжні та побутові приміщення. Кожна з цих зон характеризується специфічними умовами праці та власним комплексом виробничих факторів.

Основним виробничим приміщенням є пташник, у якому утримується основне поголів'я перепелів. Саме тут працівники виконують найбільший обсяг робіт, пов'язаних із доглядом за птицею, контролем її стану, обслуговуванням систем годівлі, напування та збиранням продукції. У таких приміщеннях важливе значення має забезпечення достатнього простору між рядами кліткових батарей. Вузькі проходи можуть ускладнювати пересування персоналу під час виконання виробничих операцій та створювати ризик [1, с. 19] травмування під час транспортування інвентарю або контейнерів з яйцями.

Особливу увагу необхідно приділяти мікрокліматичним умовам виробничих приміщень. У птичниках підтримується певний температурний режим та рівень вологості, необхідний для утримання перепелів. Водночас підвищена температура, вологість та накопичення пилки можуть негативно впливати на самопочуття працівників [2, с. 48]. У літній період за недостатньо ефективної роботи вентиляційної системи температура повітря в поміщенні може перевищувати комфортні значення, що призводить до швидкої втоми працівників, зниження уваги та працездатності.

Важливою робочою зоною є приміщення для збирання, сортування та пакування перепелиних яєць. Тут працівники виконують переважно ручні операції, які потребують підвищеної концентрації уваги та точності [3, с. 65]. Для забезпечення якісного виконання роботи необхідне достатнє освітлення робочих поверхонь. Під час сортування яєць працівники повинні вчасно виявляти тріщини, загрязнення або інші дефекти, тому недостатня освітленість може призводити до збільшення кількості помилок та підвищеного навантаження на органи зору.

Не менш важливе значення мають інкубаційні приміщення, де розміщується спеціалізоване обладнання для інкубації яєць. Працівники здійснюють контроль температури, вологості та роботи інкубаторів. Робочі місця в таких приміщеннях повинні забезпечувати зручний доступ до обладнання та контрольно-вимірювальних приладів. Наприклад, розташування панелей управління на незручній висоті може спричиняти додаткові фізичні навантаження та ускладнювати контроль технологічних процесів.

У складських приміщеннях для зберігання кормів умови праці характеризуються підвищеним рівнем пилу органічного походження. Під час завантаження або переміщення комбікормів у повітря можуть потрапляти дрібнодисперсні частинки, які подразнюють органи дихання. Працівники, які тривалий час працюють без засобів захисту органів дихання [3, с. 65], можуть скаржитися на кашель, подразнення слизових оболонок та алергічні реакції.

Виробничі приміщення ферми також оснащені системами освітлення, вентиляції, водопостачання та електрообладнанням. Їх технічний стан безпосередньо впливає на рівень безпеки праці [4, с. 89]. Пошкодження електропроводки в приміщенні з підвищеною вологістю може

створювати небезпеку ураження електричним струмом, а несправність вентиляційного обладнання сприятиме накопиченню шкідливих газів та пилу.

Окремої уваги потребують побутові приміщення для персоналу, які повинні забезпечувати належні умови для відпочинку, переодягання та дотримання правил особистої гігієни. Наявність санітарно-побутових приміщень сприяє підтриманню належного санітарного стану виробництва та профілактиці професійних захворювань.

Безпечна робота із системами утримання та годівлі перепелів є важливою складовою, оскільки саме ці системи забезпечують нормальне функціонування виробничого процесу та потребують постійного обслуговування з боку працівників. Сучасні технології перепелівництва передбачають використання кліткових батарей, автоматизованих ліній подачі кормів, систем напування, вентиляційного обладнання та транспортних механізмів, експлуатація яких супроводжується певними виробничими ризиками. Дотримання вимог безпеки під час роботи з таким обладнанням сприяє запобіганню виробничого травматизму [5, с. 65], збереженню здоров'я працівників та підтриманню стабільного технологічного процесу.

Системи утримання перепелів складаються з багатоярусних кліткових батарей, які дозволяють ефективно використовувати виробничі площі та забезпечувати необхідні умови для вирощування птиці. Під час обслуговування таких конструкцій працівники здійснюють огляд птиці, очищення клітин, видалення посліду та контроль роботи обладнання. Важливою умовою безпеки є підтримання належного технічного стану [6, с. 104] кліткових батарей. Пошкоджені металеві елементи або гострі краї конструкцій можуть стати причиною порізів рук під час виконання щоденних робіт. Тому перед початком експлуатації необхідно регулярно перевіряти стан обладнання та своєчасно усувати виявлені дефекти.

Особливу увагу слід приділяти безпеці під час використання автоматизованих систем годівлі. Такі системи включають транспортери, бункери для кормів, приводи та механізми подачі кормових сумішей. Під час роботи обладнання працівникам забороняється виконувати очищення або ремонт рухомих частин без попереднього відключення електроживлення. Спроба усунути застрягання корму в транспортері під час його роботи може призвести до травмування рук або захоплення одягу рухомими елементами механізму. Саме тому всі ремонтні та профілактичні роботи повинні проводитись лише після повної зупинки обладнання [7, с. 76].

У процесі експлуатації систем напування існує ризик контакту працівників з водою та електрообладнанням одночасно. На перепелиних фермах широко використовуються автоматичні системи подачі води, робота яких часто пов'язана з насосами та електричними пристроями [8, с. 381]. У разі пошкодження ізоляції електропроводки або потрапляння води на електричні елементи може виникнути небезпека ураження електричним струмом. Для запобігання таким ситуаціям необхідно регулярно перевіряти технічний стан обладнання, забезпечувати наявність захисного заземлення та дотримуватися вимог електробезпеки.

Під час завантаження кормів у бункерів працівники можуть піддаватися впливу пилу органічного походження. Дрібнодисперсні частинки комбікормів здатні потрапляти до органів дихання та викликати подразнення слизових оболонок або алергічні реакції. Під час пересипання сухого комбікорму у великі накопичувальні ємності у повітрі утворюється значна кількість пилу, тому працівники повинні використовувати респіратори або інші засоби захисту органів дихання.

Безпечна робота із системами утримання перепелів також передбачає правильну організацію робочих місць та проходів між клітковими батареями. Проходи повинні бути достатньо широкими для безпечного пересування персоналу та транспортування інвентарю [9, с. 160]. Захаращення проходів мішками з кормом чи обладнанням може стати причиною падіння працівника під час виконання виробничих операцій. Особливо це актуально в умовах підвищеної вологості, коли поверхня підлоги може стати слизькою.

Окремим аспектом безпеки є вплив біологічних факторів. Працівники, які постійно контактують із птицею, кормами та продуктами життєдіяльності перепелів, можуть піддаватися впливу мікроорганізмів, пилу, алергенів та аміаку. Під час очищення поміщень від посліду в повітря можуть потрапляти пилові частинки та мікроорганізми, що негативно впливають на органи дихання. У таких

випадках необхідно використовувати засоби індивідуального захисту та забезпечувати ефективну вентиляцію приміщень.

Важливе значення має проведення інструктажів та навчання працівників безпечним методам роботи [10, с. 21]. Працівники повинні знати порядок дій у разі виникнення несправностей обладнання, аварійного відключення електроенергії або інших надзвичайних ситуацій. Наприклад, при раптовій зупинці системи вентиляції персонал повинен оперативно вжити заходів для запобігання погіршенню мікроклімату у приміщеннях для утримання перепелів.

Безпечна робота із системами утримання та годівлі перепелів передбачає комплекс організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на захист працівників від виробничих небезпек. Дотримання вимог охорони праці, своєчасне технічне обслуговування обладнання та використання засобів особистої захисту дозволяють забезпечити безпечні умови праці та ефективне функціонування перепелиної ферми.

Безпечна експлуатація систем утримання та годівлі перепелів є важливою умовою ефективної роботи НДВ перепелиної ферми ІПО МНАУ. Під час обслуговування кліткових батарей, систем годівлі та напування працівники можуть зазнавати впливу механічних, електричних, біологічних та санітарно-гігієнічних факторів. Дотримання вимог охорони праці, правил експлуатації обладнання та своєчасне проведення його технічного обслуговування дозволяє значно знизити ризик виробничого травматизму [11, с. 98].

Важливу роль у забезпеченні безпеки відіграють використання засобів особистої захисту, належна організація робочих місць та проведення регулярних інструктажів для персоналу. Систематичний контроль технічного стану обладнання та виробничої середовища сприяє підтриманню безпечних та комфортних умов праці. Комплексне виконання заходів з охорони праці забезпечує збереження здоров'я працівників, підвищення продуктивності праці та стабільність виробничих процесів на перепелиній фермі.

Список використаних джерел

1. Іваненко В. С. Стресостійкість, як вид психологічної особистості // Інформаційно-психологічна та техногенна безпека: історичні аспекти, особливості захисту суспільства та особистості : тези доповідей за результатами тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 9 грудня 2022 р. Миколаїв : МНАУ, 2022. С. 18-20. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12066.

2. Курепін В. М., Лимар О. О. Оцінка стану кадрової безпеки аграрних підприємств за допомогою відповідних індикаторів діяльності (in English). Modern Economics. 2024. № 43(2024). С. 41-50. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V43(2024)-06.

3. Курепін В. М., Іваненко В. С. Застосування цифрових технологій у сільському господарстві для досягнення цілей сталого розвитку. Modern Economics. 2024. № 47(2024). С. 62-69. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V47(2024)-09.

4. Лотарєва Д. В. Основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці на підприємстві // Сучасні підходи до охорони праці в закладах професійної освіти : матеріали Усеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, Біла Церква, 26 жовтня 2022 р. Біла Церква : БІНПО ДЗВО «УМО» НАПН УКРАЇНИ, 2022. С. 86-90. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12475.

5. Ivanenko V.S., Kurepin V.M. Security dimension of development of Ukrainian villages in the context of modern challenges. Розвиток українського села - основа аграрної реформи в Україні : матеріали Причорноморської регіональної науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу (м. Миколаїв, 15-16 квітня 2026 р.) / Інженерно-енергетичний факультет. Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 64-66. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25504.

6. Курепін В. М., Лимар О. О. Управління людською складовою бізнесу як чинник промислового менеджменту в умовах цифрової трансформації. Modern Economics. 2026. № 57(2026). С. 107-115. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V57(2026)-14. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26709.

7. Іваненко В. М. Практичні аспекти адаптації законодавства ЕС у сфері безпеки і гігієни праці в Україні // Участь молоді у розбудові агропромислового комплексу країни : матеріали 35-ої студ. наук.-теорет. конф., 22-24 березня 2023 року, м. Миколаїв. Миколаїв : МНАУ, 2023. С. 74-78. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13346.

8. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

9. Курепін В. М. Механізм фінансування та громадської участі в забезпеченні заходів безпеки на локальному та регіональному рівнях. Modern Economics. 2026. № 55(2026). С. 153-161. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V55(2026)-21.

10. Іваненко В. С., Бризгалов М. В. Розробка та впровадження інструкцій з охорони праці на підприємствах аграрного профілю // Інформаційно-психологічна та техногенна безпека: історичні аспекти, особливості захисту суспільства та особистості : тези доповідей за результатами тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 9 грудня 2022 р. Миколаїв : МНАУ, 2022. С. 20-23. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12067.

11. Курепін В. М., Зубєхіна-Хайят О. В. Механізми антикризового управління як основа адаптації бізнесу до турбулентного середовища. Modern Economics. 2025. № 54(2025). С. 95-103. DOI:https://doi.org/10.31521/modecon.V54(2025)-13.

УДК 621.039.564

ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ ЩІЛЬНОСТІ НЕЙТРОННОГО ПОТОКУ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ РЕАКТОРІВ

Єгор Гордієнко

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

До інформаційних функцій системи управління та захисту відносяться вимірювання потужності, що виділяється в активній зоні, та вимірювання швидкості її зміни в період, за який потужність реактора збільшується або зменшується у 2,71 рази. Виміряне значення потужності використовується для управління та захисту ректора.

Розрізняють поняття теплової та нейтронної потужності реактора. Нейтронну потужність реактора (щільність потоку нейтронів) вимірюють за допомогою датчиків, які в ядерній техніці звуться детекторами, однак використовуються і такі терміни, як камери і лічильники.

Існують два способи розташування детекторів щодо активної зони реактора.

При використанні позареакторного способу детектори розташовуються за межами активної зони реактора по його периметру та на різній висоті. Це дозволяє виключити або зробити зневажливо малим вигоряння їх чутливих елементів, оскільки щільність потоку нейтронів при такому розташуванні на три-чотири порядки нижче, ніж в активній зоні. Подібна установка детекторів вимагає їхнього калібрування, для чого використовуються методи обчислення теплової потужності реактора. Однак такий «класичний» спосіб розташування детекторів для реакторів з фізично великими активними зонами може виявитися недостатнім для безпечної експлуатації реактора у разі локальних сплесків потужності за обсягом активної зони, затінювання окремих її ділянок різними конструктивними елементами тощо. Тому використовують і внутрішньореакторний спосіб розташування детекторів, сигнали яких також є характеристиками енерговиділення в активній зоні.

Безперервний внутрішньореакторний контроль просторово-розподілених параметрів реактора є одним із найважливіших завдань його безпечної та надійної експлуатації. Сигнал внутрішньореакторного детектора залежить від місця розташування в активній зоні і конструктивних особливостей реактора, а отже, не може бути з достатньою достовірністю інтерпретований як

щільність потоку нейтронів або інтенсивність γ-випромінювання в місці його розташування в активній зоні. На величину сигналу впливають енерговиділення сусідніх елементів активної зони, ступінь вигоряння чутливого елемента, ряд інших факторів. Тому сигнал детектора представляє певну усереднену інформацію з енерговиділення в деякій частині активної зони.

Детектори внутрішньореакторного контролю використовуються в системах управління та захисту, а саме в системах контролю нейтронного потоку, які традиційно називають апаратурою контролю нейтронного потоку (АКНП).

Детектори, що використовуються в АКНП, розташовуються поза реактором у підвісках, які всередині вакуумуються або заповнюються інертним газом, щоб забезпечити необхідну електричну ізоляцію в жорстких умовах роботи. Підвіски поміщаються у спеціальних каналах біологічного захисту реактора та охолоджуються, щоб забезпечити нормальну роботу детекторів. Підйомно-опускні пристрої дозволяють встановлювати детектори навпроти потрібної частини активної зони реактора. Детектори розміщують поблизу активної зони, компенсуючи висотну та азимутальну неоднорідність щільності потоку нейтронів.

Таке використання детекторів контролю щільності потоку нейтронів має низку особливостей:

1. Неможливість безпосереднього вимірювання потоку нейтронів через відсутність в них електричного заряду.
2. Необхідність одержання відносно великої амплітуди напруги електричного сигналу для реалізації контролю та управління ядерним реактором.
3. Необхідність практичної безінерційності контролю.
4. Необхідність забезпечення пропорційності інформативного параметра електричного сигналу контрольованої густини потоку нейтронів за наявності великого діапазону зміни густини та вимог до стабільності характеристик.
5. Необхідність забезпечення високої надійності роботи детекторів в умовах високої інтенсивності випромінювання та впливу зовнішніх факторів (температура, вологість, хімічно агресивні середовища тощо).
6. Фактичний вимір детекторами нейтронів витоку внаслідок їхнього розташування навколо реактора, що не завжди дає однозначну відповідність між показаннями детекторів та тепловою потужністю реактора.

Неможливість підтримки оптимального розподілу енерговиділення за обсягом активної зони, що забезпечує безпечну експлуатацію реактора у поєднанні з максимальною економічністю.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 3956-2000. Технічні засоби вимірювання та керування в промислових процесах. – Ч. 1: Основні поняття. Терміни визначення, 2000.

2. IEC 61226. Nuclear power plants – Instrumentation and control for systems important to safety – Classification. 2005.

3. ДСТУ 3451-96. Технічні засоби для розподілених автоматизованих систем керування технологічними процесами. Загальні вимоги до спряження виробів, 1996.

УДК 621.926.2:539.4

МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ РОТОРА, ПОДРІБНЮВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ВІБРОІЗОЛЮВАЛЬНИХ ОПОР ЗЕРНОДРОБАРКИ РОТОРНО-ДЕКОВОГО ТИПУ

Олена Баранова

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Енергозатрати на подрібнення фуражного зерна є ключовою складовою енерговитрат у технологічному процесі виробництва комбікорму, а конструкції зернодробарок, що застосовуються в агропромисловому комплексі, нерідко характеризуються високою енергоємністю, металоємністю та

інтенсивним зносом робочих органів [1]. Для малих господарств, які виробляють корми для власних ферм, надійність і довговічність обладнання є не менш важливими, ніж його продуктивність. Тому проєктування вузлів дробарки має спиратися на розрахунок, що враховує реальні, а не умовні навантаження.

Аналіз публікацій. У дослідженнях з подрібнення зерна енергоефективність пов'язують із оптимізацією режимів та конструктивних параметрів, а також із властивостями сировини: вологість, структура й механічні властивості зерна істотно впливають на енерговитрати та механізм руйнування [2]. Моделі енергетичного балансу молоткових дробарок дозволяють прогнозувати витрати енергії та вихід цільової фракції [3, 4]. Для підвищення зносостійкості робочих елементів пропонуються матеріали із твердими вставками й покриттями [5]. Водночас у літературі менше уваги приділено сумісному розрахунку навантаженості, втоми та зношування вузлів дробарки як єдиної механічної системи, що й визначає мету цієї роботи: запропонувати модельну послідовність розрахунку вдосконаленого конструктивного рішення.

Розглядається зернодробарка, у якій ротор із подрібнювальними елементами зі скошеною кромкою обертається в робочій камері, поділеній на чотири сектори: завантаження, першої деки, решета та другої деки (рис. 1). Подрібнення відбувається внаслідок багаторазового удару й стирання зерна між ротором і пасивними органами – декою та решетом; на кожній деці встановлено вібратор для запобігання налипанню матеріалу, а корпус з'єднано з рамою амортизаторами [1]. Елемент має довжину 100–110 мм, ширину 40 мм, товщину 5–7 мм і отвір діаметром 10 мм для осі підвісу.

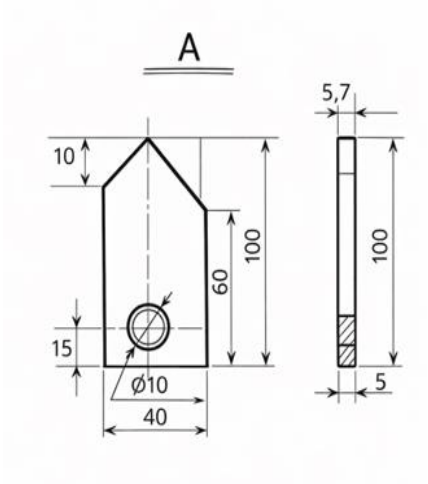


Рис. 1. Подрібнювальний елемент, розміри в мм (за [1])

У вузлі діють чотири групи навантажень. Перша – відцентрова сила від обертання елемента, яка розтягує його і навантажує вісь підвісу:

$$F_ц = m \cdot \omega^2 \cdot r, \quad \omega = \pi \cdot n / 30, \tag{1}$$

де m – маса елемента, ω – кутова швидкість ротора, n – частота обертання, r – відстань центра мас до осі обертання. Друга – ударна сила в момент контакту з частинкою зерна. З теореми про зміну кількості руху середню силу удару можна оцінити як

$$F_{уд} = (1 + k) \cdot m_ч \cdot v_в / \tau, \tag{2}$$

де k – коефіцієнт відновлення, $m_ч$ – маса частинки, $v_в$ – швидкість зустрічі, τ – тривалість контакту. Третя – реакції від заклинювання великих частинок між елементами та декою. Четверта – інерційні сили від неврівноваженості ротора, що передаються на підшипники та раму.

Ілюстративний розрахунок. Для сталевого елемента завдовжки 100 мм, завширшки 40 мм і завтовшки 5 мм маса, з урахуванням отвору, становить близько 0,15 кг. Приймаючи r = 0,2 м і n = 2850 хв$^{-1}$ (ω ≈ 298 рад/с), отримуємо $F_ц$ ≈ 2,8 кН, а колову швидкість кромки близько 60 м/с. Ці значення залежать від розмірів реального ротора й підлягають уточненню.

Модель напруженності та втоми. Найбільш небезпечним є переріз елемента біля отвору підвісу. Номінальне напруження в мінімальному перерізі та максимальне напруження з урахуванням концентрації:

$$\sigma_{ном} = F / [(b - d) \cdot s], \quad \sigma_{max} = K_t \cdot \sigma_{ном}, \tag{3}$$

де b – ширина елемента, d – діаметр отвору, s – товщина, K_t – теоретичний коефіцієнт концентрації напружень [6]. Для наведених розмірів площа мінімального перерізу становить 150 мм², тому від однієї лише відцентрової сили $\sigma_{ном} \approx 19$ МПа; для отвору, навантаженого через вісь, значення K_t зазвичай більше, ніж для вільного отвору, і його уточнюють методом скінченних елементів. Додавання ударної складової збільшує амплітуду напружень і визначає втомну довговічність.

Ресурс оцінюють за кривою втоми та гіпотезою лінійного нагромадження пошкоджень [7]:

$$\sigma_a^m \cdot N = C, \quad D = \Sigma\, n_i / N_i, \tag{4}$$

де σ_a – амплітуда напружень, N – число циклів до руйнування, m і C – параметри кривої втоми матеріалу, n_i – кількість циклів на і-му рівні спектра, N_i – кількість циклів до руйнування на цьому рівні; руйнування прогнозують при $D \to 1$. Спектр $\{\sigma_i, n_i\}$ отримують, виділяючи цикли з випадкової послідовності ударів (метод дощового потоку). Оскільки подача, розмір і вологість зерна змінюються, параметри цього спектра розглядають як випадкові, а ресурс подають функцією надійності.

Зношування кромки та віброізоляція. Абразивне зношування скошеної кромки описують залежністю Арчарда [8]:

$$V = k_з \cdot F_N \cdot L / H, \tag{5}$$

де V – об’єм зношеного матеріалу, $k_з$ – коефіцієнт зношування, F_N – нормальна сила, L – шлях тертя, H – твердість поверхні. Зі зростанням n шлях тертя за одиницю часу збільшується, а підвищення твердості (вставки, покриття) зменшує інтенсивність зносу [5]. Зношена кромка зменшує площу контакту із зерном і ефективність руйнування, тому питомі витрати енергії зростають; це встановлює зв’язок між довговічністю деталі та енергоефективністю процесу.

Корпус зернодробарки на амортизаторах розглядають як систему з одним ступенем вільності з власною частотою $\omega_0 = \sqrt{(k/M)}$. Коефіцієнт передачі сили на раму за гармонічного збурення з частотою ω становить [9]:

$$T = \sqrt{[\,(1 + (2\zeta r)^2) / ((1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2)\,]}, \quad r = \omega / \omega_0, \tag{6}$$

де ζ – коефіцієнт демпфування. Віброізоляція досягається, коли $r > \sqrt{2}$, тобто власна частота системи помітно нижча за частоту обертання ротора; режими розгону й вибігу, під час яких система проходить через резонанс, мають бути швидкими або демпфованими. Зменшення динамічних сил, що передаються на раму, зменшує навантаження на підшипники, ресурс яких за ISO 281 $L_{10} = (C/P)^p$ мільйонів обертів, де C – динамічна вантажопідйомність, P – еквівалентне навантаження, p = 3 для кулькових підшипників [6].

Структуру моделі подано на рис. 2.

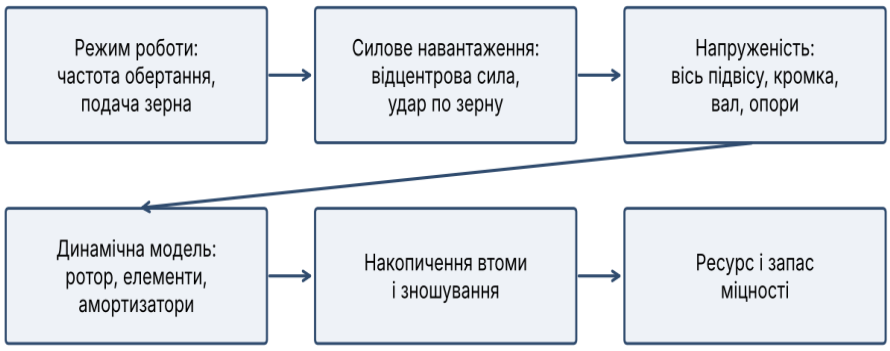


Рис. 2. Структура моделі навантаженості та довговічності вузлів зернодробарки (схема розроблена авторами)

Адекватність моделі перевіряють вимірюваннями на фізичному зразку: тензометруванням осі підвісу, вимірюванням прискорень корпусу, споживаної потужності й зносу кромки за наробітком. Збільшення кількості елементів на роторі підвищує густину ударної дії, але збільшує масу ротора, інерційні навантаження на амортизатори й ризик заклинювання частинок [1], тому ця залежність є одним із напрямів чисельного дослідження. Для курсу «Деталі машин» пропонується послідовність завдань, що відповідає етапам моделі (табл. 1).

Таблиця 1. Завдання для дисципліни «Деталі машин» за етапами моделі

Етап	Завдання здобувача	Результат
Навантаження	Розрахувати $F_ц$ та $F_{уд}$ для заданих n, r, m	Розрахункові сили
Напруженість	Визначити $\sigma_{ном}$ і σ_{max} біля отво алітично та МСЕ)	K_t, запас міцності
Довговічність	Побудувати спектр, розрахувати D урс, L_{10} підшипників	Ресурс елемента й опор
Віброізоляція	Підібрати амортизатори за $r > \sqrt{2}$	Коефіцієнт передачі T
Верифікація	Порівняти з вимірюваннями	Висновок про адекватність

Висновки. 1) Розрахунок вузлів зернодробарки доцільно виконувати на основі моделі навантаженості, що враховує відцентрову й ударну складові та випадковий характер ударів. 2) Найбільш напруженим є переріз біля отвору підвісу елемента; його оцінюють через коефіцієнт концентрації напружень, а довговічність – через спектр амплітуд і гіпотезу лінійного нагромадження пошкоджень. 3) Зношування кромки та вібрація пов’язані з енергоефективністю процесу, тому розрахунок на довговічність і розрахунок енергоємності слід розглядати спільно. 4) Запропоновані завдання можуть бути використані в розрахунково-графічних роботах з деталей машин.

Список використаних джерел

1. Доценко Н. А., Горбенко О. А., Садовий О. С., Баранова О. В. Проєктування енергоефективного обладнання для подрібнення фуражного зерна для комбікормового виробництва з оптимізацією конструкційних і технологічних параметрів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2026. Вип. 56. С. 243–255.

2. Kalandarov P., Khayitov A., Sharifov H., Murodova G. Study on the effect of grain moisture on grinding efficiency. E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 497. Art. 03025.

3. Castillo Alvarez Y., Jiménez Borges R., Monteagudo Yanes J. P. et al. Mathematical model to improve energy efficiency in hammer mills in feed industry. Processes. 2025. Vol. 13, no. 5. Art. 1523.

4. Al-Eid M., Qabatty A., Kubaisi R., Jaafar A. A. K. Optimization of key operating parameters to enhance performance and energy efficiency of a hammer mill for corn grinding. Discover Applied Sciences. 2025. Vol. 7. Art. 639.

5. Wen Z.-P., Zhou Y.-M., Zhang F.-L., Zhang G.-X., Luo S.-M. A novel method for improving milling efficiency and wear resistance of mill hammer with orderly brazed diamond grains. Biomass Conversion and Biorefinery. 2024.

6. Budynas R. G., Nisbett J. K. Shigley’s Mechanical Engineering Design. 11th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2020.

7. ISO 281:2007. Rolling bearings - Dynamic load ratings and rating life. Geneva : International Organization for Standardization, 2007.

8. Miner M. A. Cumulative damage in fatigue. Journal of Applied Mechanics. 1945. Vol. 12, no. 3. P. A159–A164.

9. Archard J. F. Contact and rubbing of flat surfaces. Journal of Applied Physics. 1953. Vol. 24, no. 8. P. 981–988.

10. Rao S. S. Mechanical Vibrations. 6th ed. Hoboken : Pearson, 2017.

УДК: 664.788:631.363

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ КОМБІКОРМОВОГО ВИРОБНИЦТВА МАЛИХ ФОРМ ВЛАСНОСТІ З УРАХУВАННЯМ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПОДРІБНЕННЯ ТА ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПРОДУКТУ

Олена Горбенко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна,

Підприємства малих форм власності, що виробляють комбікорми для власних ферм, експлуатують спрощені технологічні лінії: приймання й очищення зерна, дозування компонентів, подрібнення, змішування та відвантаження. Основну частку електроенергії споживає подрібнення, а гранулометричний склад подрібненого зерна визначає однорідність суміші та якість комбікорму [1]. Режими окремих апаратів зазвичай призначають за довідковими даними, не враховуючи їхньої взаємодії в складі лінії, що призводить до недовантаження обладнання, простоїв і підвищених питомих витрат енергії.

Аналіз публікацій. Енергетичні моделі подрібнення дозволяють прогнозувати розподіл частинок за розмірами та знаходити надлишкові витрати енергії [2, 3]; вологість зерна впливає на енерговитрати та механізм руйнування [4]; оптимізація режимних параметрів молоткових дробарок підвищує продуктивність і зменшує енергоємність [5]. Разом із тим питання узгодження режиму дробарки з організацією всієї лінії розглядається рідше. Мета роботи – запропонувати модель, що поєднує рівні апарата та лінії.

Структуру лінії та рівні моделювання показано на рис. 1. Центральним апаратом є зернодробарка з ротором і подрібнювальними елементами зі скошеною кромкою, чотирисекторною камерою (завантаження, перша дека, решето, друга дека) та поверненням недоподрібнених частинок на повторну обробку [5].

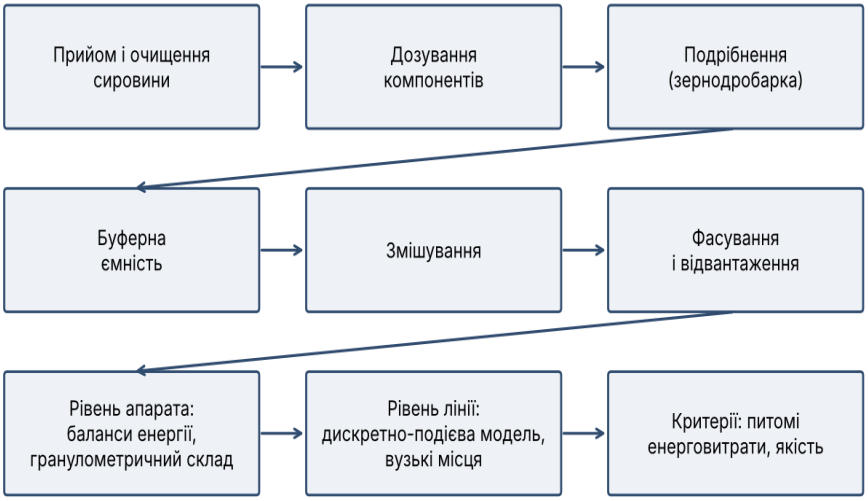


Рис. 1. Технологічна лінія та рівні моделювання (схема розроблена авторами)

На рівні апарата застосовують баланс мас і енергії. Для безперервного режиму

$$G_{вх} = G_г + G_п + dM / dt, \quad W = P / Q, \tag{1}$$

де $G_{вх}$ – подача матеріалу, $G_г$ – потік готової фракції, $G_п$ – потік, що повертається на повторне подрібнення, M – маса матеріалу в камері, W – питомі енерговитрати (кВт·год/т), P – споживана потужність (кВт), Q – продуктивність за готовою фракцією (т/год). Зв’язок енергії зі зменшенням розміру частинок оцінюють за залежністю Бонда [6]:

$$E = 10\, W_i \cdot (1/\sqrt{P_{80}} - 1/\sqrt{F_{80}}), \tag{2}$$

де W_i – робочий індекс Бонда, F_{80} і P_{80} – розміри, через які проходить 80 % маси вихідного й подрібненого матеріалу, мкм.

Розподіл частинок за розмірами описують законом Розіна-Раммлера [7] і характеризують модулем помелу:

$$R(d) = exp[-(d / d_e)^m], \quad M_n = \Sigma\, d_i\, m_i / \Sigma\, m_i, \tag{3}$$

де R(d) – частка матеріалу, що залишається на сіті з розміром отвору d, d_e та m – параметри розподілу, d_i – середній розмір i-ї фракції, m_i – її маса. Стан сировини, насамперед вологість, змінює параметри W_i та d_e [4].

Залежність показників дробарки від подачі, за розрахунковою моделлю [5], має вигляд, наведений на рис. 2: продуктивність за готовою фракцією зростає майже пропорційно подачі, досягає максимуму в зоні q ≈ 500–520 кг/год і далі зменшується через перевантаження сектора решета та ефект «подушки»; питомі витрати W мають мінімум (3,75–3,85 кВт·год/т) у діапазоні 480–520 кг/год, що для Q ≈ 0,44 т/год відповідає потужності P = W·Q ≈ 1,7 кВт. Графік у [5] побудовано за розрахунковою моделлю з умовними точками для ілюстрації, тому ці значення потребують експериментальної перевірки.

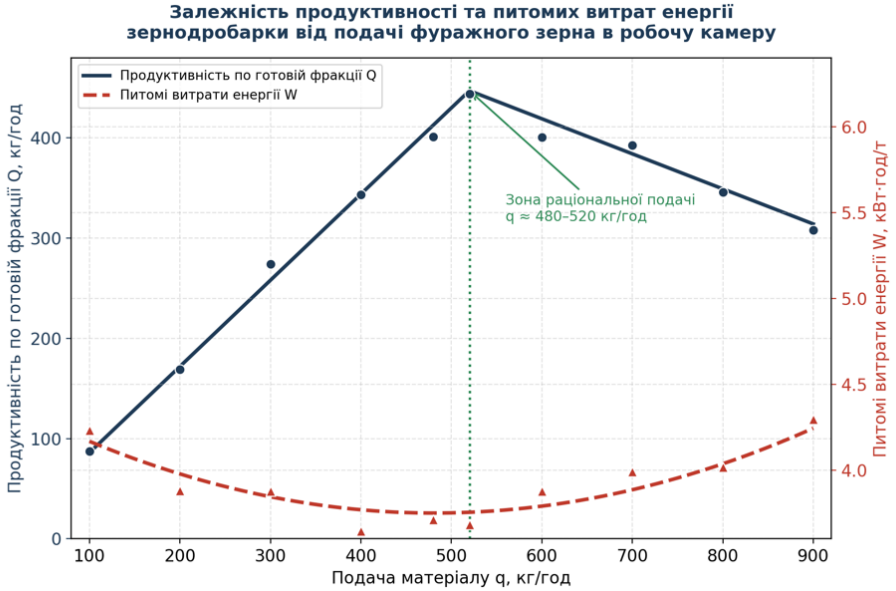


Рис. 2. Залежності продуктивності Q та питомих витрат енергії W від подачі q (за [5])

Імітаційна модель лінії. Рівень лінії описують дискретно-подієвою моделлю [8], у якій кожен апарат подано подією з певною тривалістю й можливістю відмови; вхідними є інтенсивність надходження сировини, продуктивність апаратів, місткість буфера та правила керування. Пропускна здатність послідовної лінії обмежується найменшою ефективною продуктивністю апарата:

$$Q_{лін} = min(Q_j \cdot K_{г,j}), \quad K_г = T_0 / (T_0 + T_в), \tag{4}$$

де Q_j – номінальна продуктивність j-го апарата, $K_{г,j}$ – коефіцієнт готовності, T_0 – наробіток на відмову, $T_в$ – середній час відновлення. Для контролю імітації використовують аналітичні співвідношення теорії масового обслуговування – формулу Літтла та коефіцієнт завантаження:

$$L = \lambda \cdot W_ч, \quad \rho = \lambda / (c \cdot \mu), \tag{5}$$

де L – середня кількість одиниць у системі, λ – інтенсивність потоку, $W_ч$ – середній час перебування, c – кількість однакових апаратів, μ – інтенсивність обслуговування. При ρ → 1 черги зростають нелінійно, що пояснює, чому лінія зі «збалансованими» за середніми значеннями апаратами працює нижче розрахункової потужності. Загальну ефективність обладнання оцінюють показником OEE = A·P·Y, де A – готовність, P – продуктивність, Y – якість. Модель дозволяє виявити вузькі місця: якщо продуктивність змішувача нижча, ніж дробарки, буферна ємність

заповнюється, дробарка блокується і її завантаження падає; якщо ж подача мала, вона працює в зоні недовантаження з підвищеними питомими витратами (рис. 2).

Оптимізація режиму лінії. Питомі енерговитрати лінії та задачу оптимізації формалізують таким чином:

$$W_{лін} = \Sigma P_j t_j / M_n, \quad W_{лін} \rightarrow min \ \ за \ \ M_n \in [M_{min}, M_{max}], \ \ Q_{лін} \geq Q_{min}, \qquad (6)$$

де P_j і t_j – потужність і час роботи j-го апарата за зміну, $M_п$ – маса виробленого продукту; обмеження за модулем помелу відображають вимоги до гранулометричного складу, а $Q_{лін}$ – до пропускної здатності. Змінними є подача, частота обертання ротора, кількість елементів на роторі, місткість буфера та послідовність виконання партій. Результат перевіряють на чутливість до коливань вологості та складу сировини й порівнюють із даними роботи реальної лінії за зміну. Для малого підприємства важливий економічний ефект: зменшення $W_{лін}$ знижує собівартість корму, а збільшення ресурсу робочих органів – витрати на їх заміну.

Сформовано цикл із трьох завдань: (1) розрахувати баланс мас і енергії, модуль помелу й питомі енерговитрати для заданого режиму дробарки; (2) побудувати спрощену імітаційну модель лінії та знайти вузьке місце; (3) обґрунтувати режим і розмір буфера за мінімумом $W_{лін}$ з обмеженнями.

Висновки. 1) Дворівнева модель – апарат і лінія – дозволяє узгодити режим подрібнення з організацією всієї технологічної лінії малого комбікормового підприємства. 2) За розрахунковою моделлю режим дробарки доцільно підтримувати у проміжній зоні подачі, де продуктивність найвища, а питомі енерговитрати найнижчі; це положення потребує експериментальної перевірки. 3) Імітаційний рівень виявляє вузькі місця та дозволяє обґрунтувати місткість буфера до придбання обладнання. 4) Запропонований цикл завдань придатний для практичних занять і курсового проєктування.

Список використаних джерел

1. Elbendari A. M., Ibrahim S. S. Optimizing key parameters for grinding energy efficiency and modeling of particle size distribution in a stirred ball mill. Scientific Reports. 2025. Vol. 15. Art. 3374.

2. Martelli S., Di Nunzio P. E. Powder ball milling: An energy balance approach to particle size reduction. arXiv. 2024. arXiv:2409.20202.

3. Castillo Alvarez Y., Jiménez Borges R., Monteagudo Yanes J. P. et al. Mathematical model to improve energy efficiency in hammer mills in feed industry. Processes. 2025. Vol. 13, no. 5. Art. 1523.

4. Kalandarov P., Khayitov A., Sharifov H., Murodova G. Study on the effect of grain moisture on grinding efficiency. E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 497. Art. 03025.

5. Доценко Н. А., Горбенко О. А., Садовий О. С., Баранова О. В. Проєктування енергоефективного обладнання для подрібнення фуражного зерна для комбікормового виробництва з оптимізацією конструкційних і технологічних параметрів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2026. Вип. 56. С. 243–255.

6. Bond F. C. The third theory of comminution. Transactions of AIME. 1952. Vol. 193. P. 484–494.

7. Rosin P., Rammler E. The laws governing the fineness of powdered coal. Journal of the Institute of Fuel. 1933. Vol. 7. P. 29–36.

8. Law A. M. Simulation Modeling and Analysis. 5th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2015.

УДК: 631.363:519.876.5

СИСТЕМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ КОНСТРУЮВАННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЗЕРНОДРОБАРОК: СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ РОБОЧОЇ КАМЕРИ ТА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР ПАРАМЕТРІВ

Наталія Доценко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Конструктивні рішення обладнання для подрібнення фуражного зерна мають забезпечувати високу якість подрібнення за мінімальних витрат електроенергії; водночас існуючі молоткові

дробарки часто мають значну питому енергоємність, інтенсивно зношуються і дають недостатньо однорідний гранулометричний склад [1]. Експериментальний пошук раціональних параметрів перебором потребує великої кількості дослідів і дає результати для однієї сировини. Тому на етапі конструювання застосовують моделі, що дозволяють відсіяти слабкі варіанти до виготовлення зразка.

Аналіз публікацій. Математичні моделі енергетичного балансу молоткових дробарок дозволяють прогнозувати енерговитрати й розподіл частинок за розмірами [2]; оптимізація ключових режимних параметрів дробарки для зерна кукурудзи підвищує продуктивність і зменшує енергоємність [3]; вологість зерна змінює енерговитрати подрібнення та механізм руйнування [4]. Разом із тим бракує робіт, що поєднують конструктивну схему камери, параметричну модель і планування експерименту в єдину методику конструювання.

Структурно-функціональна модель камери. Розглядається вдосконалена зернодробарка з ротором, подрібнювальними елементами зі скошеною кромкою, двома деками, решетом, вібраторами та амортизаторами (рис. 1, розріз ротора) [1]. Робочу камеру поділено на чотири функціональні сектори: завантаження (I), першої деки (II), решета (III) та другої деки (IV). У секторі I зерно отримує первинний ударний імпульс від ротора; у секторі II відбувається інтенсивна взаємодія активного органа (ротора) з пасивним (декою), що поєднує удар зі стиранням; у секторі III частинки заданої крупності проходять через решето, а великі повертаються на повторне подрібнення; у секторі IV матеріал доподрібнюється. Вібратори на деках зменшують налипання, а амортизатори відокремлюють динамічні навантаження від рами. Такий опис задає перелік елементів і зв’язків для подальших розрахункових схем.

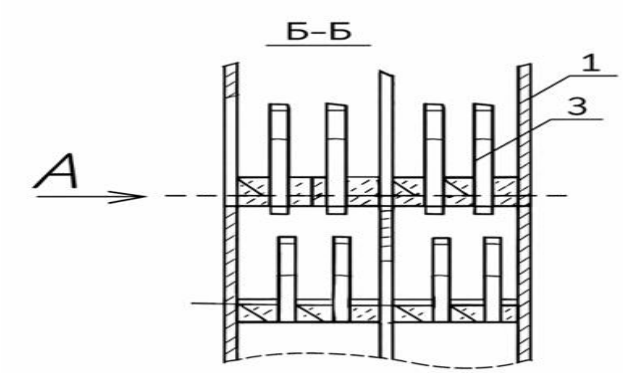


Рис. 1. Ротор із подрібнювальними елементами, розріз Ь–Ь (за [1])

Параметрична модель. Як основні чинники прийнято частоту обертання ротора n, кількість подрібнювальних елементів z і подачу матеріалу q; вихідними характеристиками є продуктивність за готовою фракцією Q та питомі витрати електроенергії W. Кінетична енергія кромки елемента та її колова швидкість визначаються як

$$E_к = m\,v^2/2,\ v = \pi\,D\,n/60, \qquad (1)$$

де m – маса елемента, D – діаметр ротора за кромками. Для ілюстрації при D = 0,4 м і n = 2850 хв$^{-1}$ швидкість v ≈ 60 м/с, а для елемента масою 0,15 кг $E_к$ ≈ 270 Дж. Питомі енерговитрати зв’язують зі споживаною потужністю P:

$$W = P/Q, \qquad (2)$$

де W – у кВт·год/т, P – у кВт, Q – у т/год. Фізичну логіку залежностей Q і W за кожним чинником можна пояснити якісно. Зі збільшенням n зростає енергія удару, але надмірна частота веде до перемелювання, зростання аеродинамічного опору та динамічних навантажень. Збільшення z підвищує густину ударної дії, проте за великих значень відбувається взаємне екранування елементів, зростає маса ротора й ризик заклинювання. Подача q спочатку пропорційно збільшує Q, а після насичення сектора решета ефективність удару знижується через «подушку» нерухомого матеріалу; питомі витрати W мають мінімум у середній зоні подачі [1]. Тому залежності мають екстремальний характер.

Планування експерименту та поверхня відгуку. Для опису екстремальних залежностей застосовують поліном другого порядку в кодованих змінних [5]:

$$x_i = (X_i - X_{i0}) / \Delta X_i, \quad y = b_0 + \Sigma\, b_i x_i + \Sigma\, b_{ij} x_i x_j + \Sigma\, b_{ii} x_i^2, \qquad (3)$$

де X_{i0} – основний рівень, ΔX_i – інтервал варіювання чинника, b – коефіцієнти регресії. Для трьох факторів використовують план Бокса–Бенкена [6], кількість дослідів якого

$$N = 2k(k - 1) + n_0, \qquad (4)$$

де k – кількість факторів, n_0 – кількість дослідів у центрі плану; за k = 3 і n_0 = 3 маємо N = 15. Адекватність моделі перевіряють за коефіцієнтом детермінації та критерієм Фішера $F = MS_{модель} / MS_{залишок}$, а також за відсутністю значущої незбіжності моделі (lack of fit). Точка екстремуму за одним чинником за незначних взаємодій визначається як $x_i^* = -b_i / (2b_{ii})$.

Для розглянутої конструкції розрахункова модель [1] дає такі залежності (рис. 2, 3): продуктивність має максимум за частоти обертання близько 2850 хв$^{-1}$ і кількості елементів близько 30; відповідні раціональні діапазони – n ≈ 2600–3100 хв$^{-1}$ та z ≈ 28–34. Графіки в [1] побудовано за розрахунковою моделлю з умовними точками для ілюстрації, тому наведені значення слід розглядати як гіпотези для експериментальної перевірки.

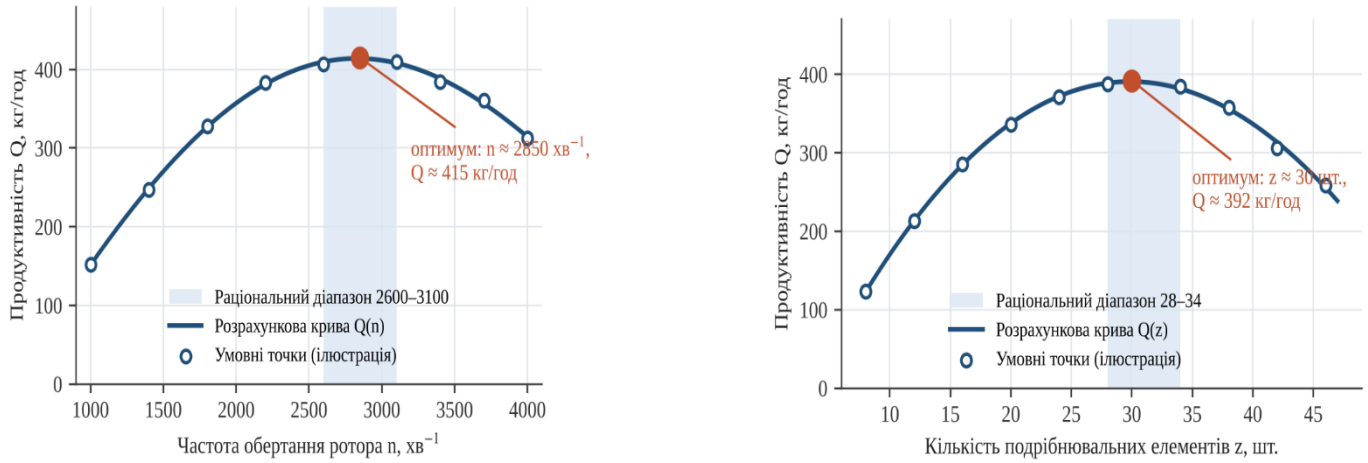


Рис. 2. Залежність продуктивності Q від частоти обертання ротора n; рис. 3 – від кількості подрібнювальних елементів z (розрахункові криві за [1], умовні точки для ілюстрації)

Багатокритеріальний вибір параметрів. Показники Q і W суперечливі: максимум продуктивності та мінімум енерговитрат за подачею досягаються за різних значень q (рис. 4). За розрахунком [1], максимум Q спостерігається за q ≈ 500-520 кг/год, а мінімум W – у діапазоні 480-520 кг/год, і в раціональній зоні W ≈ 3,75-3,85 кВт·год/т; для Q ≈ 0,44 т/год це відповідає P = W·Q ≈ 1,7 кВт. Для узгодження показників використовують функцію бажаності Дерринджера-Січа [7]: кожну характеристику перетворюють у $d_j \in [0, 1]$,

$$d_j = ((y_j - y_{min})/(y_{max} - y_{min}))^s, \quad D = (\Pi\, d_j)^{\wedge}(1/m), \qquad (5)$$

де s – показник, що задає важливість, а D – узагальнена бажаність (для показника, який треба мінімізувати, $d_j = ((y_{max} - y_j)/(y_{max} - y_{min}))^s$). Режим вибирають за максимумом D з обмеженнями на потужність привода, гранулометричний склад і вібрацію. Альтернатива – множина Парето.

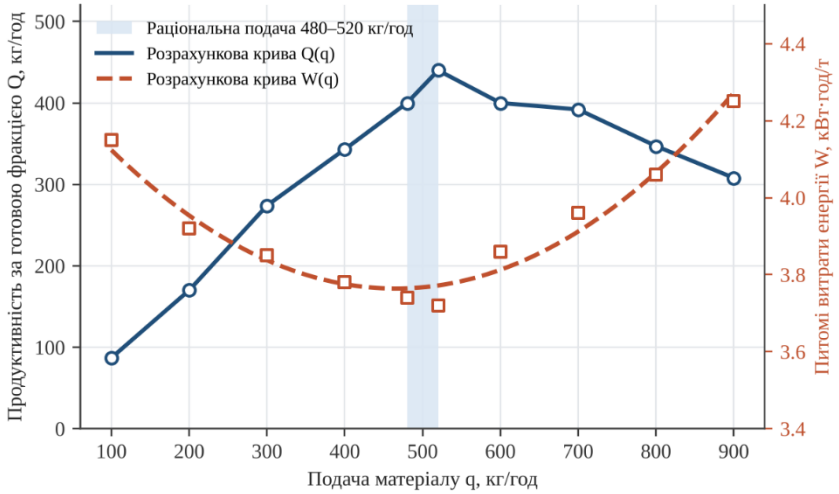


Рис. 4. Залежності продуктивності за готовою фракцією Q та питомих витрат енергії W від подачі матеріалу q (розрахункові криві за [1], умовні точки для ілюстрації)

Наукова новизна та значущість дослідження. Запропоновано методику конструювання зернодробарки роторно-декового типу, у якій структурно-функціональний опис чотирисекторної камери поєднано з параметричною моделлю (n, z, q → Q, W), планом Бокса-Бенкена та узагальненою функцією бажаності. На відміну від робіт, де аналізуються окремі режимні параметри [2-4], вибір конструктивних і режимних параметрів виконується в єдиній процедурі з урахуванням суперечливих критеріїв продуктивності та енергоємності. Пояснено фізичні механізми, що зумовлюють екстремальний характер залежностей Q і W за кожним із трьох чинників, і обґрунтовано розрахункові діапазони раціональних параметрів (n ≈ 2600–3100 хв$^{-1}$, z ≈ 28–34, q ≈ 480–520 кг/год), які визначають програму подальшого експерименту.

Сильні сторони та практична значущість. Конструктивна схема за [1] поєднує ротор зі скошеними подрібнювальними елементами, дві деки, решето, вібратори й амортизатори, що спрямовано на збільшення площі контакту із зерном, зменшення налипання матеріалу та динамічних навантажень на конструкцію. Методика є економною за обсягом досліджень: для трьох чинників достатньо 15 дослідів, а розрахункові діапазони дозволяють зосередити експеримент у зоні оптимуму. Результати придатні для малих і середніх господарств, що виробляють комбікорм для власних потреб, а також для використання в курсовому проєктуванні. Обмеження: числові значення мають розрахунковий характер і потребують підтвердження на дослідному зразку.

Висновки: 1) Структурно-функціональний опис камери та параметрична модель дозволяють зв’язати конструктивні й режимні параметри зернодробарки з продуктивністю та енергоємністю. 2) Залежності Q і W від n, z і q мають екстремальний характер, що описується поліномом другого порядку, для трьох чинників достатньо плану Бокса-Бенкена з 15 дослідів. 3) Узгодження суперечливих критеріїв доцільно виконувати за узагальненою функцією бажаності з обмеженнями.

Список використаних джерел

1. Доценко Н. А., Горбенко О. А., Садовий О. С., Баранова О. В. Проєктування енергоефективного обладнання для подрібнення фуражного зерна для комбікормового виробництва з оптимізацією конструкційних і технологічних параметрів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2026. Вип. 56. С. 243–255.

2. Castillo Alvarez Y., Jiménez Borges R., Monteagudo Yanes J. P. et al. Mathematical model to improve energy efficiency in hammer mills in feed industry. Processes. 2025. Vol. 13, No. 5. Art. 1523.

3. Al-Eid M., Qabatty A., Kubaisi R., Jaafar A. A. K. Optimization of key operating parameters to enhance performance and energy efficiency of a hammer mill for corn grinding. Discover Applied Sciences. 2025. Vol. 7. Art. 639.

4. Kalandarov P., Khayitov A., Sharifov H., Murodova G. Study on the effect of grain moisture on grinding efficiency. E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 497. Art. 03025.

5. Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments. 9th ed. Hoboken: Wiley, 2017.
6. Box G. E. P., Behnken D. W. Some new three level designs for the study of quantitative variables. Technometrics. 1960. Vol. 2, No. 4. P. 455–475.
7. Derringer G., Suich R. Simultaneous optimization of several response variables. Journal of Quality Technology. 1980. Vol. 12, No. 4. P. 214–219.

УДК 517.927:519.6

МЕТОД ДВОБІЧНИХ НАБЛИЖЕНЬ У МОДЕЛЮВАННІ ПРОГИНУ КОНСОЛЬНОЇ МІКРОБАЛКИ ЗМІННОЇ ШИРИНИ

Антон Савченко
Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

Консольні балки є базовим елементом багатьох мікроелектромеханічних систем (МЕМС) – електростатичних актюаторів, резонансних сенсорів, зондів атомно-силових мікроскопів. Поряд із балками сталого прямокутного перерізу широко застосовують балки змінної ширини (звужені), оскільки така геометрія дозволяє керувати розподілом напружень уздовж балки, знижувати робочу напругу та підвищувати ефективність перетворення енергії [1].

Звужені мікробалки застосовують у низці пристроїв, одним з яких є п’єзоелектричні збирачі енергії: трапецієподібна (звужена) форма балки зменшує згинальну жорсткість, забезпечує більш рівномірний розподіл деформації та більшу щільність енергії на одиницю площі порівняно з прямокутною балкою, що підвищує вихідну потужність [1, 2]. Звужені балки використовують також в електростатичних мікроперемикачах і актюаторах, де зміна ширини є додатковим конструктивним параметром для керування напругою втягування: за умови меншої площі балки звуження дозволяє досягти низької робочої напруги [3]. Крім того, звужена геометрія характерна для зондів атомно-силових мікроскопів та резонансних датчиків маси, де вона впливає на чутливість і розподіл власних частот.

Математичне моделювання прогину балок з будь-яким із цих профілів приводить до крайової задачі для напівлінійного диференціального рівняння четвертого порядку зі змінними коефіцієнтами, що ускладнює її аналітичне й чисельне дослідження. Метою роботи є постановка крайової задачі про статичний прогин консольної балки МЕМС лінійно змінної ширини та обґрунтування застосовності до неї методу двобічних наближень.

Розглянемо консольну мікробалку довжиною L та товщиною h. Балка є рухомим електродом електростатичного актюатора, підвішеним над нерухомим електродом на відстані d. При прикладенні напруги V балка прогинається під дією електростатичної сили. Ширина балки є змінною (звуженою) і описується профілем $b(x)$ (рис. 1).

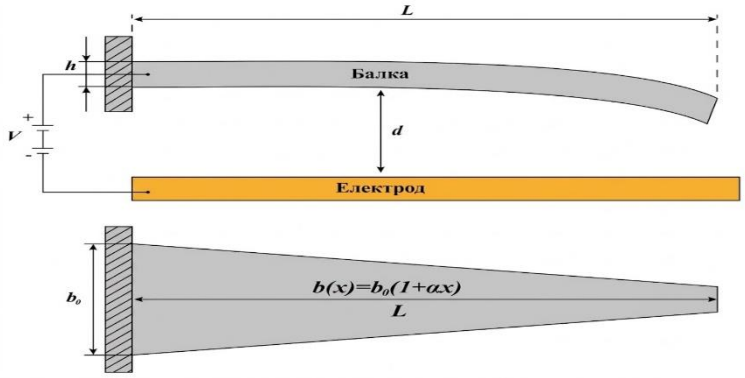


Рисунок 1 - Модель балки МЕМС зі змінною шириною

У літературі звужений профіль задають кількома способами [2, 3]. Найчастіше розглядають степеневу залежність

$$b(x) = b_0(1+\alpha x)^n,$$

де b_0 – ширина балки біля жорсткого закріплення (початкова ширина), α – параметр звуження, а показник n визначає характер зміни ширини. Наприклад, $n=1$ відповідає лінійному звуженню, $n=4$ – квартичному [3]. Застосовують також ступінчасту (трапецієподібну) апроксимацію змінної ширини [2].

Розглянемо випадок лінійно-звуженого профілю $b(x) = b_0(1+\alpha x)$. Тоді момент інерції перерізу та жорсткість на прогин лінійно залежать від координати і мають вигляд

$$EI(x) = EI_0(1+\alpha x),$$

де E – модуль Юнга матеріалу балки, а I_0 – початковий момент інерції перерізу.

Прогин описується рівнянням Ейлера-Бернуллі для балки змінної жорсткості, права частина якого (електростатична сила) також пропорційна ширині $b(x)$. Після переходу до безрозмірних величин приходимо до крайової задачі

$$\frac{d^2}{dx^2}\left((1+cx)\frac{d^2u}{dx^2}\right) = \frac{\lambda(1+cx)}{(1-u(x))^2}, \quad x\in(0,1), \quad (1)$$

$$u(0) = u'(0) = 0, \quad u''(1) = 0, \quad \left[(1+cx)u''\right]'(1) = 0, \quad (2)$$

де $u(x)$ – безрозмірний прогин балки, $c=\alpha L$ – безрозмірний параметр звуження ($c<0$ – звужена балка, $c>0$ – розширена, $c=0$ – рівномірна), а $\lambda = \dfrac{\varepsilon_0 b_0 V^2 L^4}{2EI_0 d^3}$ – коефіцієнт, пропорційний квадрату прикладеної напруги, де ε_0 – діелектрична стала. Крайові умови (2) відповідають жорсткому закріпленню лівого кінця та вільному правому кінцю, причому у виразах для згинального моменту та поперечної сили на вільному кінці враховано змінну жорсткість.

Принциповою особливістю задачі (1), (2) є змінний коефіцієнт $(1+cx)$ в операторі четвертого порядку, тоді як у класичних моделях МЕМС-балок цей коефіцієнт сталий [4, 5].

Теоретичним підґрунтям методу двобічних наближень є теорія нелінійних операторів у напівупорядкованих банахових просторах [6, 7]. Зведемо крайову задачу (1), (2) до еквівалентного інтегрального рівняння Гаммерштейна

$$u(x) = \int_0^1 G(x,s)\, f(s,u(s))\, ds, \quad (3)$$

де $f(s,u) = \dfrac{\lambda(1+cs)}{(1-u)^2}$, а $G(x,s)$ – функція Гріна оператора $\dfrac{d^2}{dx^2}\left((1+cx)\dfrac{d^2u}{dx^2}\right)$ з крайовими умовами (2).

Функція Гріна має вигляд [8]

$$G(x,s) = \begin{cases} \dfrac{1}{c^3}\left[\ell_x + cx(\ell_x - 1) + cs(\ell_x + cx(\ell_x - 1)) - \dfrac{c^2x^2}{2}\right], & 0 \le x \le s, \\ \dfrac{1}{c^3}\left[\ell_s + cs(\ell_s - 1) + cx(\ell_s + cx(\ell_s - 1)) - \dfrac{c^2s^2}{2}\right], & s \le x \le 1, \end{cases} \quad (4)$$

де $\ell_x = \ln(1+cx)$. Функція Гріна (4) є невід'ємною, а при $c \to 0$ переходить у відому функцію Гріна консольної балки сталого перерізу [4]. У [8] цю функцію застосовано лише до лінійних задач статичного згину балок під дією заданого зовнішнього навантаження, а нелінійні електростатичні задачі МЕМС цим підходом не розглядалися.

Рівняння (3) розглядатимемо у банаховому просторі $C[0,1]$ з нормою $\|u\| = \max\limits_{x\in[0,1]} |u(x)|$, у якому виділимо конус невід'ємних функцій $K_+ = \{u \in C[0,1] : u(x) \geq 0\}$.

Пов'яжемо з рівнянням (3) нелінійний інтегральний оператор T

$$(Tu)(x) = \int_0^1 G(x,s)\, f(s,u(s))ds$$

Функція $f(s,u)$ визначена при $0 \leq s \leq 1$, $0 \leq u < 1$, тому оператор T розглядатимемо на множині

$$D = \{u \in K_+ : \|u\| < 1\}.$$

Оскільки $G(x,s) \geq 0$, $1+cs > 0$ на $[0,1]$ при $c > -1$, а функція f неперервна, додатна й монотонно зростає за u при $0 \leq x, s \leq 1$, то оператор T відображає D у конус K_+ (є додатним) і є ізотонним на D: з $0 \leq u \leq v$, $u, v \in D$, випливає $Tu \leq Tv$. Крім того, на кожному конусному відрізку $<0, \rho>$, $0 < \rho < 1$, функція f обмежена й рівномірно неперервна, тому T на $<0, \rho>$ є цілком неперервним оператором.

Для оператора T побудуємо інваріантний конусний відрізок $<0, \beta>$. Оскільки $f(s,0) = \lambda(1+cs) > 0$, то умова інваріантності $T(<0,\beta>) \subset <0,\beta>$ зводиться до нерівності

$$\lambda M (1-\beta)^{-2} \leq \beta,$$

де

$$M = \max_{x\in[0,1]} \int_0^1 G(x,s)(1+cs)ds.$$

Звідси конусний відрізок існує за умови

$$\lambda \leq \frac{4}{27M}$$

причому за β обираємо найменший додатний корінь рівняння $\lambda M = \beta(1-\beta)^2$.

Початковими наближеннями візьмемо кінці конусного відрізка:

$$v^{(0)}(x) = 0, \quad w^{(0)}(x) = \beta,$$

і побудуємо дві послідовності

$$v^{(k+1)} = Tv^{(k)}, \quad w^{(k+1)} = Tw^{(k)}, \quad k = 0, 1, 2, \ldots.$$

Оскільки $Tv^{(0)} \geq v^{(0)}$ і $Tw^{(0)} \leq w^{(0)}$, а оператор T ізотонний, то маємо такий ланцюг нерівностей

$$0 = v^{(0)} \leq v^{(1)} \leq \ldots \leq v^{(k)} \leq \ldots \leq w^{(k)} \leq \ldots \leq w^{(1)} \leq w^{(0)} = \beta,$$

причому будь-який розв'язок u^* рівняння (3) з відрізка $<0,\beta>$ задовольняє $v^{(k)} \le u^* \le w^{(k)}$ при всіх k. Отже, послідовності $\{v^{(k)}\}$ і $\{w^{(k)}\}$ дають двобічні наближення до розв'язку відповідно знизу і зверху. Як наближений розв'язок на k-му кроці беремо

$$u^{(k)} = \frac{1}{2}(v^{(k)} + w^{(k)}).$$

Функція f задовольняє нерівність

$$|f(s,u_1) - f(s,u_2)| \le \frac{2\lambda(1+cs)}{(1-\beta)^3}|u_1 - u_2|,$$

для всіх $0 \le s \le 1$, $0 \le u_1, u_2 \le \beta$.

Тоді для будь-яких $v, w \in <0,\beta>$

$$\|Tw - Tv\| \le \frac{2\lambda(1+cs)}{(1-\beta)^3} \max_{x\in[0,1]} \int_0^1 G(x,s)\,|w(s) - v(s)|\,ds \le \frac{2\lambda(1+cs)}{(1-\beta)^3} M \|w - v\|,$$

Звідки

$$\left\|w^{(k+1)} - v^{(k+1)}\right\| \le q\left\|w^{(k)} - v^{(k)}\right\|,$$

де $q = \frac{2\lambda M}{(1-\beta)^3}$.

Отже, за умови $q<1$ ітераційний процес методу двобічних наближень збігається на $<0,\beta>$ до єдиного додатного розв'язку задачі, причому на кожній ітерації справджується гарантована оцінка похибки

$$\left\|u^* - u^{(k)}\right\| \le \frac{1}{2}\left\|w^{(k)} - v^{(k)}\right\| \le \frac{1}{2}q^k\beta.$$

Таким чином, попри наявність змінного коефіцієнта в диференціальному рівнянні крайової задачі, що моделює прогин консольної балки МЕМС змінної ширини, виконуються всі умови застосовності методу двобічних наближень. Перспективою подальших досліджень є проведення обчислювального експерименту та порівняння прогину балок різної конфігурації (звуженої та розширеної).

Список використаних джерел

1. Nisanth A., Suja K. J., Seena V. A novel design strategy for cantilever based MEMS piezoelectric vibration energy harvesters: FEM parametric analysis and modeling. e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy. 2024. Vol. 9. Art. 100724. DOI: 10.1016/j.prime.2024.100724.

2. Ashok A., Gangele A., Pal P., Pandey A. K. An analysis of stepped trapezoidal-shaped microcantilever beams for MEMS-based devices. Journal of Micromechanics and Microengineering. 2018. Vol. 28, No. 7. Art. 075009. DOI: 10.1088/1361-6439/aab8ac.

3. Singh S. S., Pal P., Pandey A. K. Pull-in analysis of non-uniform microcantilever beams under large deflection. Journal of Applied Physics. 2015. Vol. 118. Art. 204303. DOI: 10.1063/1.4936321.

4. Савченко А. В., Гвоздєв М. І. Застосування методу двобічних наближень до аналізу статичного прогину пружної балки з різними типами закріплення кінців в моделі мікроелектромеханічної системи. Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Фізико-математичні науки. 2025. Вип. 28. С. 93–106. DOI: 10.32626/2308-5878.2025-28.93-106.

5. Савченко А. В., Сидоров М. В. Моделювання прогину консольної балки мікроелектромеханічної системи з діелектричним шаром методом двобічних наближень. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка та міцність машин. 2026. № 1. С. 71–78. DOI: 10.20998/2078-9130.2026.1.359588.

6. Krasnosel'skii M. A. Positive solutions of operator equations. Groningen : P. Noordhoff, 1964. 381 p.

7. Опойцев В. И., Хуродзе Т. А. Нелинейные операторы в пространствах с конусом. Тбилиси: Издательство Тбилис. ун-та, 1984. 246 с.

8. Molina-Villegas J. C., Ballesteros Ortega J. E., Martínez Martínez G. Closed-form solution for non-uniform Euler–Bernoulli beams and frames. Engineering Structures. 2023. Vol. 292. Art. 116381. DOI: 10.1016/j.engstruct.2023.116381.

УДК 631.559:633.111.1

ВПЛИВ РІЧНОЇ СУМИ ОПАДІВ НА УРОЖАЙНІСТЬ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ В МИКОЛАЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ: ТРЕНДОВО-РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ ЗА 2014–2023 рр.

Андрій Абдулін, Володимир Крайній

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Миколаївська область розташована в зоні недостатнього зволоження, а озима пшениця займає тут близько 476 тис. га посівів [2]. Урожайність цієї культури помітно коливається за роками, а її погодний коефіцієнт варіації становить 0,29, що відповідає помірно стійким врожаям [2]. Тому для планування виробництва важливо кількісно оцінити, яку частку цих коливань пояснюють опади, і чи покращує їх урахування прогноз порівняно з простим трендом.

Мета дослідження – оцінити зв’язок між річною сумою опадів і урожайністю озимої пшениці Миколаївської області за 2014–2023 рр. та перевірити, чи підвищує врахування опадів точність прогнозу відносно чисто трендової моделі.

Використано ряди з [1], складені за даними Головного управління статистики в Миколаївській області: середня врожайність озимої пшениці на всіх землях Y (ц/га, у масі після доробки) та середньорічна кількість опадів P (мм) за 2014–2023 рр. (табл. 1). Ряд для політих земель не застосовано через відсутнє значення за 2020 р. Згідно з підходом, який розглядає ряд урожайності як суму тренду та випадкової погодної складової [2, 3], побудовано дві моделі: лінійний тренд (1) та регресію на час і опади (2):

$$Y_t = a + b \cdot t + \varepsilon_t \qquad (1)$$

$$Y_t = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot P_t + \varepsilon_t \qquad (2)$$

де t – порядковий номер року (2014 р. – 1); ε_t – випадкова складова; a, b, a_0, a_1, a_2 – параметри, оцінені методом найменших квадратів. Якість моделей оцінювали за коефіцієнтом детермінації R^2, скоригованим R^2 та середньоквадратичною помилкою (3) перехресної перевірки з виключенням по одному року (LOO), де $\hat{Y}_{-i}$ – прогноз для року і за моделлю, побудованою без нього, $n = 10$:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (Y_i - \hat{Y}_{-i})^2} \qquad (3)$$

Розрахунки виконано в Python (NumPy, SciPy). Для контролю правильності розрахунків перевірено збіг із [1]: проста регресія Y на P має вигляд Y = 27,00 + 0,0291·P за R^2 = 0,338, що збігається з наведеним у [1].

За 2014–2023 рр. середня врожайність становила 35,9 ц/га (σ = 4,7 ц/га; коефіцієнт варіації 13,1 %), середня річна сума опадів – 304,3 мм (σ = 94,1 мм). Лінійний тренд (1) має вигляд $\hat{Y}$ = 33,84 + 0,369·t: приріст 0,37 ц/га на рік статистично незначущий (R^2 = 0,056; p = 0,51). Коефіцієнт кореляції Пірсона між P і Y дорівнює 0,58 (p = 0,078), рангова кореляція Спірмена – 0,44 (p = 0,20); кореляція відхилень від тренду з опадами – 0,45 (p = 0,19) (рис. 1). Модель (2) отримала вигляд $\hat{Y}$ = 26,92 − 0,263·t + 0,0342·P (R^2 = 0,357; скоригований R^2 = 0,173; F-критерій: p

= 0,21; рис. 2). Коефіцієнт за опадами (p = 0,114) і за часом (p = 0,67) на рівні 0,05 не значущі. За цією моделлю на кожні 100 мм опадів припадає орієнтовно 3,4 ц/га урожайності.

Таблиця 1. Вихідні дані (за [1]) та відхилення урожайності від лінійного тренду

Рік	Опади P, мм	Урожайність Y, ц/га	Тренд $\hat{Y}(t)$, ц/га	Відхилення $Y - \hat{Y}(t)$, ц/га
2014	256,0	35,0	34,2	0,8
2015	283,3	35,5	34,6	0,9
2016	304,3	36,8	34,9	1,9
2017	158,4	35,2	35,3	−0,1
2018	216,9	32,5	35,7	−3,2
2019	283,6	37,6	36,1	1,5
2020	322,2	27,4	36,4	−9,0
2021	502,9	44,0	36,8	7,2
2022	325,3	32,8	37,2	−4,4
2023	390,2	41,9	37,5	4,4

Таблиця 2. Порівняння моделей

Модель	R^2	R^2скор.	RMSE (LOO), ц/га
Середнє значення (без моделі)	0,000	0,000	4,97
Лінійний тренд (1)	0,056	−0,062	5,34
Тренд + опади (2)	0,357	0,173	4,90

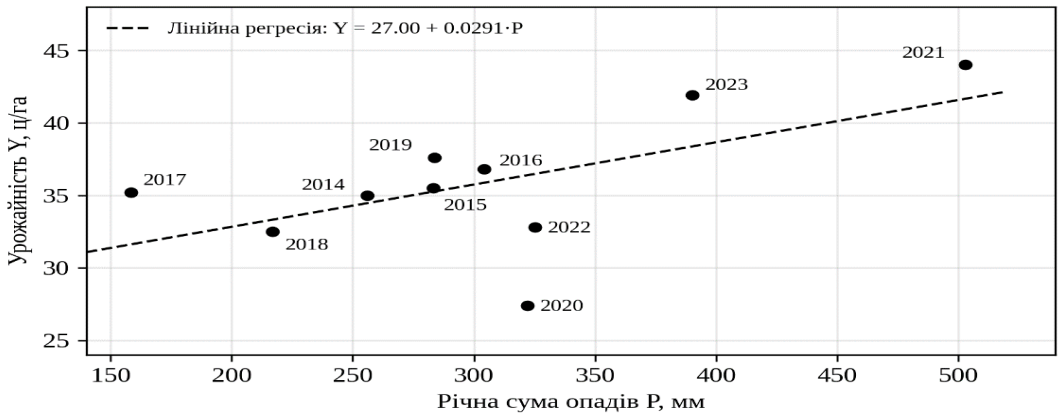


Рис. 1. Залежність урожайності озимої пшениці від річної суми опадів у Миколаївській області, 2014–2023 рр. (за даними [1])

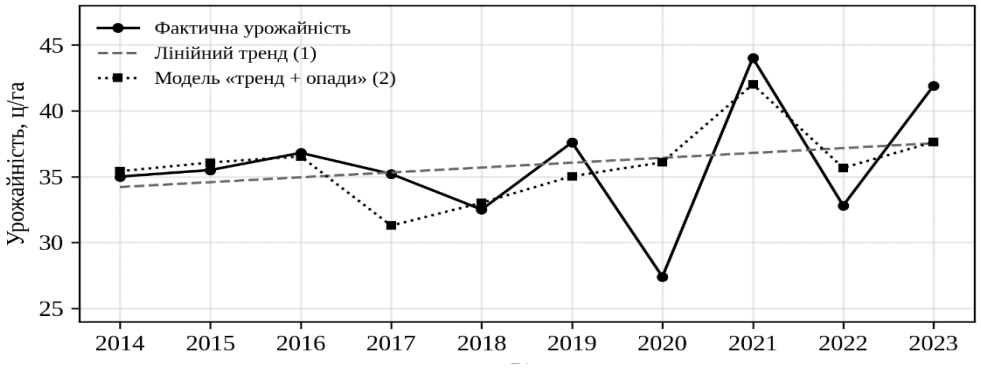


Рис. 2. Фактична урожайність озимої пшениці та значення за моделями (1) і (2), 2014–2023 рр.

Додавання опадів до тренду зменшує LOO-помилку з 5,34 до 4,90 ц/га (на 8 %), але вона лише на 1,5 % менша за помилку прогнозу за середнім значенням (4,97 ц/га) (табл. 2). Зв'язок значною мірою зумовлений 2021 р.: за опадів 502,9 мм (найвище значення ряду) врожайність становила 44,0 ц/га (рис. 1); без цього року кореляція відхилень від тренду з опадами знижується до 0,08 ($p = 0,84$). Крім того, 2017 р. мав найменшу суму опадів (158,4 мм), проте врожайність (35,2 ц/га) була близькою до середньої, а у 2020 р. за опадів 322,2 мм, вищих за середні, отримано мінімальні 27,4 ц/га (відхилення −9,0 ц/га). Імовірне пояснення – річна сума не враховує розподіл опадів за фазами розвитку пшениці; це припущення потребує перевірки на даних за вегетаційний період.

Побудована модель може бути базовим (еталонним) варіантом, з яким доцільно порівнювати складніші прогностичні моделі. Умовний сценарій для 2024 р. за моделлю (2): за опадів 250, 300 і 400 мм очікувана врожайність становить 32,6; 34,3 і 37,7 ц/га відповідно, проте з огляду на незначущість коефіцієнтів ці значення слід розглядати лише як ілюстрацію.

Обмеження. Ряд складається з 10 спостережень по одній області; використано лише річні суми опадів, а температуру повітря в кількісну модель не включено, оскільки для області не вдалося знайти відкритий перевірюваний ряд річних значень за ці роки. Також значення опадів у [1] (середнє 304,3 мм) нижчі за кліматичні норми для області, тому їх слід перевірити за первинними даними гідрометеорологічної служби.

Висновки. 1. За даними 2014–2023 рр. зв'язок врожайності озимої пшениці Миколаївщини з річною сумою опадів позитивний, але статистично незначущий ($r = 0,58$; $p = 0,078$) і залежить від одного року (2021). 2. Модель «тренд + опади» лише незначно перевершує прогноз за середнім за LOO-помилкою (4,90 проти 4,97 ц/га), тому річні суми опадів самі по собі недостатні для надійного прогнозу. 3. Для практичного прогнозування необхідні опади й температури за вегетаційний період (чи за міжфазні періоди), запаси ґрунтової вологи та довші ряди спостережень.

Список використаних джерел

1. Бабич О. А. Вплив зрошення на урожайність сільськогосподарських культур Миколаївської області 2014–2023 років. Таврійський науковий вісник. 2025. № 143, ч. 1. С. 285–290. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.1.35.

2. Оцінка мінливості врожаїв основних зернових культур і оптимізація їх посівних площ на території Миколаївської області / А. О. Ільїна та ін. Український журнал природничих наук. 2023. № 5. С. 101–108. DOI: https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.11.

3. Маркова Н. В., Хоненко Л. Г. Програмування врожаїв: робочий зошит для виконання практичних робіт. Миколаїв: МНАУ, 2022. С. 9–14. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/11558/1/markova-program-vrozh-rob-zosh-2022.pdf (дата звернення: 12.10.2026).

УДК 004.85:632.9

ЗАСТОСУВАННЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ШКІДНИКІВ НА РОСЛИНАХ: ПОРІВНЯННЯ ВЛАСНОЇ CNN ТА TRANSFER LEARNING

Олег Перепьолкін

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Т. С. Кучмійова,
кандидат економічних наук, доцент,
Миколаївський національний аграрний університет

Втрати врожаю від шкідників залишаються однією з найсерйозніших проблем аграрного виробництва, а своєчасність і точність їх діагностики безпосередньо впливають на ефективність та екологічність захисту рослин. Традиційна діагностика ґрунтується на візуальному огляді, який

залежить від досвіду спостерігача, є суб'єктивним і малопридатним для регулярного обстеження великих площ. У межах концепції точного землеробства перспективним напрямом є автоматичне розпізнавання шкідників за фотографіями з використанням згорткових нейронних мереж (Convolutional Neural Networks, CNN), які самостійно вилучають ієрархічні візуальні ознаки безпосередньо з пікселів зображення. Сучасні огляди підкреслюють, що поряд із точністю вирішальними вимогами до таких моделей є обчислювальна ефективність і можливість роботи на мобільних пристроях безпосередньо в полі [1].

Значна частина робіт виконується на великому еталонному датасеті IP102 [8], який містить понад 75 000 зображень 102 видів комах-шкідників. Автори [2] запропонували мережу злиття ознак, що поєднує CNN і трансформерні архітектури та використовує Grad-CAM для локалізації важливих ділянок зображення. Порівняння п'яти попередньо навчених моделей із тонким налаштуванням на повному IP102 показало точність від 66 % для MobileNetV2 до 70 % для DenseNet-201 [3], що демонструє складність задачі навіть для сучасних архітектур. Ефективність перенесення навчання підтверджена й для розпізнавання хвороб та шкідників чайних рослин у складних природних умовах [4]. Для розрізнення візуально близьких видів пропонуються fine-grained підходи з багатомасштабним злиттям ознак і механізмами уваги [5]. Окремий напрям становлять легкі моделі для обчислювально обмежених пристроїв [6, 7], що відповідає потребам польового застосування. Водночас практичне питання вибору між навчанням відносно простої мережі «з нуля» та використанням моделі, попередньо навченої на великому загальному датасеті, на малих вибірках залишається актуальним.

Мета дослідження – порівняти ефективність власної архітектури CNN, навченої «з нуля», та підходу Transfer Learning на основі MobileNetV2 для класифікації зображень шкідників рослин на обмеженому наборі даних.

Експерименти виконано на збалансованій підмножині датасету IP102 [8], що містить 8 найчисельніших класів шкідників: по 300 зображень на клас для навчання та по 30 – для валідації й тестування (разом 2880 зображень). Зображення приводили до розміру 224×224 пікселі та нормалізували до діапазону [0, 1]; до навчальної вибірки застосовували аугментацію (повороти до ±20°, зсуви, масштабування, дзеркальні відображення, зміну яскравості). Реалізацію виконано мовою Python із використанням TensorFlow/Keras.

Основним елементом CNN є згортковий шар, у якому навчальні фільтри невеликого розміру ковзають по вхідному зображенню та формують карти ознак; завдяки поділу ваг і локальній зв'язності кількість параметрів істотно менша, ніж у повнозв'язних мережах. Після згортки застосовують нелінійну функцію активації ReLU:

$$f(x) = max(0, x) \qquad (1)$$

Для зменшення розмірності карт ознак використовують шари пулінгу, а для остаточної класифікації – повнозв'язний шар із функцією softmax, що перетворює вихідні значення z на ймовірності K класів:

$$softmax(z_i) = \frac{e^{z_i}}{\sum_{k=1}^{K} e^{z_k}} \quad (2)$$

Мережу навчають методом зворотного поширення похибки з оптимізатором Adam, мінімізуючи категоріальну крос-ентропію:

$$L = -\sum_{i=1}^{K} y_i \cdot log(\hat{y}_i) \quad (3)$$

де y – справжня мітка класу (one-hot вектор), $\hat{y}$ – ймовірність класу, передбачена моделлю. Для запобігання перенавчанню застосовували Batch Normalization, Dropout та аугментацію даних.

Власна CNN складається з чотирьох згорткових блоків (Conv2D → BatchNormalization → ReLU → MaxPooling) із кількістю фільтрів 32, 64, 128 та 256, після яких розташовано Global Average Pooling, повнозв'язний шар і Dropout. Модель Transfer Learning використовує MobileNetV2 з вагами ImageNet і навчається у два етапи: вилучення ознак (базова мережа заморожена) та тонке

налаштування (розморожено верхні шари, швидкість навчання зменшено у 100 разів). Основні параметри моделей наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння конфігурацій досліджуваних моделей

Параметр	Власна CNN	Transfer Learning
Основа моделі	4 блоки Conv–BN–ReLU–Pool	MobileNetV2 (ImageNet)
Ваги на старті	Випадкова ініціалізація	Попередньо навчені
Кількість параметрів	458 184	2 422 984
Епох навчання	20	8 + 8 (два етапи)
Швидкість навчання	Адаптивна (Adam)	$10^{-3} \rightarrow 10^{-5}$ (Adam)
Розмір входу	224×224×3	224×224×3

Якість моделей оцінювали на тестовій вибірці (240 зображень) за метриками Accuracy, Precision, Recall та F1-score з макро-усередненням за класами. Показники Precision, Recall та F1 обчислюються за формулами:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

$$F1 = \frac{2 \cdot Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \quad (6)$$

де TP, FP, FN – кількості істинно позитивних, хибно позитивних та хибно негативних класифікацій відповідно. Оскільки тестова вибірка збалансована, Accuracy є коректним показником, а решта метрик дозволяє оцінити якість розпізнавання окремих класів.

Криві навчання власної CNN (рис. 1) свідчать про відсутність перенавчання: тренувальна та валідаційна втрати не розходяться, однак точність зростає повільно й виходить на плато в межах 0,40–0,50. Це вказує на недонавчання: 2400 тренувальних зображень виявилось недостатньо, щоб мережа без попередніх знань вивчила узагальнені ознаки для розрізнення візуально схожих видів.

Модель Transfer Learning вже на першому етапі досягла високої валідаційної точності, оскільки MobileNetV2 володіє узагальненими ознаками (краї, текстури, форми), здобутими на ImageNet. Початок тонкого налаштування супроводжується короткочасним зростанням втрат на навчальній вибірці, після чого обидві криві знову знижуються (рис. 2).



Рис. 1. Криві втрат і точності власної CNN за епохами навчання

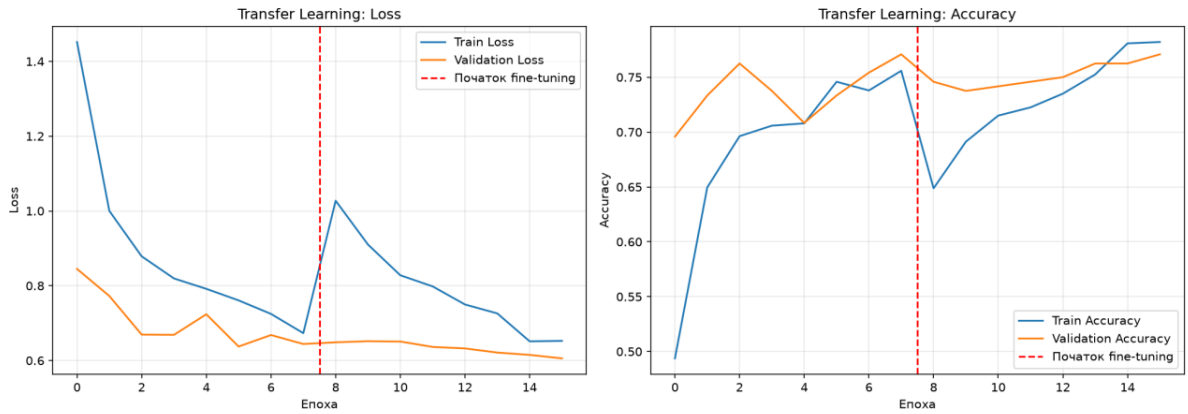


Рис. 2. Криві втрат і точності моделі Transfer Learning (червона лінія – початок тонкого налаштування)

Порівняння якості моделей на тестовій вибірці наведено в табл. 2 та на рис. 3. Власна CNN досягла Accuracy = 0,4208 і F1 = 0,4207, тоді як Transfer Learning – Accuracy = 0,7375 і F1 = 0,7354, тобто перевершив її на 31,67 та 31,47 відсоткового пункту відповідно.

Таблиця 2 – Результати моделей на тестовій вибірці (240 зображень, 8 класів IP102)

Модель	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	Час навчання, хв
Власна CNN (з нуля)	0,4208	0,4423	0,4208	0,4207	98,58
Transfer Learning (MobileNetV2)	0,7375	0,7531	0,7375	0,7354	28,96

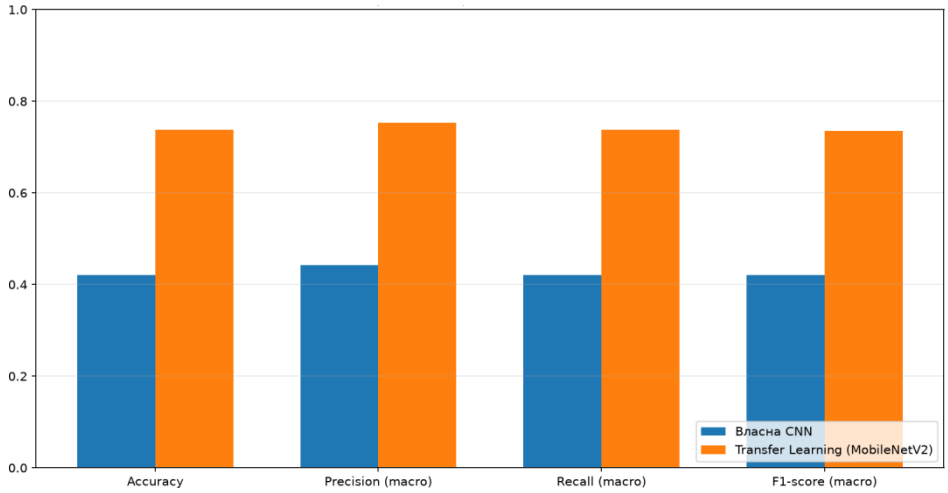


Рис. 3. Порівняння метрик Accuracy, Precision, Recall та F1-score для власної CNN і Transfer Learning

Показово, що Transfer Learning навчався у 3,4 раза швидше (28,96 проти 98,58 хв), попри вп’ятеро більшу кількість параметрів: на першому етапі ваги базової мережі заморожені й не беруть участі у зворотному поширенні похибки. Отже, за сукупністю точності та часу навчання підхід із перенесенням знань є однозначно кращим за умов обмежених даних і ресурсів.

Деталізацію за класами подано в табл. 3 та на матриці помилок (рис. 4). Transfer Learning підвищив повноту розпізнавання для всіх восьми класів, найбільше – для 070_Cicadella_viridis (на 0,53) та 051_legume_blister_beetle (на 0,50).

Таблиця 3 - Повнота (Recall) розпізнавання за класами на тестовій вибірці

Клас (вид шкідника)	Власна CNN	Transfer Learning	Приріст
015_grub	0,67	0,83	+0,16
022_red_spider	0,37	0,67	+0,30
024_army_worm	0,37	0,47	+0,10
039_cabbage_army_worm	0,50	0,77	+0,27
051_legume_blister_beetle	0,37	0,87	+0,50
067_Ampelophaga	0,27	0,63	+0,36
070_Cicadella_viridis	0,30	0,83	+0,53
101_Sternochetus_frigidus	0,53	0,83	+0,30

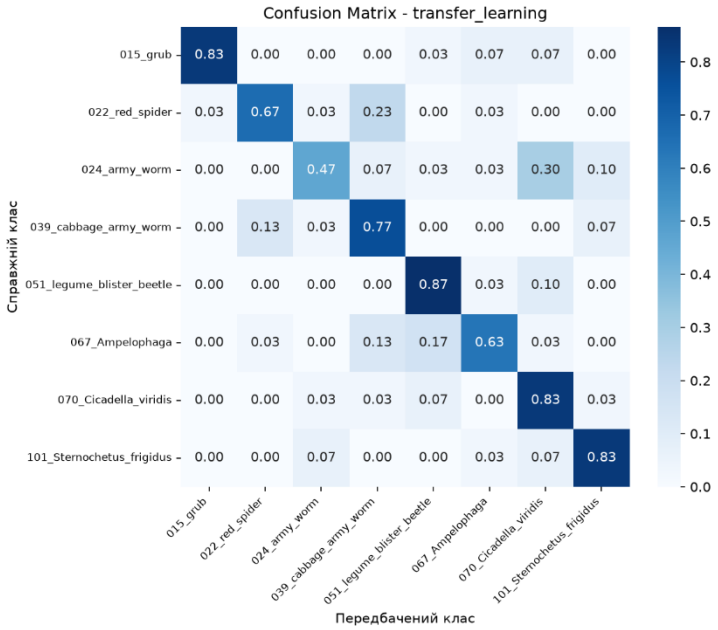


Рис. 4. Нормована матриця помилок моделі Transfer Learning

Слабким місцем кращої моделі є клас 024_army_worm: його повнота становить лише 0,47, а у 30 % випадків його помилково відносять до класу 070_Cicadella_viridis. Найвпевненіші хибні класифікації (ймовірність 88–99 %) стосуються морфологічно близьких комах на схожому листяному тлі. Оскільки вибірка збалансована, причиною помилок є не нестача даних, а візуальна схожість видів. Для її подолання доцільно застосовувати fine-grained архітектури з механізмами уваги [5].

Висновки. 1. Перенесення навчання з MobileNetV2 забезпечує істотно вищу якість розпізнавання шкідників (Accuracy 0,7375 проти 0,4208) порівняно з власною CNN, навченою «з нуля» на обмеженому наборі даних. 2. Transfer Learning скоротив час навчання у 3,4 раза та підвищив повноту розпізнавання для всіх класів. 3. Основні помилки пов’язані з візуальною схожістю видів (зокрема пари 024_army_worm та 070_Cicadella_viridis) і мають систематичний характер. 4. Помірна кількість параметрів (2,4 млн) робить MobileNetV2 придатною для розгортання у мобільних застосунках діагностики шкідників у складі систем точного землеробства. Подальші дослідження передбачають розширення вибірки до всіх 102 класів IP102, використання механізмів уваги та Grad-CAM для інтерпретації рішень моделі.

Список використаних джерел

1. Crop pest classification using deep learning techniques: a review. arXiv preprint. 2025. arXiv:2507.01494. URL: https://arxiv.org/abs/2507.01494

2. An J., Du Y., Hong P., Zhang L., Weng X. Insect recognition based on complementary features from multiple views. Scientific Reports. 2023. Vol. 13. Article 2966. URL: https://doi.org/10.1038/s41598-023-29600-1

3. Syahputra A. P., Siregar A. C., Insani R. W. S. Comparison of CNN models with transfer learning in the classification of insect pests. IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems). 2023. Vol. 17, No. 1. P. 103–114. URL: https://doi.org/10.22146/ijccs.80956

4. Li Z., Sun J., Shen Y., Yang Y., Wang X., Wang X., Tian P., Qian Y. Deep migration learning-based recognition of diseases and insect pests in Yunnan tea under complex environments. Plant Methods. 2024. Vol. 20. Article 101. URL: https://doi.org/10.1186/s13007-024-01219-x

5. Qian Y., Xiao Z., Deng Z. Fine-grained crop pest classification based on multi-scale feature fusion and mixed attention mechanisms. Frontiers in Plant Science. 2025. Vol. 16. Article 1500571. URL: https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1500571

6. Li K.-R., Duan L.-J., Deng Y.-J., Liu J.-L., Long C.-F., Zhu X.-H. Pest detection based on lightweight locality-aware Faster R-CNN. Agronomy. 2024. Vol. 14, No. 10. Article 2303. URL: https://doi.org/10.3390/agronomy14102303

7. LP-YOLO: a lightweight object detection network regarding insect pests for mobile terminal devices based on improved YOLOv8. Agriculture. 2024. Vol. 14, No. 8. Article 1420. URL: https://doi.org/10.3390/agriculture14081420

8. IP102 Dataset. Kaggle. URL: https://www.kaggle.com/datasets/rtlmhjbn/ip02-dataset (дата звернення: 02.09.2026).

УДК 636.4:519.86

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РОСТУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СВИНЕЙ РІЗНИХ ПОРІД В УМОВАХ СГПП «ТЕХМЕТ-ЮГ»

Аліна Вовк

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Нормативно-правове забезпечення охорони праці у свинарстві ґрунтується на системі законодавчих та нормативних актів України, спрямованих на збереження життя та здоров'я працівників, запобігання виробничому травматизму та забезпечення безпечних умов праці під час вирощування та утримання свиней. Основними документами цієї галузі є Кодекс законів про працю України та Закон України «Про охорону праці». Важливе значення мають також нормативно-правові акти з питань пожежної безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці, використання обладнання та безпечної експлуатації виробничих поміщень. Зазначені документи визначають обов'язки роботодавця щодо організації безпечного виробничого процесу, проведення інструктажів, навчання працівників, забезпечення засобами особистого захисту та контролю за дотриманням вимог охорони праці.

Для підприємств тваринництва особливе значення мають Правила охорони праці в сільському виробництві, які регламентують вимоги безпеки під час виконання виробничих операцій, експлуатації машин та механізмів, використання електрообладнання та організації робочих місць. В умовах СГПП «Техмет-Юг» дотримання нормативних вимог передбачає проведення інструктажів з питань охорони праці [1, с. 43], навчання працівників безпечним методам роботи, забезпечення належного санітарно-гігієнічного стану тваринницьких приміщень. Важливо безпечне поводження зі свинями різних вікових та статевих груп, запобігання травмування під час вирощування тварин, а також профілактиці професійних захворювань.

Управління безпекою праці здійснюється відповідно до вимог чинного законодавства України з урахуванням специфіки тваринницького виробництва, особливостей технологічних процесів та потенційних професійних ризиків. Основними напрямками роботи є організація навчання та інструктажів з охорони праці, контроль за дотриманням правил безпеки, забезпечення персоналу засобами особистого захисту, підтримання належного санітарно-гігієнічного стану виробничих

приміщень та перевірка справності обладнання. Важливою складовою управління безпекою є розподіл відповідальності між керівництвом та працівниками за дотримання встановлених вимог та своєчасне виявлення небезпечних виробничих факторів.

Аналіз стану охорони праці на підприємстві свідчить про особливу небезпеку можливості травмування під час контакту зі свинями. Є ризики, пов'язані з використанням кормороздавального та прибирального обладнання, впливу підвищеної вологості, пилу, шкідливих газів та біологічних факторів.

Для зниження рівня професійних ризиків необхідно систематично проводити профілактичні заходи [2, с. 192], контролювати використання засобів захисту, забезпечувати належну вентиляцію приміщень та дотримання санітарних норм. Об'єктивна оцінка стану охорони праці в СГПП «Техмет-Юг» потребує фактичних даних про виробничий травматизм, результати перевірок, проведення інструктажів та забезпечення працівників засобами захисту, що дасть змогу визначити проблемні питання та обґрунтувати заходи щодо удосконалення системи управління безпекою.

У процесі утримання свиней на підприємстві СГВП «Техмет-Юг» працівники можуть зазнавати впливу низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів, зумовлених особливостями поведінки тварин, технологією їх вирощування та умовами праці. До основних механічних небезпек відносять укуси, удари, притискання до огородження та травмування під час перегрупування, переміщення та фіксації тварин.

Особливої обережності потребує робота зі дорослими хряками, свиноматками з приплодом та тваринами з підвищеною збудливістю, оскільки їх поведінка може бути непередбачуваним. Додаткові ризики виникають під час експлуатації транспортерів [3, с. 65], систем видалення гною та інших механізмів, а також внаслідок слизької підлоги, недостатнього освітлення, підвищеної вологості та незадовільного стану проходів у тваринницьких приміщеннях.

Важливу групу професійних ризиків становлять хімічні, біологічні та фізичні фактори виробничої середовища. Накопичення аміаку, сірководню та інших газів у приміщеннях із недостатньою вентиляцією негативно впливають на дихальну систему працівників, тоді як органічний пил та мікроорганізми створюють ризик розвитку респіраторних та інфекційних захворювань.

Під час прибирання приміщень, дезінфекції, ветеринарних обробок та роботи з мийними засобами існує небезпека подразнення шкіри, очей та дихальних шляхів. Для зниження зазначених ризиків на підприємстві необхідно забезпечувати належну вентиляцію, регулярне очищення та дезінфекцію приміщень, справність обладнання, використання засобів особистого захисту та дотримання безпечних методів поводження з тваринами. Систематичне виявлення небезпечних факторів, навчання персоналу та контроль виконання профілактичних заходів сприяє зменшенню ймовірності виробничого травматизму та збереженню здоров'я працівників.

Дотримання вимог безпеки праці під час годівлі та догляду за свинями на підприємстві СГПП «Техмет-Юг» є важливою умовою забезпечення належного рівня захисту персоналу. До виконання робіт допускаються працівники, які пройшли відповідне навчання, інструктаж з охорони праці та ознайомлені з правилами безпечного поводження з тваринами.

Під час здійснення контролю за технічним станом кормороздавального обладнання, не допускається контакту з рухомими механізмами [4, с. 58]. Очищення та обслуговування обладнання здійснюється лише після його зупинення та відключення від джерел живлення.

Переміщення свиней, перегрупування поголів'я та фіксація тварин здійснюється з використанням спеціально призначених пристроїв та огороджень, уникаючи різких рухів, шуму та дій, що можуть спровокувати агресивну поведінку тварин. Особливу увагу потрібно приділяти роботі зі свиноматками з приплодом та дорослими батогами, забезпечувати вільні проходи, неслизьке покриття підлоги та достатнє освітлення робочих зон.

Під час виконання ветеринарно-санітарних робіт необхідно дотримуватись вимог особистої гігієни, біологічної безпеки та правил використання хімічних засобів. Працівники повинні застосовувати спецодяг, захисні рукавиці, відповідну взуття та інші засоби особистого захисту залежно від характеру виконуваних операцій. Дезінфекцію приміщень, обладнання та інвентарю слід

проводити відповідно до інструкцій виробників препаратів, забезпечуючи належну вентиляцію та унеможливлюючи контакт сторонніх осіб із робочими розчинами.

Під час ветеринарних маніпуляцій необхідно використовувати справний інструмент, надійно фіксувати тварин та дотримуватися установлених процедур поводження з біологічними матеріалами та гострими предметами. Після завершення робіт потрібно очистити та продезінфікувати інструменти, належним чином утилізувати відходи, вимити руки та привести робоче місце до безпечного стану. Систематичне дотримання зазначених вимог, контроль технічного стану обладнання та регулярне навчання персоналу сприяють зниженню професійних ризиків [5, с. 58], запобіганню поширенню інфекцій та створенню безпечних умов праці у свинарському господарстві.

Профілактика виробничого травматизму та професійних захворювань на СГПП «Техмет-Юг» має ґрунтуватися на систематичному виявленні небезпечних і шкідливих виробничих факторів, оцінюванні професійних ризиків та впровадженні організаційних і технічних заходів безпеки. Важливе значення мають проведення інструктажів з охорони праці, перевірка знань працівників, контроль справності обладнання й механізмів, забезпечення належного освітлення, вентиляції та санітарного стану тваринницьких приміщень. Для зниження ризику травмування під час догляду за свинями необхідно навчати персонал безпечним прийомам поводження з тваринами, використовувати справні огородження та фіксувальні пристрої, підтримувати проходи й підлогу в чистоті, своєчасно усувати слизькі ділянки та не допускати перебування працівників у небезпечних зонах під час роботи обладнання.

Важливим напрямом профілактики професійних захворювань є зменшення впливу органічного пилу, надмірної вологості, шкідливих газів, біологічних чинників і дезінфекційних засобів. Для цього необхідно забезпечувати належну роботу вентиляційних систем, регулярне прибирання та дезінфекцію приміщень, дотримання правил зберігання й використання хімічних речовин. Доцільно організовувати попередні та періодичні медичні огляди відповідно до вимог законодавства, контролювати дотримання режимів праці й відпочинку, вести облік нещасних випадків і небезпечних подій, аналізувати їхні причини та розробляти коригувальні заходи. Реалізація зазначених заходів сприятиме зниженню рівня виробничого травматизму, збереженню здоров’я персоналу та формуванню безпечних умов праці на підприємстві.

На підприємстві СГПП «Техмет-Юг», потенційні надзвичайні ситуації можуть бути пов’язані з пожежами в тваринницьких приміщеннях, складських будівлях і кормоцехах, аваріями електрообладнання, порушеннями роботи систем вентиляції, водопостачання та опалення, а також витоками небезпечних газів. Додаткову загрозу становлять пошкодження конструкцій будівель, аварії технологічного обладнання, порушення правил зберігання дезінфекційних засобів, спалахи інфекційних захворювань тварин і забруднення довкілля відходами тваринництва.

В умовах воєнного стану необхідно також враховувати ризики, спричинені ракетними та дроновими атаками, вибухами [6, с. 61], пошкодженням енергетичної інфраструктури й тривалими перебоями електропостачання. Такі події можуть призвести до травмування працівників, загибелі тварин, порушення виробничих процесів, виникнення санітарно-епідемічних загроз і матеріальних збитків.

Оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій передбачає визначення ймовірності небезпечної події, масштабів її можливих наслідків та рівня впливу на персонал, тварин, обладнання й навколишнє середовище. Для цього доцільно застосовувати матричний метод оцінювання ризику, за якого ймовірність події зіставляють із тяжкістю можливих наслідків [7, с. 150], визначаючи низький, середній, високий або критичний рівень небезпеки.

Особливу увагу необхідно приділяти пожежній безпеці, справності електрообладнання, надійності вентиляційних систем, контролю концентрації шкідливих газів, біологічному захисту тварин і готовності персоналу до евакуації. За результатами оцінювання слід розробляти плани реагування на надзвичайні ситуації, визначати порядок оповіщення та евакуації, забезпечувати наявність первинних засобів пожежогасіння, аптечок і резервних джерел живлення для критично важливих систем.

Організація цивільного захисту працівників на СГПП «Техмет-Юг», передбачає комплекс заходів, спрямованих на захист персоналу, тварин і виробничої інфраструктури від надзвичайних ситуацій техногенного, природного та воєнного характеру. Важливими складниками цієї системи є своєчасне оповіщення про небезпеку, розроблення планів реагування на надзвичайні ситуації, визначення маршрутів евакуації та місць укриття, забезпечення працівників інструкціями щодо дій у разі пожежі, аварії або повітряної тривоги.

Персонал необхідно навчати правилам користування засобами індивідуального захисту, надання домедичної допомоги та безпечного залишення небезпечних зон. Окрему увагу слід приділяти готовності до перебоїв електропостачання, порушення роботи вентиляції та водопостачання [8, с. 70], а також наслідків обстрілів. Регулярні інструктажі й практичні тренування сприятимуть підвищенню готовності працівників до оперативного та скоординованого реагування на загрози.

Забезпечення пожежної безпеки передбачає дотримання протипожежних вимог під час експлуатації електрообладнання, систем опалення, вентиляції та технологічних механізмів. Необхідно систематично перевіряти стан електропроводки, не допускати перевантаження електричних мереж [9, с. 147], забезпечувати справність первинних засобів пожежогасіння та доступність евакуаційних виходів. Горючі матеріали, корми й дезінфекційні засоби слід зберігати у визначених місцях із дотриманням установлених вимог безпеки.

На підприємстві мають бути розроблені інструкції щодо дій у разі виявлення загоряння, визначені відповідальні особи та забезпечена можливість оперативного виклику пожежно-рятувальних підрозділів. У разі виникнення пожежі першочерговими завданнями є оповіщення людей, виклик рятувальників, евакуація персоналу й, якщо це безпечно та не створює загрози життю, організація переміщення тварин. Реалізація цих заходів дасть змогу зменшити ймовірність виникнення пожеж, мінімізувати їхні наслідки та підвищити рівень захищеності працівників і тварин [10, с. 282].

Дії персоналу СГПП «Техмет-Юг» в умовах воєнних загроз мають бути спрямовані на збереження життя і здоров’я працівників, мінімізацію ризиків травмування та забезпечення контрольованого припинення небезпечних виробничих процесів. У разі оголошення повітряної тривоги працівники повинні припинити виконання робіт, якщо це можна зробити безпечно, відключити обладнання відповідно до встановлених інструкцій і перейти до визначеного укриття за заздалегідь установленими маршрутами.

Необхідно дотримуватися сигналів оповіщення, не користуватися ліфтами за наявності такої небезпеки, не перебувати біля вікон і не залишатися на відкритій місцевості. Відповідальні особи мають організувати оповіщення персоналу, перевірити його наявність в укритті та за можливості повідомити про відсутніх. Повернення до робочих приміщень дозволяється після офіційного відбою тривоги та за умови відсутності додаткових небезпек. У разі безпосередньої загрози обстрілу або вибуху працівники повинні діяти відповідно до інструкцій цивільного захисту, не наближатися до уламків і підозрілих предметів та повідомляти про виявлені небезпеки відповідні служби.

У разі виникнення надзвичайної ситуації, зокрема пожежі, руйнування будівель, аварії електрообладнання або витоку небезпечних речовин, персонал повинен негайно повідомити керівника робіт і відповідні екстрені служби, за можливості без ризику для власного життя припинити небезпечний технологічний процес та організовано залишити небезпечну зону. Якщо виникає пожежа, необхідно викликати пожежно-рятувальну службу за номером 101, а в разі загрози життю чи здоров’ю - екстрену медичну допомогу за номером 103.

Під час евакуації слід користуватися визначеними виходами, не створювати паніки та не повертатися до небезпечних приміщень без дозволу відповідальних служб. Особливістю підприємств свинарського напряму є необхідність урахування ризиків для тварин, пов’язаних із задимленням, порушенням вентиляції, водопостачання й електроживлення.

Організацію переміщення тварин потрібно здійснювати лише тоді, коли це безпечно для працівників і не перешкоджає їхній евакуації. Попереднє навчання персоналу, відпрацювання алгоритмів реагування, наявність засобів оповіщення та актуальних планів евакуації сприятимуть підвищенню готовності підприємства до воєнних загроз і надзвичайних ситуацій.

Підвищення рівня безпеки працівників СГПП «Техмет-Юг» потребує своєчасне виявлення виробничих небезпек і впровадження профілактичних заходів. Насамперед необхідно проводити регулярне оцінювання професійних ризиків, перевіряти технічний стан обладнання [11, с. 155], електричних мереж, вентиляційних систем і механізмів. Доцільно удосконалити систему виробничого контролю, забезпечити належне освітлення, безпечний стан підлог і проходів, підтримувати нормативні параметри мікроклімату та своєчасно усувати виявлені порушення. Для зниження ризику травмування під час роботи з тваринами необхідно використовувати справні огородження, фіксувальні пристрої та безпечні технологічні прийоми догляду за поголів'ям.

Забезпечення стійкості виробничих процесів передбачає підготовку підприємства до аварій, пожеж, перебоїв електропостачання, порушень водопостачання, спалахів інфекційних захворювань тварин і воєнних загроз. Для цього необхідно розробити та регулярно актуалізувати плани реагування на надзвичайні ситуації, визначити порядок оповіщення й евакуації персоналу, перевіряти доступність евакуаційних виходів і готовність первинних засобів пожежогасіння.

Доцільно передбачити резервні джерела електроживлення для критично важливих систем, насамперед вентиляції, водопостачання та обладнання, необхідного для підтримання належних умов утримання тварин. Важливе значення мають створення запасів необхідних матеріалів, кормів і засобів захисту, дотримання ветеринарно-санітарних вимог та встановлення порядку взаємодії з екстреними службами.

Список використаних джерел

1. Курепін В. М., Лимар О. О. Оцінка стану кадрової безпеки аграрних підприємств за допомогою відповідних індикаторів діяльності. Modern Economics. 2024. № 43(2024). С. 41-50. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V43(2024)-06.

2. Охорона праці в галузі : навчальний посібник / В. М. Курепін, Д. Д. Марченко, Д. В. Курепін. Миколаїв : МНАУ, 2023. 586 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13157.

3. Курепін В. М., Іваненко В. С. Застосування цифрових технологій у сільському господарстві для досягнення цілей сталого розвитку. Modern Economics. 2024. № 47(2024). С. 62-69. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V47(2024)-09.

4. Іваненко В. С. Деякі методи оцінки професійних ризиків // Сучасні підходи до охорони праці в закладах професійної освіти : матеріали Усеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, Біла Церква, 26 жовтня 2022 р. Біла Церква : БІНПО ДЗВО «УМО» НАПН УКРАЇНИ, 2022. С. 55-59. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12472.

5. Іваненко В. С., Бризгалов М. В. Розробка та впровадження інструкцій з охорони праці на підприємствах аграрного профілю // Інформаційно-психологічна та техногенна безпека: історичні аспекти, особливості захисту суспільства та особистості : тези доповідей за результатами тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 9 грудня 2022 р. Миколаїв : МНАУ, 2022. С. 20-23. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12067.

6. Pospelov, B., Bezuhla, Y., Kozar, Y., Krainiukov, O., Chubko, L., Yashchenko, O., ... Kurepin, V. (2023). Features of the coefficient of variation of parameters of the gas environment in fire in the premises. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (10 (126)), 58–64. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/16393.

7. Іваненко В. С., Курепін В. М. Оцінка ризиків щодо виникнення виробничого травматизму на підприємствах. Проблеми та перспективи розвитку охорони праці: збірник наук. праць V Всеукраїнської науково–практичної конференції викладачів та фахівців–практиків та XV Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів (м. Львів. 15 травня 2025 р.). Львів : ЛДУБЖД, 2025. С. 149-151. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21886.

8. Іваненко В.С. Залучення фахівців сторонніх служб для проведення оцінки ризиків на робочому місці // OSHAgro – 2023 : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 3 жовтня 2023 р.). Київ : НУБіП України, 2023. С. 69-71. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15935.

9. Ivanenko V. Technological load on the natural environment of the Mykolaiv region: problems, solution ways. Науково-практична конференція, присвячена Всесвітньому метеорологічному дню «На варті кліматичних дій» та Всесвітньому дню водних ресурсів «Вода для миру» (м. Київ, 22-23 березня 2024 р.). Київ, 2024. С. 146-148. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18868.

10. Курепін В. М., Курепін Д. В., Іваненко В. С. Цивільний захист: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2025. 491 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20130.

11. Курепін В. М. Механізм фінансування та громадської участі в забезпеченні заходів безпеки на локальному та регіональному рівнях. Modern Economics. 2026. № 55(2026). С. 153-161. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V55(2026)-21.



Тематичний напрям № 7
Цифрова трансформація освіти, STEM-освіта та сучасні освітні технології

УДК 004.8:37.01/.09

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЗАСІБ УДОСКОНАЛЕННЯ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІН БЕЗПЕКИ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Катерина Мардзявко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

У тезах розглянуто потенціал інтелектуальних технологій як сучасного засобу удосконалення викладання дисциплін безпеки у закладах вищої освіти. Обґрунтовано доцільність використання інтелектуальних систем підтримки рішень, адаптивних освітніх платформ, цифрових стимуляторів, віртуальної та доповненої реальності для формування у здобувачів освіти компетентностей у сфері безпеки життєдіяльності, цивільного захисту та управління ризиками. Визначено педагогічні можливості інтелектуальних технологій, зокрема персоналізацію навчання, моделювання небезпечних ситуацій, оперативне оцінювання результатів навчання та розвиток ризик-орієнтованого мислення. Акцентовано увагу на необхідності відповідального, етичного та критичного використання інтелектуальних систем в освітньому просторі.

Сучасне суспільство характеризується динамічним зростанням кількості та складності природних, техногенних, соціальних, інформаційних і професійних ризиків. У таких умовах система вищої освіти має забезпечувати не лише засвоєння здобувачами вищої освіти теоретичних знань про небезпеки, а й формування здатності своєчасно їх ідентифікувати, оцінювати й прогнозувати можливі наслідки та приймати обґрунтовані рішення щодо їх попередження. Особливого значення набуває модернізація викладання дисциплін безпекового спрямування, зокрема «Безпека життєдіяльності», «Охорона праці», «Цивільний захист» та споріднених освітніх компонентів. Проблема вдосконалення дисциплін безпеки не є новою. У багатьох дослідженнях вже наголошувалося на необхідності використання сучасних педагогічних технологій, активізації пізнавальної діяльності студентів і посилення практичної спрямованості підготовки [1]. Сьогодні ця проблема набуває нового змісту у зв'язку з активним розвитком цифрових та інтелектуальних технологій. Європейський підхід до цифрової трансформації освіти передбачає використання цифрових інструментів не лише для передачі інформації, а й для персоналізації навчання, розвитку цифрових компетентностей та створення більш гнучкого освітнього середовища[2]. Водночас сучасні рекомендації Європейської Комісії акцентують увагу на важливості розвитку критичної та етичної цифрової грамотності учасників освітнього процесу, формування відповідального ставлення до цифрових технологій, а також усвідомлення правових, етичних і педагогічних аспектів їх використання.

Під інтелектуальними технологіями доцільно розуміти сукупність цифрових засобів і систем, здатних здійснювати аналіз інформації, виявляти закономірності адаптувати навчальний контент до потреб моделювати ситуації та підтримувати прийняття рішень. До них належать технології машинного навчання, інтелектуального аналізу даних, адаптивного навчання, цифрового моделювання, віртуальної та доповненої реальності, а також інтелектуальні системи моніторингу. Важливою перевагою інтелектуальних технологій є персоналізація навчання. Адаптивні цифрові системи можуть враховувати рівень підготовки здобувача, результати виконання завдань та

індивідуальний темп навчання. Це створює можливість формувати різні рівні складності завдань: від індентифікації небезпечного чинника до комплексного управління ризиками в умовах невизначеності. Для дисциплін безпеки така можливість має особливе значення. Оскільки професійна діяльність майбутніх фахівців пов'язана з необхідністю прийняття рішень у ситуаціях, де неправильна оцінка ризику може мати значні наслідки. Тому освітній процес має поступово переходити від репродуктивного засвоєння правил безпеки до формування ризик-орієнтованого мислення.

Перспективним напрямом є використання віртуальної та доповненої реальності. Ці технології дають змогу створювати безпечні навчальні ситуації, як неможливо або недоцільно відтворити в реальному освітньому середовищі. Наприклад здобуваччі можуть виконуати віртуальне тренування з евакуації під час пожежі, моделювати дії при хімічному зараженні, відпрацьовувати алгоритм реагування на виробничу аварію або аналізувати потенційні небезпеки робочого місця. Інтелектуалізація такого навчання може передбачити автоматичне оцінювання дій здобувача. Система фіксує послідовність його рішень, визначає допущені помилки та формує рекомендації щодо їх виправлення. Таким чином створюється модель навчання через практичне моделювання небезпеки, за якої добувач має можливість багаторазово відпрацьовувати алгоритми без реального ризику для життя і здоров'я. Не менш важливим є використання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. У навчальному процесі вони можуть застосовуватися для моделювання управлінських ситуацій, у якій одночасно існує декілька небезпечних факторів, обмежені ресурси та дефіцит часу. Завдання полягає у визначенні пріоритетів, виборі оптимального алгоритму дій та обґрунтуванні прийнятого рішення. Такий формат навчання сприяє розвитку не тільки професійних знань, ай критичного мислення, відповідальності, комунікативних умінь, здатності працювати з інформацією та прогнозувати наслідки власних дій.

Важливе місце у цьому процесі посідає інтелектуальний аналіз даних. У сфері безпеки він може використовуватися для роботи зі статистичними даними про нещасні випадки, пожежі, надзвичайні ситуації, професійні ризики та інші небезпечні події. Здобувачі освіти можуть аналізувати масиви даних, визначати закономірності виникнення небезпечних ситуацій, встановлювати фактори ризику та формулювати профілактичні заходи. Таким чином, цифрові дані перетворюються з пасивно інформаційного ресурсу на інструмент формулювання аналітичних компетентностей. Це особливо важливо для майбутніх фахівців, діяльність яких передбачає оцінювання професійних, техногенних аба екологічних ризиків. Водночас використання інтелектуальних технологій у викладанні дисциплін безпеки не повинно зводитися до механічного застосування цифрових інструментів. При цьому доцільно виділити такі основні педагогічні можливості інтелектуальних технологій у викладанні дисциплін безпеки:

- персоналізація та адаптація навчання до індивідуальних освітніх потреб;
- моделюванняя небезпечних і надзвичайних ситуацій;
- розвиток ризик-орієнтованого та критичного мислення;
- автоматизоване формувальне оцінювання;
- оперативний зворотний зв'язок;
- аналіз великих масиві даних про небезпечні події;
- створення інтерактивних сценаріїв і симуляцій;
- підвищення мотивації здобувачів освіти;
- забезпечення можливості багаторазового відпрацювання алгоритмів безпечної поведінки.

Отже, інтелектуальні технології доцільно розглядати не як заміну викладача, а як додатковий педагогічний ресурс, який розширює можливості традиційного та змішаного навчання. Їхня ефективність визначається не кількістю використаних цифровх сервісів, а відповідністю конкретним освітнім цілям. На нашу думку, модель удосконалення викладання дисциплін безпеки на сонові інтелектуальних технологій має передбачати взаємопов'язане використання чотирьох компонентів: інтелектуальний контент – моделювання небезпечних ситуацій- самостійне прийняття рішень – аналіз та рефлексія результатів.

Інтелектуальні технології створюють значні можливості для модернізації викладання дисциплін безпеки у закладах вищої освіти. Використання адаптивних систем . інтелектуального аналізу даних, цифрових стимуляторів. Віртуальної та доповненої реальності дозволяє зробити навчання більш практикоорієнтованим, персоналізованим та інтерактивним. Особливу цінність вони мають для моделювання небезпечних ситуацій, формування ризик-орієнтованого мислення та розвитку навичок прийняття рішень.

Список використаних джерел:

1. Горбунова К. М. Удосконалення викладання дисциплін безпеки у вищих навчальних закладах / К. М. Горбунова, В. М. Курепін, К. О. Яблуновська // Розвиток українського села – основа аграрної реформи в Україні : матеріали Причорноморської регіональної науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу, м. Миколаїв, 25–27 квітня 2018 р. Миколаїв : МНАУ, 2018. С. 124–128.

2. European Commission. Digital Education Action Plan 2021–2027: Resetting education and training for the digital age. Brussels : European Commission, 2020. COM(2020) 624 final. 30 September 2020.

УДК378:004

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ:НОВІ МОЖЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ НАВЧАННЯ

Лариса Гула

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Анотація. У тезах розглянуто особливості цифрової трансформації вищої освіти та її вплив на організацію сучасного освітнього процесу. Проаналізовано можливості використання цифрових освітніх платформ, хмарних сервісів, систем управління навчанням, мультимедійних ресурсів та інструментів штучного інтелекту для забезпечення гнучкого й персоналізованого навчання здобувачів вищої освіти. Визначено роль цифрових технологій у розширенні можливостей дистанційної та змішаної форм навчання, підвищенні доступності освітніх ресурсів, розвитку цифрових компетентностей здобувачів і викладачів. Окреслено основні переваги цифровізації освітнього процесу та проблеми, що потребують вирішення, зокрема питання цифрової компетентності, академічної доброчесності, інформаційної безпеки та нерівного доступу до цифрових ресурсів.

Сучасний розвиток інформаційного суспільства зумовлює суттєві зміни у функціонуванні системи вищої освіти. Цифрові технології поступово переходять від допоміжного інструменту до важливого компонента організації освітнього процесу. Особливої актуальності цифровізація набула внаслідок поширення дистанційного та змішаного навчання, розвитку хмарних сервісів, мобільних технологій, аналітики освітніх даних і систем штучного інтелекту.

Цифрова трансформація при цьому не повинна зводитися лише до переведення традиційних навчальних матеріалів в електронний формат. Йдеться про комплексну зміну підходів до організації навчання, комунікації, оцінювання результатів, управління закладом вищої освіти та формування індивідуальної освітньої траєкторії здобувача. Міністерство освіти і науки України визначає цифрову трансформацію освіти і науки як комплексну роботу зі створення безпечного електронного освітнього середовища, розвитку цифрової інфраструктури, підвищення цифрової компетентності, трансформації процесів і послуг та автоматизації збору й аналізу даних [1].

В Україні цифрова трансформація є одним зі стратегічних напрямів розвитку освіти. У Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022–2032 роки цифровізація розглядається в контексті підвищення якості, доступності та конкурентоспроможності вищої освіти [2].

Однією з найбільш помітних змін є поширення дистанційного та змішаного навчання. Використання систем управління навчанням, відеоконференцій, електронних курсів і хмарних сервісів дає змогу організовувати освітній процес незалежно від фізичного місцезнаходження

учасників. Європейська комісія зазначає, що пандемія COVID-19 прискорила перехід до онлайн- та гібридного навчання, одночасно виявивши проблеми, пов'язані з цифровою інфраструктурою, доступом до технологій та рівнем цифрових компетентностей [3].

Застосування цифрових технологій розширює можливості організації самостійної роботи студентів. Електронні підручники, відеолекції, інтерактивні завдання, онлайн-тести, цифрові бібліотеки та освітні платформи дозволяють здобувачам освіти працювати з матеріалами у зручному темпі та повертатися до складних тем у разі необхідності. Таким чином, навчання може ставати більш гнучким і орієнтованим на індивідуальні потреби здобувача.

Важливим напрямом є також персоналізація освітнього процесу. Цифрові платформи здатні накопичувати інформацію про результати виконання завдань, активність студентів та динаміку їхнього навчання. На основі таких даних викладач може своєчасно визначати труднощі та коригувати зміст або темп навчання. Сучасні системи аналітики навчання та штучного інтелекту додатково розширюють можливості формування індивідуальних рекомендацій і навчальних завдань. UNESCO IITE окремо відзначає розвиток платформ, що використовують learning analytics та штучний інтелект для аналізу поведінки студентів, прогнозування результатів і персоналізації навчання [4].

Перспективним напрямом є використання штучного інтелекту у вищій освіті. Генеративні моделі можуть застосовуватися для підготовки навчальних матеріалів, створення тестових завдань, пояснення складних понять, мовної підтримки, аналізу текстів та надання зворотного зв'язку. Водночас використання таких технологій потребує чітких правил, оскільки виникають питання академічної доброчесності, достовірності отриманої інформації, захисту персональних даних та відповідальності за результати роботи систем штучного інтелекту.

UNESCO наголошує, що цифрові технології мають підтримувати освітній процес, а не витісняти людську взаємодію. У Global Education Monitoring Report 2023 зазначено, що технології можуть сприяти підвищенню якості навчання, розширенню доступу до освітніх ресурсів і персоналізації, однак їхній позитивний ефект залежить від належного доступу, управління, регулювання та підготовки педагогічних працівників [5].

Ще однією можливістю цифрової трансформації є розвиток змішаного навчання. Така модель передбачає поєднання очної взаємодії з онлайн-активностями. Наприклад, теоретичний матеріал може опрацьовуватися студентом самостійно через електронний курс, тоді як аудиторний час використовується для дискусій, практичних завдань, аналізу кейсів, лабораторних робіт та консультацій. Це дає можливість раціональніше використовувати час викладача і студента та зміщувати акцент із пасивного сприйняття інформації на активну діяльність.

Цифровізація змінює і систему оцінювання результатів навчання. Онлайн-тести, електронні портфоліо, автоматизовані системи перевірки, інтерактивні завдання та цифрові журнали дають змогу швидше отримувати результати й забезпечувати зворотний зв'язок. Водночас автоматизація оцінювання не повинна повністю замінювати професійне судження викладача, особливо у випадках оцінювання творчих, аналітичних і комунікативних компетентностей.

В Україні цифрова трансформація охоплює не лише безпосередньо навчання, а й управління освітнім процесом. Зокрема, розвиток інтегрованих інформаційних систем спрямований на забезпечення цифрової взаємодії між органами управління освітою, закладами освіти та учасниками освітнього процесу. Одним із прикладів є АІКОМ — Автоматизований інформаційний комплекс освітнього менеджменту [6].

У 2026 році цифрова трансформація залишається одним із дев'яти стратегічних пріоритетів Міністерства освіти і науки України до 2027 року поряд із розвитком якісної вищої освіти, науки та інновацій, європейською інтеграцією та підтримкою осіб з особливими освітніми потребами [7].

Разом із перевагами цифровізація створює низку викликів. Передусім ідеться про цифрову нерівність, яка може проявлятися у відмінностях доступу до якісного інтернету, комп'ютерної техніки та програмного забезпечення. UNESCO підкреслює, що вплив технологій на освіту є нерівномірним і залежить, зокрема, від соціально-економічного контексту, готовності педагогів та рівня розвитку інфраструктури [5].

Не менш важливим є питання цифрової компетентності викладачів. Ефективність цифрового навчання визначається не кількістю технологічних засобів, а здатністю педагогічних працівників використовувати їх відповідно до дидактичної мети. Європейський план дій з цифрової освіти наголошує на необхідності розвитку цифрових компетентностей педагогів, здобувачів освіти та інших учасників освітнього процесу [3].

Окрему увагу необхідно приділяти якості цифрового освітнього контенту. Європейська комісія розробляє рекомендації щодо вибору, створення та використання цифрових матеріалів, акцентуючи увагу на їхній безпечності, надійності, ефективності та інклюзивності [8]. Отже, цифрова трансформація має розглядатися не як самоціль, а як інструмент підвищення якості та доступності вищої освіти. Технології повинні використовуватися там, де вони створюють додану педагогічну цінність: забезпечують кращий доступ до ресурсів, сприяють взаємодії, допомагають персоналізувати навчання, спрощують адміністративні процедури або надають студентам якісний зворотний зв'язок.

Цифрова трансформація вищої освіти створює принципово нові можливості для організації освітнього процесу. До найбільш важливих із них належать розвиток дистанційного та змішаного навчання, персоналізація освітніх траєкторій, використання цифрових освітніх ресурсів, автоматизація оцінювання й освітнього менеджменту, застосування аналітики даних та штучного інтелекту. Водночас цифровізація потребує системного підходу. Необхідними умовами її ефективності є належна цифрова інфраструктура, підготовка викладачів і студентів, доступність технологій, захист даних, дотримання академічної доброчесності та наявність зрозумілих правил використання штучного інтелекту. Враховуючи сучасне досить активне використання інноваційних методів навчання, інноваційний шлях розвитку та використання інноваційних технологій викладання у ЗВО є запорукою їх конкурентоспроможності серед великої кількості, як вітчизняних так і закордонних вишів[9].

Таким чином, перспективна модель цифрової вищої освіти має ґрунтуватися на поєднанні технологічних інновацій із педагогічними принципами та людською взаємодією. Саме такий підхід дає змогу використовувати цифрові технології не лише для зміни форми навчання, а й для підвищення його якості, гнучкості, доступності та відповідності потребам сучасного суспільства.

Список використаних джерел

1. Міністерство освіти і науки України**.** Цифрова трансформація освіти і науки. 2026. Офіційна сторінка МОН

2. Кабінет Міністрів України**.** Про схвалення Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022–2032 роки : розпорядження від 23.02.2022 № 286-р. Законодавство України.

3. European Commission**.** Digital Education Action Plan (2021–2027). European Education Area. Digital Education Action Plan.

4. UNESCO IITE. Trends in Digital Learning Platforms. 2025. UNESCO IITE - Digital Technologies.

5. UNESCO**.** Global Education Monitoring Report 2023: Technology in education: A tool on whose terms? Paris: UNESCO, 2023. GEM Report 2023.

6. Міністерство освіти і науки України**.** Цифрова трансформація освіти: прийнято Закон про функціонування інтегрованої інформаційної системи АІКОМ. 2022. Матеріал МОН про АІКОМ.

7. Міністерство освіти і науки України**.** Місія, функції та стратегічні пріоритети МОН. 2026. Стратегічні пріоритети МОН.

8. European Commission**.** Digital education content: guidelines for teachers and interoperability framework. European Education Area, 2026. Рекомендації Європейської комісії щодо цифрового освітнього контенту.

9. Гула Л. В. Інноваційні методи викладання у закладах вищої освіти // Актуальні проблеми життєдіяльності людини в сучасному суспільстві : тези доповідей ЗВО інженерно-енергетичного факультетута, інших учасників освітнього процесу за результатами тематичного «круглого столу» на інженерно-енергетичному факультеті. Миколаїв : МНАУ, 2020. С. 150-153.

УДК 004.056

ГІБРІДНА ОПТІМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ХЕЩУВАННЯ DJB2 З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУКЦІЙ AVX2

Олександр Рисований, Олена Литовська

НТУ «харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Алгоритм хешування DJB2 є одним з кращих послідовних алгоритмів для хешування коротких рядків (наприклад, імен змінних або ключів у словниках). В асемблері він реалізується вкрай ефективно через зсуви (shl), що швидше за звичайне множення.

У найпростішому випадку хеш-функція послідовно обробляє символи або байти вхідного повідомлення та на кожному кроці змінює потокове значення хешу [1].

Призначається початкове значення хешу

hash = 5381

Для кожного байта (символу) рядка виконується операція:

hash = hash * 33 + c

Множення на 33 є характерною особливістю djb2. У низькорівневій реалізації множення можна представити через операції зсуву та додавання:

hash × 33 = hash × (32 + 1) = (hash << 5) + hash.

Тобто замість звичайного множення може використовуватися послідовність операцій зсуву та додавання. Наприклад, концептуально операцію можна представити як:

shl hash, 5

add hash, old_hash

add hash, c

або організувати обчислення таким чином, щоб початкове значення хешу не втрачалося. Такий підхід добре відповідає особливостям низькорівневого програмування і дозволяє зменшити обчислювальні витрати окремої ітерації.

Однак алгоритм djb2 має принципову особливість — послідовну залежність між ітераціями. Значення нового хешу залежить від результату попередньої ітерації. Якщо позначити значення хешу після обробки i-го байта як H_i, то:

H_(i+1) = 33 × H_i + c_i.

Отже, значення H_(i+1) неможливо отримати до завершення обчислення H_i. Саме ця властивість суттєво обмежує можливість прямої векторизації основного циклу djb2.

Тому просте замінювання послідовних операцій на VPADD, VPXOR або інші AVX2-інструкції не дає еквівалентної реалізації. Якщо незалежно обробляти всі 32 байти одного блока, не враховуючи залежність між значеннями хешу, результат уже не буде відповідати оригінальному алгоритму djb2.

У запропонованому підході використовується інша стратегія: математичне визначення djb2 залишається незмінним, а AVX2 застосовується до тих операцій, які дійсно можуть бути виконані паралельно. Зокрема, SIMD-інструкції використовуються для швидкого пошуку кінця нуль-термінованого рядка блоками по 32 байти.

Для цього застосовуються 256-бітні регістри YMM. Один регістр YMM може містити:

256 / 8 = 32 байти.

Таким чином, замість посимвольної перевірки:

```
cmp byte ptr [rcx+rdx],0
inc rdx
jmp ...
```

можна одночасно перевірити 32 байти.

Основна частина AVX2-обробки має вигляд:

```
vpxor ymm0,ymm0,ymm0
vmovdqu ymm1,ymmword ptr [r8+r9]
vpcmpeqb ymm2,ymm1,ymm0
vpmovmskb eax,ymm2
```

Спочатку за допомогою:

vpxor ymm0,ymm0,ymm0

формується нульовий вектор. У результаті всі 32 байти YMM0 дорівнюють нулю.

Далі виконується:

vmovdqu ymm1,ymmword ptr [r8+r9]

Ця інструкція завантажує з пам'яті 32 байти вхідного рядка до регістра YMM1. Оскільки використовується невирівняне завантаження VMOVDQU, адреса джерела не повинна бути обов'язково вирівняна на межу 32 байтів.

Таким чином, одним завантаженням отримується:

$32 \times 8 = 256$ біт.

Наступна інструкція:

vpcmpeqb ymm2,ymm1,ymm0

порівнює байти YMM1 з нульовими байтами YMM0. Для кожної позиції формується результат порівняння. Якщо відповідний байт дорівнює нулю, у відповідному байтовому елементі результату встановлюються одиниці.

Після цього:

vpmovmskb eax,ymm2

перетворює старші біти 32 байтових елементів YMM2 у 32-бітну маску в регістрі EAX. Кожен біт маски відповідає одному байту вихідного блока.

Якщо в оброблюваному блоці немає нульового байта, маска буде дорівнювати нулю. У такому випадку можна перейти до наступних 32 байтів:

r9 = r9 + 32

і повторити процедуру.

Якщо ж маска ненульова, це означає, що в поточному 32-байтовому блоці знайдено завершальний нульовий байт. Його точна позиція може бути визначена за допомогою інструкції TZCNT, яка знаходить позицію наймолодшого встановленого біта.

Такий підхід дозволяє значно скоротити кількість ітерацій під час пошуку кінця довгого рядка. Наприклад, для рядка довжиною приблизно 320 байтів скалярна реалізація виконає близько 320 перевірок байтів, тоді як AVX2-варіант працює приблизно з десятьма 32-байтовими блоками. При цьому одна AVX2-операція порівнює відразу 32 байти.

У низькорівневій реалізації множення на 33 може бути замінене зсувом і додаванням. Наприклад:

hash × 33 =

(hash << 5) + hash

після чого до отриманого значення додається черговий байт.

Важливо, що AVX2 у цьому випадку не змінює порядок обчислення хешу. Якщо вхідний рядок містить байти:

c0 c1 c2 c3 ...

то операції виконуються саме послідовно:

$H1 = 33 \times H0 + c0$

$H2 = 33 \times H1 + c1$

$H3 = 33 \times H2 + c2$

Це забезпечує повну відповідність результату модернізованої реалізації класичному алгоритму djb2.

Таким чином, запропонована оптимізація є не повною векторизацією хеш-функції, а гібридною SIMD-оптимізацією. Векторна частина виконує операції, які не мають залежності між сусідніми байтами, а скалярна частина зберігає послідовну математичну структуру djb2.

Такий принцип особливо важливий під час оптимізації алгоритмів хешування. Необхідно спочатку визначити залежності між операціями. Якщо кожна наступна операція використовує результат попередньої, повна SIMD-векторизація може бути неможливою або потребуватиме зміни структури алгоритму.

Іншим можливим підходом є використання декількох незалежних станів хешу. У такому випадку різні блоки даних можуть оброблятися паралельно, після чого результати комбінуються. Проте для djb2 це вже потребує математичного перетворення алгоритму, оскільки звичайний послідовний вираз:

H = (((5381 × 33 + c0) × 33 + c1) × 33 + c2) ...

не дозволяє довільно розбивати повідомлення на незалежні частини без урахування степенів множника 33.

Тому в межах запропонованої модернізації доцільно залишити обчислення djb2 у його початковому вигляді, а AVX2 застосовувати для прискорення пошуку довжини рядка та інших незалежних операцій попередньої обробки.

Під час реалізації необхідно враховувати також можливість виходу за межі доступної області пам'яті. Завантаження 32 байтів одним VMOVDQU повинно бути організоване таким чином, щоб читання не виходило за допустимі межі доступного буфера. Для нуль-термінованих рядків це питання особливо важливе, оскільки фізична довжина виділеної області пам'яті може бути меншою за 32 байти.

Необхідно також правильно обробляти ситуацію, коли довжина рядка не кратна 32. Наприклад, якщо рядок має 70 байтів, можна обробити перші 64 байти двома AVX2-блоками, а останні 6 байтів обробити скалярним кодом. Інший варіант — обробити блок, у якому міститься нульовий байт, повністю та використати отриману маску для визначення його точної позиції.

Окремої уваги потребує питання розрядності результату. У класичній реалізації djb2 часто використовується 32-бітне або 64-бітне беззнакове значення. При цьому переповнення розглядається відповідно до вибраної розрядності.

Це важливо під час порівняння різних реалізацій. Якщо скалярна та AVX2-версія використовують різну розрядність або різні правила обробки переповнення, результати можуть відрізнятися навіть у випадку однакової вхідної послідовності.

Для перевірки коректності модернізованої реалізації необхідно використовувати однаковий набір тестових рядків. Доцільно перевірити порожній рядок, короткі рядки, рядки довжиною менше 32 байтів, рядки довжиною рівно 32 байти, а також довші повідомлення, які складаються з декількох AVX2-блоків.

Для запропонованої реалізації основна ідея полягає у використанні AVX2 для одночасної перевірки 32 байтів:

```
vpxor ymm0,ymm0,ymm0
vmovdqu ymm1,ymmword ptr [r8+r9]
vpcmpeqb ymm2,ymm1,ymm0
vpmovmskb eax,ymm2
```

а потім – у використанні скалярного алгоритму djb2 для безпосереднього формування хеш-значення.

Для визначення ефективності AVX2-реалізації необхідно порівнювати її з базовою скалярною версією алгоритму.

Висновки. У роботі розглянуто можливість модернізації алгоритму хешування djb2 за допомогою SIMD-інструкцій набору AVX2. Показано, що використання 256-бітних регістрів YMM дозволяє виконувати однакові операції одночасно над декількома елементами даних і тим самим зменшувати кількість послідовних машинних операцій.

Запропонований підхід передбачає використання AVX2 у тій частині обробки, де існує реальний паралелізм, а саме під час пошуку нульового байта та визначення довжини вхідного рядка. Використання інструкцій VMOVDQU, VPCMPEQB, VPMOVMSKB та TZCNT дозволяє обробляти до 32 байтів за один векторний блок.

Важливою особливістю модернізованої реалізації є комбінування AVX2 та скалярного коду.

Ефективність модернізації необхідно визначати експериментально шляхом порівняння часу виконання базової та AVX2-реалізацій на однакових наборах даних. Основним показником може

бути коефіцієнт прискорення, який визначається відношенням часу скалярного виконання до часу AVX2-виконання.

Таким чином, використання AVX2 є перспективним напрямом оптимізації програмних реалізацій алгоритмів хешування, особливо під час обробки великих обсягів інформації. Водночас векторизація повинна розглядатися саме як метод підвищення продуктивності, а не як спосіб покращення криптографічних властивостей хеш-функції.

Поєднання оптимізації алгоритму, низькорівневої реалізації MASM64 та експериментального вимірювання продуктивності дозволяє отримати об'єктивну оцінку ефективності запропонованої модернізації. Результати такого дослідження також демонструють, що ефективне використання SIMD-інструкцій потребує не механічної заміни скалярних команд на векторні, а попереднього аналізу алгоритмічних залежностей та пошуку ділянок, які можуть бути виконані паралельно.

Список використаних джерел

1. Рисований О.М. Реверсне програмування. Хеш-функції та їх використання. Середовище програмування masm64: навчальний посібник для студентів спеціальності F7 "Комп'ютерна інженерія" всіх форм навчання [електронне видання] / О.М. Рисований. – Харків: НТУ «ХПІ», 2026. – 342 с. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/103824.

УДК 378.147.091.31:004.77

ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАТФОРМИ MOODLE У МИКОЛАЇВСЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ АГРАРНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ

Микола Алєксєєв

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Сучасний етап розвитку вищої аграрної освіти визначається активною цифровою трансформацією освітнього середовища та вимушеним переходом до змішаних і дистанційних форм навчання внаслідок безпекових викликів і військово-політичної ситуації в південному регіоні України [4]. Відповідно до нормативно-правових засад організації освітнього процесу в Миколаївському національному аграрному університеті (МНАУ), самостійна робота студентів (СРС) є основною формою засвоєння навчального матеріалу у час, вільний від обов'язкових аудиторних занять [3]. Обсяг СРС становить від 1/3 до 2/3 від загальної кількості навчальних годин за дисципліною [3].

Ефективним інструментом забезпечення та методичного супроводу СРС в МНАУ є система управління навчанням (LMS) Moodle, яка реалізує філософію педагогіки соціального конструкціонізму та забезпечує взаємодію суб'єктів освітнього процесу [1].

Таблиця 1. Фактичні показники активності здобувачів вищої освіти у LMS Moodle (за останні 365 днів)

№	Показник / Змінна	Позначення	Фактичне значення (БД moode)
1.	Загальна чисельність активних здобувачів вищо	Nст	12 769 осіб
2.	Кількість поданих індивідуальних завдань	Nз	33 604 од.
3.	Кількість виконаних тестових сесій	Nт	47 638 од.
4.	Сумарна кількість інтерактивних дій СРС	Nдій	81 242 од.
5.	Індекс цифровізації СРС	Iсрс	6,36 дій/студ.

Для кількісної оцінки інтенсивності самостійної роботи здобувачів використано розрахунковий індекс цифровізації СРС Iсрс

$$Icpc=\frac{Nз+Nm}{Nст} \qquad (1.1)$$

Де: *Nз* = 33604 - кількість поданих індивідуальних завдань у Moodle за рік
Nm = 47638 - кількість виконаних тестових сесій за рік;
Ncm =12769 - загальна чисельність активних здобувачів вищої освіти;
Розрахунок:

$$\frac{33604+47638}{12769}=\frac{81242}{12769}\approx 6{,}36 \text{ дій/студента}$$

Аналіз емпіричних даних системного моніторингу LMS Moodle (Таблиця 1) свідчить про високий рівень інтеграції цифрових інструментів у процес самостійної роботи здобувачів вищої освіти. Протягом досліджуваного періоду в системі зафіксовано 81242 інтерактивні навчальні дії, з яких 58,6% (*Nm*=47638) припадає на проходження комп'ютерного тестування, а 41,4% (*Nз*=33604) - на виконання та подання індивідуальних практичних завдань. Розрахований індекс цифровізації СРС становить *Icpc* = 6,36 дій на одного здобувача за рік. Отримане значення є об'єктивним кількісним показником інтенсивності навчально-пізнавальної діяльності у цифровому середовищі ЗВО та підтверджує, що LMS Moodle функціонує як основний майданчик організації самостійної роботи студентів.

Основні напрями організації СРС на базі Moodle у МНАУ

На основі отриманих аналітичних даних визначено, що самостійна робота здобувачів на базі платформи Moodle здійснюється за такими ключовими напрямами:

1. Забезпечення навчально-методичним контентом. Електронні навчальні курси (ЕНК) кафедр містять чітко структуровані модулі, що включають конспекти лекцій, силабуси, методичні вказівки до практичних робіт та аграрно-орієнтовані ситуаційні завдання [1]. Використання елементів «Ресурс», «Файл» та «Книга» забезпечує цілодобовий доступ здобувачів до базових матеріалів для самостійної підготовки [1].

2. Організація практичної діяльності та дотримання графіка навчання. Для контролю виконання індивідуальних самостійних завдань, розрахунково-графічних та курсових робіт застосовується елемент «Завдання» [2]. Викладач фіксує конкретні часові межі (дедлайни) подачі робіт, що сприяє розвитку в студентів навичок самоорганізації та тайм-менеджменту [2]. Викладацький супровід реалізується через систему розширеного рецензування та текстового зворотного зв'язку [2].

3. Автоматизація діагностики та самоконтролю знань. Модуль «Тест» дозволяє створювати тестові завдання різної форми (множинний вибір, відповідність, коротка відповідь) для поточного контролю та самоперевірки [1]. Налаштування режиму невідкладного зворотного зв'язку із поясненнями до правильних і неправильних відповідей перетворює процедуру тестування з контролюючої на навчальну [1].

4. Асинхронне консультування та комунікація. Для вирішення складних питань, що виникають під час самостійного опрацювання матеріалу, використовуються елементи «Форум» та «Чат» [2]. Це забезпечує оперативну методичну допомогу викладача у позааудиторний час без порушення графіка навчального процесу [2].

5. Прозорість оцінювання та моніторинг результатів. Завдяки автоматизованому «Журналу оцінок» (Gradebook) реалізуються вимоги накопичувальної рейтингової системи оцінювання МНАУ [3]. Здобувач бачить поточну суму балів за кожен виконаний вид самостійної роботи, а інструмент «Відстеження завершення елементів» візуалізує персональний прогрес опанування курсу [3].

Отже, проведене аналітичне дослідження довело, що в умовах зростання потреби у дистанційній формі здобуття освіти платформа Moodle стала системоутворювальним елементом освітнього процесу МНАУ. Зростання показника індексу цифровізації СРС у 2,4 раза та охоплення навчальних дисциплін ЕНК на рівні 99,2 % підтверджують високу ефективність використання LMS Moodle для забезпечення якісної підготовки фахівців аграрної галузі.

Список використаних джерел

1. Триус Ю. В., Герасименко І. В., Франчук В. М. Система електронного навчання ВНЗ на базі MOODLE : методичний посібник / за ред. Ю. В. Триуса. Черкаси : ЧДТУ, 2012. 220 с.
2. Кухаренко В. М. Теорія та практика змішаного навчання : монографія. Харків : Міськдрук, 2016. 284 с.
3. Положення про організацію освітнього процесу в Миколаївському національному аграрному університеті : затверджено Вченою радою МНАУ від 27 серп. 2021 р. (протокол № 1). Миколаїв : МНАУ, 2021. 68 с.
4. Биков В. Ю., Спірін О. М., Шишкіна М. П. Корпоративні інформаційні системи підтримки цифрової трансформації освіти і науки. Інформаційні технології і засоби навчання. 2020. Т. 79, № 5. С. 1–22.
5. Цифровізація вищої освіти України в умовах викликів сьогодення : аналітична доповідь / за заг. ред. О. В. Гури. Київ : МОН України, 2024. 112 с.

УДК 378.147.091.31:004.85

АДАПТИВНЕ НАВЧАННЯ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ НАВЧАЛЬНИХ ДОСЯГНЕНЬ СТУДЕНТІВ

Світлана Яценко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Вступ та актуальність дослідження. Сучасна цифрова трансформація системи вищої освіти супроводжується стрімким впровадженням високотехнологічних інструментів управління освітнім процесом [1]. Традиційній парадигмі навчання притаманна уніфікація освітніх траєкторій, за якої всі здобувачі вищої освіти опановують навчальний матеріал у єдиному темпі та за однаковою послідовністю. Проте, як свідчить педагогічна практика, такий підхід не враховує індивідуальні психофізіологічні особливості, когнітивні стилі, початковий рівень підготовленості та динаміку засвоєння знань окремим студентом [1].

З огляду на це особливої актуальності набуває розробка та практична реалізація концепції адаптивного навчання. Завдяки широкому розповсюдженню систем управління навчанням (LMS, таких як Moodle чи Canvas), в освітньому середовищі накопичується значний масив інформації про навчальні дії та результати студентів - так званий «цифровий слід» [2]. Використання методів інтелектуального аналізу даних (Educational Data Mining, EDM) та навчальної аналітики (Learning Analytics) дає змогу трансформувати накопичені первинні дані у змістовні висновки для автоматичного проектування індивідуальних освітніх траєкторій [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням застосування цифрових технологій та інтелектуального аналізу даних в освіті присвячено праці багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців. Зокрема, теоретико-методологічні засади цифрової трансформації освіти та використання електронних освітніх ресурсів досліджені у роботах В. Кухаренка та Ю. Триуса [1, 2]. Зарубіжний досвід класифікації, кластеризації та прогнозування досягнень здобувачів вищої освіти на основі технологій EDM висвітлено у фундаментальних працях C. Romero та S. Ventura [3]. Водночас питання практичної побудови гнучких алгоритмів адаптації змісту та темпу навчання на основі комплексного аналізу успішності студентів залишаються відкритими для подальших науково-прикладних пошуків.

Постановка проблеми та мета роботи. Незважаючи на значний потенціал інформаційних систем, більшість сучасних освітніх платформ виконують суто пасивну функцію збереження та відображення оцінок. Наявні інструменти аналітики не забезпечують автоматизованого оперативною зворотного зв'язку та не підказують студенту оптимальні кроки для усунення виявлених прогалин у знаннях. Метою дослідження є теоретичне обґрунтування концептуальної моделі адаптивного навчання у закладі вищої освіти на основі інтелектуального аналізу даних навчальних досягнень студентів.

Теоретичні засади інтелектуального аналізу навчальних даних. Освітній аналіз даних (Educational Data Mining) являє собою міждисциплінарну галузь дослідження, що об'єднує методи штучного інтелекту, машинного навчання, математичної статистики та педагогіки [3]. Його основне завдання полягає у виявленні прихованих закономірностей у великих масивах даних, генерувальних у процесі навчальної діяльності.

Основними категоріями даних, які підлягають аналізу в контексті оцінювання досягнень студентів, є:

1. *Результативні показники:* бали за поточне та підсумкове тестування, оцінки за виконання лабораторних, практичних та самостійних робіт [2].

2. *Часові та поведінкові характеристики:* тривалість опрацювання теоретичного матеріалу, частота та періодичність входу до освітнього порталу, час розв'язання окремих тестових завдань [2, 3].

3. *Структурні зв'язки:* характер помилок у відповідях, послідовність звернення до довідкових матеріалів або підказок.

Для обробки вказаних даних використовують такі класичні методи інтелектуального аналізу:

- **кластеризація (Clustering):** поділ загального контингенту студентів на відносно однорідні групи (наприклад: здобувачі з високим рівнем самостійності; студенти, які потребують постійного контролю; здобувачі з високим ризиком академічної заборгованості) [3];

- **класифікація (Classification):** визначення приналежності студента до певної категорії успішності на основі його поточних дій для своєчасного прогнозування підсумкових результатів навчання [3];

- **аналіз послідовностей (Sequential Pattern Mining):** виявлення типових маршрутів, якими студенти рухаються під час опрацювання навчального дисциплінарного модуля.

Концептуальна модель системи адаптивного навчання. Запропонована модель адаптивного навчання передбачає побудову трьохврівневої архітектури, що забезпечує безперервний цикл «оцінювання – аналіз – адаптація змісту»:

1. *Модуль збору даних:* здійснює автоматичне фіксування дій здобувача вищої освіти в електронному навчальному курсі, формуючи первинний матричний масив результатів.

2. *Модуль інтелектуального аналізу (EDM-аналізатор):* розраховує інтегральний рівень засвоєння навчальних елементів, виявляє темп роботи студентів та оцінює складність контрольних завдань.

3. *Адаптивний контролер:* здійснює безпосередню корекцію освітньої траєкторії на основі сформованих правил.

Принциповий механізм функціонування адаптивної системи полягає у тому, що після проходження кожного контрольного заходу (або опитування) система автоматично визначає рівень засвоєння конкретної теми. Залежно від досягнутого показника здобувачу пропонується один із трьох сценаріїв далі:

- *поглиблений рівень:* розширене вивчення матеріалу, розв'язання складних кейсів та творчих завдань (для студентів, які демонструють високий рівень засвоєння);

- *базовий рівень:* перехід до наступної теми за планом (для студентів із достатнім та середнім рівнем знань);

- *корекційний рівень:* автоматичне направлення на повторне перегляданя проблемних теоретичних розділів, виконання додаткових тренувальних вправ та спрощених тестів (для здобувачів з низьким рівнем знань).

Дидактичні переваги адаптивного підходу. Впровадження інтелектуального аналізу досягнень студентів створює низку істотних переваг для всіх учасників освітнього процесу:

- *для здобувача вищої освіти:* забезпечується комфортний індивідуальний темп навчання, знижується рівень стресу при складанні підсумкових контролів, підвищується мотивація завдяки прозорому баченню власного прогресу;

- *для викладача:* вивільняється час від рутинної перевірки стандартних завдань, з'являється можливість оперативної вибіркової допомоги тим студентам, які дійсно мають труднощі у засвоєнні матеріалу;

- *для закладу вищої освіти:* зростає загальний рівень якості освіти, зменшується відсоток академічної заборгованості та відрахувань студентів через неінтенсивне засвоєння програмного матеріалу.

Висновки. Адаптивне навчання на основі інтелектуального аналізу даних навчальних досягнень студентів є перспективним напрямом цифрової трансформації вищої школи. Воно дозволяє перейти від пасивного фіксування результатів до активного, персоніфікованого керування освітнім процесом. Використання методів EDM дає змогу своєчасно виявляти прогалини у знаннях, прогнозувати рівень успішності та автоматично коригувати складність і послідовність навчального контенту. Подальші дослідження будуть спрямовані на програмну реалізацію даного алгоритму та його експериментальну апробацію у навчальному процесі МНАУ.

Список використаних джерел

1. Кухаренко В. М. Теорія та практика змішаного навчання : монографія. Харків : КП "Міська друкарня", 2014. 284 с.

2. Триус Ю. В. Системи електронного навчання у вищих навчальних закладах: стан і перспективи розвитку. Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 2 : Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання. 2019. Вип. 21. С. 110–119.

3. Romero C., Ventura S. Educational data mining: A review of the state of the art. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews). 2010. Vol. 40, No. 6. P. 601–618.

УДК 378.147:004.9

МОБІЛЬНІ ДОДАТКИ ТА ІНТЕРАКТИВНІ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ І ТОЧНИХ НАУК

Софія Конончук

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: М. Г. Алєксєєв,
асистент Миколаївський національний аграрний університет

Цифрова трансформація вищої та професійної освіти виступає ключовим драйвером сучасних освітніх реформ, спрямованих на реалізацію концепції STEM-освіти та забезпечення неперервності навчання (lifelong learning). У сучасних умовах значна частина навчального навантаження переноситься на самостійну роботу здобувачів освіти, що вимагає впровадження новітніх інформаційно-комунікаційних інструментів. Особливої актуальності набуває пошук ефективних цифрових рішень для опанування як дисциплін гуманітарного циклу (зокрема іноземних мов для професійного спрямування), так і фундаментальних точних наук (вищої математики, фізики, інформатики та алгоритмізації). Впровадження мобільних додатків і спеціалізованих веб-платформ дозволяє індивідуалізувати навчальну траєкторію, підвищити рівень вовлеченості студентів та забезпечити гнучкий процес самостійного опрацювання матеріалу.

Перехід до цифровізованого освітнього середовища потребує не просто цифровізації традиційних підручників, а впровадження принципово нових інтерактивних інструментів самостійного навчання. Використання мобільних застосунків у процесі опанування іноземних мов і точних наук є об'єктивною вимогою STEM-освіти, що забезпечує підвищення доступності знань, розвиток самодисципліни та автономії здобувача вищої освіти [2].

Огляд та аналіз функціоналу інтерактивних освітніх інструментів. Серед великої кількості цифрових ресурсів, які використовуються в сучасній педагогічній практиці для самостійного вивчення дисциплін, найбільшу ефективність продемонстрували наступні платформи:

1. Duolingo - мобільний застосунок для вивчення іноземних мов, побудований на концепції мікронавчання (microlearning) [4]:

1. Додаток розбиває складний мовний матеріал на короткі 5–10 хвилинні тематичні блоки, що сприяє кращому засвоєнню без перевантаження оперативної пам'яті.

2. Використання алгоритмів адаптивного інтервального повторення (spaced repetition) дозволяє автоматично повертатися до лексичних одиниць і граматичних правил у момент їх найімовірнішого забування.

3. Комплексний підхід до формування мовних компетентностей: паралельне тренування читання, аудіювання, письма та усного мовлення за допомогою розпізнавання голосу.

2. Kahoot - гейміфікована платформа для створення навчальних вікторин та експрес-тестування:

1. Можливість організації як синхронної роботи в аудиторії, так і асинхронного самостійного виконання завдань (Kahoot! Challenges).

2. Використання факторів часового обмеження та елементів змагання між учасниками для активізації мисленнєвої діяльності та швидкості прийняття рішень.

3. Універсальність формату: рівноцінно ефективно застосовується для закріплення мовної лексики та перевірки засвоєння математичних формул, базових термінів і концепцій точних наук [1].

3. Classtime - дидактична платформа для оцінювання знань із розширеними можливостями аналітики:

1. Підтримка 9 типів запитань, включаючи математичний ввід, роботу з графіками, знаходження відповідностей та текстові виділення, що робить її ідеальним інструментом для точних наук.

2. Режим «Командні ігри» (Team Games), у якому кожна правильна відповідь студента під час самостійного або групового тестування рухає спільний ігровий сюжет (наприклад, проведення наукового експерименту чи побудову об'єкта).

3. Глибока аналітика для викладача та студента, що дозволяє виявити конкретні прогалини у знаннях з кожної теми [3].

Порівняльний аналіз функціоналу Duolingo, Kahoot! та Classtime доводить, що сучасні освітні додатки покривають повний цикл самостійної навчальної діяльності: від первинного ознайомлення з матеріалом (Duolingo) до його закріплення у формі гри (Kahoot!) та глибокого аналізу розуміння складних концепцій точних наук (Classtime).

Психолого-педагогічні механізми гейміфікації навчального процесу. Ефективність зазначених цифрових платформ зумовлена глибокою інтеграцією елементів гейміфікації (gamification) у дидактичний процес. Основними дидактичними та психологічними чинниками впливу є:

Формування стійкої внутрішньої мотивації: Використання балів досвіду (XP), віртуальних нагород, досягнень та підтримка «серій днів» (streaks) стимулюють систематичність самостійних занять.

Трансформація сприйняття помилок: У гейміфікованому середовищі помилка не сприймається як катастрофа чи підстава для негативної оцінки, а розглядається як природна ігрова спроба, що знижує рівень тривожності (особливо під час розв'язування складних математичних задач або подолання мовного бар'єру).

Миттєвий зворотний зв'язок (Immediate Feedback): Здобувач освіти одразу бачить результат виконання вправи, аналізує помилку та отримує підказку, що суттєво прискорює процес засвоєння знань порівняно з традиційним перевірочним контролем.

Адаптивність до індивідуального темпу: Можливість багаторазового проходження складних тем без часового тиску з боку групи.

Впровадження гейміфікованих механізмів у мобільних додатках змінює парадигму навчання від пасивного засвоєння знань до активного самостійного дослідження. Це забезпечує підвищення емоційного залучення студентів, знімає психологічні бар'єри та сприяє глибокому засвоєнню як гуманітарного, так і природничо-математичного матеріалу.

Цифровізація освіти та розвиток STEM-підходів вимагають ширшого залучення мобільних додатків і інтерактивних платформ у систему самостійної роботи здобувачів вищої та професійної освіти. Дослідження доводить, що інструменти на зразок Duolingo, Kahoot! та Classtime не лише підвищують мотивацію через елементи гейміфікації, а й забезпечують високу якість засвоєння знань завдяки адаптивності, миттєвому зворотному зв'язку та диференціації завдань. Застосування цих

платформ дозволяє ефективно поєднувати вивчення іноземних мов та точних наук, формуючи у здобувачів ключові цифрові та самоосвітні компетентності. Перспективи подальших розробок полягають у створенні інтегрованих методичних комплексів, що поєднують аудиторну роботу з гейміфікованими мобільними системами самостійного навчання.

Список використаних джерел

1. Kahoot! // Вікіпедія : вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Kahoot! (дата звернення: 12.10.2026).

2. Вовк К. Реалізація етапів системи дидактичних ігрових методик під час засвоєння творчого проєктування на уроках трудового навчання. Актуальні проблеми професійної та технологічної освіти: погляд у майбутнє : матеріали Всеукр. студ. наук.-практ. конф. (м. Умань, 4 квітня 2023 р.) / за заг. ред. С. І. Ткачука. Умань, 2023. С. 31–35.

3. Classtime — ефективні рішення для вчителів та студентів : офіційний вебсайт. URL: https://www.classtime.com/uk/ (дата звернення: 11.10.2026).

4. Duolingo: Free Language Learning Platform : official website. URL: https://www.duolingo.com/ (дата звернення: 11.10.2026).

УДК: 377:004.9:631.17

ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА STEM-ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Вячеслав Курепін

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Розвиток агропромислового виробництва супроводжується впровадженням автоматизованих систем управління, інноваційних методів управління та ресурсозберігальних виробничих рішень. За таких умов зростає потреба у фахівцях, здатних ефективно працювати з новітнім обладнанням, аналізувати виробничі процеси та адаптуватися до технологічних змін. Це зумовлює необхідність удосконалення професійної освіти на засадах компетентнісного підходу, орієнтованого на формування практичних умінь, цифрової грамотності, критичного мислення та готовності до інноваційної діяльності.

Проблематика компетентнісно орієнтованої професійної освіти полягає в модернізації освітнього процесу, розвитку практичної підготовки здобувачів вищої освіти та забезпечення професійних компетентностей. У сучасних наукових дослідженнях Мельник Н. С. [1], Сиворотка Н. М. [5], Іваненко В. С. [2] особлива увага зосереджується на забезпеченні інтеграції теоретичної підготовки з практичною діяльністю, упровадженні цифрових освітніх технологій, проєктно-орієнтованих методик навчання. З огляду на технологічну трансформацію агропромислового виробництва актуалізується дослідження механізмів формування цифрових, виробничо-технологічних, екологічних і підприємницьких компетентностей майбутніх фахівців.

Метою нашого дослідження є обґрунтування особливостей компетентнісно орієнтованої підготовки фахівців для інноваційного розвитку агропромислового виробництва та визначення основних напрямів удосконалення професійної освіти відповідно до сучасних потреб аграрного сектору. Досягнення поставленої мети передбачає визначення ключових професійних компетентностей майбутніх фахівців для посилення практичної спрямованості професійної підготовки.

Активне впровадження цифрових технологій, автоматизованих систем управління та ресурсозберігальних технологічних рішень зумовлює підвищення вимог до професійної підготовки фахівців. Особливого значення набуває формування комплексу професійних компетентностей [1, с 108], які забезпечують здатність ефективно виконувати виробничі завдання, застосовувати сучасні технології, здійснювати аналіз технологічних процесів та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Професійна освіта має орієнтуватися на інтеграцію фундаментальних знань із практичною підготовкою, розширення співпраці з агропромисловими підприємствами та впровадження інноваційних освітніх методик. Це сприятиме підготовці конкурентоспроможних фахівців, здатних забезпечувати технологічне оновлення й сталий розвиток аграрного сектору.

Компетентнісний підхід є одним із ключових методологічних засад модернізації професійної освіти. Він передбачає орієнтацію освітнього процесу на формування здатності здобувачів вищої освіти ефективно застосовувати набуті знання, уміння та навички для розв'язання практичних і виробничих завдань. На відміну від звичайної моделі навчання, компетентнісний підхід забезпечує інтеграцію теоретичної підготовки з практичною діяльністю [2, с 597], розвиток самостійності, критичного мислення, готовності до професійної самореалізації.

Реалізація компетентнісного підходу відбувається через зміст професійної освіти, упровадження практико-орієнтованих методів навчання, моделювання виробничих ситуацій, залучення здобувачів освіти до практичної взаємодії з підприємствами. Важливо формувати інтегровані компетентності, що охоплюють технологічну підготовленість, цифрову грамотність, здатність працювати в команді та адаптуватися до інноваційних змін.

Оцінювання результатів навчання це не лише перевірка засвоєних знань, а й визначення здатності застосовувати їх у професійних ситуаціях. Трансформація освітнього процесу повинна сприяти підвищенню якості підготовки фахівців, посиленню їхньої конкурентоспроможності на ринку праці.

Інструменти модернізації професійної освіти передбачають використання цифрових освітніх платформ, інтерактивних симуляторів, віртуальних лабораторій, мультимедійних засобів навчання та технологій моделювання виробничих процесів. Застосування таких інструментів сприяє розвитку аналітичного мислення та формуванню здатності працювати з сучасними технологічними системами [3, с 64].

Практико-орієнтоване навчання забезпечує безпосередній зв'язок між теоретичними знаннями та майбутньою професійною діяльністю [4, с 332], створюючи умови для формування стійких практичних умінь та навичок. Його реалізація передбачає проведення лабораторних та практичних зайняття, виконання навчально-виробничих проєктів, аналіз професійних ситуацій, проходження виробничої практики та співпрацю з підприємствами агропромислового комплексу.

Моделювання реальних виробничих завдань дає змогу здобувачам вищої освіти набувати досвіду прийняття технологічних рішень, оцінювати виробничі ризики [5, с 297]. Підвищення якості професійної освіти, адаптація випускників до вимог роботодавців відбувається за рахунок поєднання інноваційних освітніх технологій із практичною підготовкою.

Удосконалення професійної підготовки фахівців передбачає оновлення змісту освітніх програм відповідно до технологічних тенденцій, потреб роботодавців і перспектив інноваційного розвитку агропромислового виробництва. Пріоритетними напрямами є посилення практичної складової навчання, розвиток дуальної освіти [6, с 4] та розширення співпраці закладів вищої освіти з аграрними підприємствами. Реалізація зазначених заходів сприятиме формуванню конкурентоспроможних фахівців, здатних ефективно застосовувати професійні компетентності, адаптуватися до технологічних змін і забезпечувати сталий розвиток аграрного сектору України.

Отже, компетентнісно орієнтована підготовка фахівців є важливою передумовою модернізації професійного освіти та забезпечення кадрових потреб інноваційного агропромислового виробництва. Поєднання цифрових освітніх технологій, практико-орієнтованого навчання та тісної взаємодії закладів освіти з роботодавцями сприятиме формуванню професійних компетентностей, необхідних для ефективної діяльності в умовах технологічних змін. Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні та впровадженні освітніх моделей, орієнтованих на актуальні потреби аграрного сектору, розвитку цифрових навичок та підвищення конкурентоспроможності майбутніх фахівців.

Список використаних джерел

1. Мельник Н. С. Навчання через практику: проблемні ситуації у сучасній освіті. Інформаційні технології в освіті та науці: збірник наукових праць V міжнародної науково-практичної конференції

(м. Запоріжжя, 21 травня 2026 р.). Запоріжжя : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2026. С 105-109. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26359.

2. Іваненко В. С. Шляхи виживання та розвитку українського бізнесу під час воєнного стану. Економіко-правові аспекти господарювання: сучасний стан, ефективність та перспективи : матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, ОНЕУ, 10-11 жовтня 2025 р.). Одеса, 2025. С 595-598. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22542.

3. Курепін В. М., Іваненко В. С. Застосування цифрових технологій у сільському господарстві для досягнення цілей сталого розвитку. Modern Economics. 2024. № 47(2024). С. 62-69. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V47(2024)-09.

4. Іваненко В. С. Інструментарій стратегічного управління персоналом у сільському господарстві. Глокалізаційні аспекти інноваційного розвитку економіки: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених (м. Одеса, 16 жовтня 2025 р.). Одеса : ОНЕУ, 2025. С 332-334. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22739.

5. Сиворотка Н. М. Партнерство Миколаївського національного аграрного університету та бізнесу на прикладі компанії MZURI. Інноваційно-інвестиційний розвиток бізнесу в умовах економічних збурень : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених до 210-ліття Львівської політехніки (м. Львів, 26-27 березня 2026 р.). Львів : Львівська політехніка, 2026. С. 295-298. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24800.

6. Batsurovska I., Kurepin V. The Impact of the War in Ukraine on the Study Results at an Agricultural University // Tréma. 2023. № 60. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15314.

УДК 159.9

ВПЛИВ НАВЧАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПСИХОЛОГІЧНИЙ СТАН СТУДЕНТІВ

Карина Житкевич

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник Л. В. Гула,
ст. викладач кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Сучасне студентське життя характеризується значним обсягом навчальної інформації, великою кількістю завдань, необхідністю дотримуватися встановлених вимог та постійно розвивати професійні компетентності. Навчання є важливою складовою розвитку людини, оскільки сприяє набуттю знань, умінь і навичок, розвитку здібностей та формуванню особистості. Водночас надмірне навчальне навантаження може негативно позначатися на психологічному стані студентів, особливо тоді, коли вимоги освітнього середовища перевищують особисті ресурси людини.

Психологічні особливості сучасного студента значною мірою залежать від умов, у яких відбувається навчання. Під час навчання розглядаються психологічні проблеми, пов’язані із сучасним освітнім середовищем, зокрема взаємодія навчального навантаження та особистих ресурсів студентів. Навчальне навантаження включає не тільки кількість навчальних занять, а й обсяг самостійної роботи, складність завдань, підготовку до контрольних заходів, іспитів, виступів та виконання інших навчальних завдань. Вимоги освітнього середовища розглядаються як такі, що потребують постійних фізичних і психологічних зусиль [1].

Особливо важливим є те, як студент сприймає власне навчальне навантаження. Однакова кількість завдань може по різному впливати на різних студентів залежно від їхніх особистих ресурсів, рівня самоконтролю, самоефективності, оптимізму та життєстійкості. У дослідженні взяли участь 303 студенти віком від 17 до 21 року , результаті показали статистично значущий зв’язок між вимогами освітнього середовища та академічним вигоранням. Встановили, що зі збільшенням сприйманих вимог освітнього середовища зростає рівень академічного вигорання. Через такі прояви,

як емоційне виснаження, відсторонене ставлення до навчання, втрата інтересу до навчальної діяльності та зниження відчуття власної компетентності. Емоційне виснаження у студентів може виникати через напругу і стрес, пов'язані зі сприйняттям надмірного навчального навантаження [1, 15-16].

Важливу роль у психологічному стані студента відіграють самоефективність, самоконтроль, оптимізм та життєстійкість. Самоефективність допомагає студенту докладати необхідних зусиль для вирішення складних завдань. Самоконтроль пов'язаний зі здатністю контролювати власну поведінку та емоції. Оптимізм сприяє позитивному сприйняттю теперішнього і майбутнього, а життєстійкість допомагає сприймати складні обставини не лише як загрозу, а і як можливість для розвитку.

Проблема навчального навантаження також пов'язана з інформаційним перевантаженням студентів. У статті О. Юринець та М. Хавури розглянуто результати дослідження інформаційного перевантаження молоді віком від 15 до 20 років, яка навчається у коледжах. Серед основних причин визначають велику кількість різнопрофільних навчальних дисциплін, недостатню професійну орієнтацію, відсутність системності в роботі з гаджетами та значний обсяг інформації. За результатами опитування 106 студентів було встановлено, що більшість опитаних повинні працювати з інформацією з понад 12 навчальних дисциплін протягом семестру. Також 47,2 % студентів, які прагнули виконувати всі завдання самостійної роботи, витрачали на підготовку до занять понад чотири години щодня [2, 193].

Окремим чинником інформаційного перевантаження є використання гаджетів та соціальних мереж. У дослідженні зазначено, що 61 % опитаних молодих людей постійно користувалися від двох до п'яти соціальних мереж, а 71 % повідомили, що проводять у телефоні понад три години щодня. Велика кількість інформації, яка надходить через гаджети, може посилювати інформаційне перевантаження. Інформаційне перевантаження може мати негативні наслідки для психологічного стану молоді. Можливі наслідки, як підвищена стомлюваність, агресивність, збудливість, дратівливість, панічні та депресивні стани, нав'язливий страх, погіршення працездатності мозку та пам'яті [2, 195].

Водночас освіта також пов'язана із саморозвитком, самоповагою та добробутом людини. Вона сприяє задоволенню особистих амбіцій, зростанню самоповаги та добробуту, а також розширює можливості людини для усвідомленого вибору. Таким чином, навчання має подвійний вплив на психологічний стан людини. З одного боку, воно сприяє розвитку особистості, набуттю знань, формуванню навичок, самовдосконаленню та підвищенню добробуту. З іншого боку, надмірні вимоги освітнього середовища, велика кількість навчальних завдань та інформаційне перевантаження можуть створювати психологічну напругу та підвищувати ризик академічного вигорання [3, 23].

Для зменшення негативного впливу навчального навантаження важливе значення має розвиток особистих ресурсів студентів. Підвищення самоефективності, самоконтролю, оптимізму та життєстійкості може сприяти зменшенню академічного вигорання в умовах високих вимог освітнього середовища [1, 25-26].

Не менш важливим є раціональне ставлення до інформації та часу. Формування навичок роботи з інформацією, уміння визначати пріоритетні цілі, дотримуватися режиму дня, забезпечувати повноцінний відпочинок і сон та дозувати час роботи з інформаційними носіями, допоможуть студенту зменшенням постійного перевантаження [2, 196].

Отже, навчальне навантаження є важливою складовою освітнього процесу, але його вплив на психологічний стан студентів залежить від співвідношення вимог навчання та особистих ресурсів. Надмірне навантаження, обмежений час для виконання завдань та інформаційне перевантаження можуть сприяти виникненню стресу, емоційного виснаження та академічного вигорання. Водночас розвиток самоефективності, самоконтролю, оптимізму та життєстійкості допомагає студентам краще справлятися з навчальними вимогами. Тому важливо не лише забезпечувати якість освіти, а й створювати такі умови навчання, за яких професійний та особистісний розвиток студента не відбувається за рахунок його психологічного благополуччя.

Список використаних джерел

1. В. О. Олефір, І. В. Кряж, Н. П. Крейдун та ін. ; Психологія студента : колективна монографія, за заг. ред. В. О. Олефіра, І. В. Кряж. - Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. - 340 с. URL: https://ekhnuir.karazin.ua/server/api/core/bitstreams/4d377856-0c1c-4f51-bc9e-d635bcf643c5/content .
2. Юринець О., Завтра М., Інформаційне перевантаження студентів коледжів, вип. 1. Збірник наукових праць уманського державного педагогічного університету, 2021. 189-197 с.
3. Фука М. М., Здирок О. М., Василькевич С. І. Здоров'я, безпека та добробут : підручник інтегрованого курсу для 6 класу закладів загальної середньої освіти. Тернопіль : Астон, 2023. - 197 с. URL: https://pidruchnik.com/2640-zdorovia-6-klas-fuka.html .
4. Особливості ефективної міжособистісної взаємодії: психологічний аспект / К. М. Горбунова, В. Л. Короленко, К. О. Мардзявко, Л. В. Гула, К. А. Улітіна. Перспективи та інновації науки. 2026. Вип. 5 (63). С.4349- 4357. URL: https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-5(63)-4349-4357.
5. Гула Л. В. Реакції студентів на фруструючі ситуації та їх ставлення до різних стилів керівництва. Наукові записки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Педагогіка і психологія. 2026. №1 (7). С. 284–288.

УДК 159.9

ПСИХОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СПІЛКУВАННЯ СТУДЕНТІВ У ГРУПІ

Антон Кучинський

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Л. В. Гула,
ст.викладач кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Спілкування є важливою частиною життя людини. Особливо це помітно у студентському середовищі, де люди з різними характерами, поглядами та звичками щодня навчаються разом. Для першокурсника початок навчання у закладі вищої освіти часто пов'язаний не лише з новими предметами, а й із необхідністю знайти спільну мову з одногрупниками. Від того, як проходить цей процес, багато в чому залежить психологічний комфорт студента та його бажання брати участь у спільному житті групи. [1]

На мою думку, однією з головних особливостей студентської групи є те, що на початку всі її учасники фактично знайомляться одне з одним. Хтось швидко знаходить друзів і легко починає розмову, а комусь для цього потрібен певний час. На таку поведінку впливають характер людини, її попередній досвід спілкування та впевненість у собі. Тому не варто оцінювати людину лише за тим, наскільки вона активна в перші дні навчання.

Адаптація до групи відбувається поступово. Спочатку студенти спілкуються переважно з тими, хто сидить поруч або має схожі інтереси. Пізніше виникають спільні справи, робота над завданнями, підготовка до занять та інші ситуації, які допомагають краще пізнати одне одного. Саме в таких звичайних ситуаціях часто формуються дружні стосунки та виникає відчуття, що група є колективом, а не просто набором окремих студентів.

Важливу роль у спілкуванні відіграє вміння слухати співрозмовника. Іноді конфлікт або непорозуміння виникає не через серйозну причину, а через те, що люди по-різному зрозуміли сказане. Якщо студент не перебиває, ставиться до думки іншого з повагою та за потреби уточнює інформацію, шанс виникнення непорозуміння стає меншим. Також важливо вміти спокійно висловлювати власну думку, навіть якщо вона відрізняється від думки більшості.

Не всі студенти однаково проявляють себе у груповому спілкуванні. Одні можуть бути активними, жартувати та легко підтримувати розмову. Інші більше спостерігають і висловлюються тоді, коли вважають це необхідним. Обидва варіанти поведінки є нормальними. Важливо, щоб

різниця в характері не ставала причиною зневажливого ставлення до людини. Повага до особистих особливостей допомагає створити спокійнішу атмосферу в колективі.

Окремо слід звернути увагу на конфлікти. У студентській групі вони можуть виникати через різні погляди, розподіл обов'язків під час спільної роботи, невиконання домовленостей або звичайні побутові непорозуміння. Конфлікт не завжди означає, що люди більше не можуть нормально спілкуватися. Значення має те, як саме його вирішують. Відкрита розмова, пояснення власної позиції та готовність почути іншу сторону часто допомагають уникнути подальшого загострення ситуації. [2]

Особливо важливою для студентів є взаємодопомога. Під час навчання можуть виникати ситуації, коли один студент пропустив заняття, не зрозумів тему або не встиг виконати певну частину роботи. Допомога одногрупника в такій ситуації не обов'язково означає виконання роботи замість іншого. Іноді достатньо пояснити матеріал, поділитися інформацією або підказати, де її можна знайти. Так формуються довіра та відчуття підтримки в групі.

Спілкування студентів сьогодні відбувається не лише безпосередньо в університеті. Важливу роль відіграють месенджери (Telegram, Viber, WhatsApp тощо) і групові чати. Через них студенти обмінюються розкладом, навчальними матеріалами та організаційною інформацією. Проте онлайн-спілкування також може призводити до непорозумінь, оскільки в текстовому повідомленні не завжди зрозумілий тон людини. Те, що один студент написав без поганого наміру, інший може сприйняти як грубість. Тому в таких ситуаціях також важливо не робити поспішних висновків.

На спілкування в групі впливає і спільна діяльність. Коли студенти разом виконують практичні завдання, готують презентації або працюють над певним проєктом, їм доводиться домовлятися та розподіляти обов'язки. Тут проявляється відповідальність кожного учасника. Якщо хтось постійно не виконує свою частину роботи, це може викликати негативну реакцію з боку інших. Водночас чіткі домовленості та нормальне обговорення обов'язків допомагають уникати багатьох проблем.

Таким чином, психологічні особливості спілкування студентів у групі пов'язані з адаптацією, характером людей, умінням слухати, взаємною повагою та здатністю вирішувати конфліктні ситуації [3]. Для створення нормальної атмосфери не потрібно, щоб усі студенти були однаковими. Навпаки, різні характери та погляди можуть бути корисними, якщо учасники групи ставляться один до одного з повагою. Добре спілкування допомагає студентам не лише краще почуватися під час навчання, а й ефективніше працювати разом.

Список використаних джерел:

1. Горенко М. В. Психологія спілкування : навч. посіб. Умань : Візаві, 2024. 109 с.

2. Отич О. М. Психологія конфлікту : навчально-методичний посібник. Київ, 2008.

3. Короленко В. Л., Гула Л. В. Формування медіаційних компетентностей у здобувачів вищої освіти економічного спрямування. Modern Economics. 2025. № 50(2025). С. 89-94. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V50(2025)-12.

УДК 378:004.8:37.016

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК АСИСТЕНТ ВИКЛАДАЧА

Анна Мандра

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Л. О. Борян,
старший викладач Миколаївський національний аграрний університет

Освітня система XXI століття перебуває у стані глибокої структурної та технологічної трансформації. Стрімкий розвиток генеративного штучного інтелекту (Generative AI) та великих мовних моделей (Large Language Models - LLM) радикально змінює традиційні уявлення про підготовку, проведення та аналіз навчального процесу. Професія викладача вищої та середньої школи тривалий час залишалася однією з найбільш час містких та психологічно напружених галузей

інтелектуальної праці, де значна частина робочого часу витрачається на непедагогічну або чисто рутинну діяльність.

Згідно з даними масштабного міжнародного дослідження педагогічного стану OECD TALIS (Teaching and Learning International Survey), сучасний академічний персонал та вчителі витрачають безпосередньо на викладання лише близько 45–50% свого офіційного робочого часу. Решта 50–55% розподіляється між адмініструванням, перевіркою письмових робіт, розробкою дидактичних матеріалів, адаптацією завдань під різний рівень підготовки здобувачів та веденням документації. З появою мультимодальних моделей штучного інтелекту постає питання не просто про автоматизацію окремих дій, а про переосмислення фундаментальної ролі викладача. ШІ виступає не як заміна педагога, а як персональний цифровий асистент, який здатний перебрати на себе рутинні операції, вивільняючи часовий ресурс для наукової діяльності, творчого проєктування курсу та безпосередньої міжособистісної взаємодії зі студентами.

Історично роль викладача формувалася довкола функції основного джерела та ретранслятора унікальних знань. У класичній освітній парадигмі педагог володів монополією на навчальний контент, а його головним завданням було передати цей контент здобувачеві та перевірити рівень його засвоєння за допомогою стандартних випробувань. Упродовж останніх десятиліть розвиток Інтернету та відкритих освітніх ресурсів підірвав монополію на знання, проте поява генеративного ШІ остаточно змістила акценти. Сьогодні академічна інформація є загальнодоступною, а штучний інтелект здатен пояснювати складні концепції в режимі 24/7 з урахуванням індивідуального темпу сприйняття студента.

У нових умовах викладач перестає бути лектором-транслятором і стає методичним дизайнером (Educational Experience Designer). Його завдання полягає не у виголошенні фактичного матеріалу, а у побудові цілісного освітнього середовища, виборі оптимальних педагогічних траєкторій, формулюванні концептуальних проблем та валідації контенту, згенерованого як штучним інтелектом, так і самим студентом. Звільнення від рутинного навантаження дозволяє викладачеві зосередитися на вищих рівнях педагогічної майстерності. Зокрема, розвиток емоційного інтелекту та підтримки дає змогу надавати психолого-педагогічну допомогу і підтримувати мотивацію студентів, що є недоступним для алгоритмів. Організація фасилітації дискусій охоплює проведення дебатів, кейс-стаді, командних хакатонів та проєктної діяльності, де формуються м'які навички (soft skills). Крім того, індивідуальне тьюторство спрямоване на роботу з обдарованими студентами або з тими, хто потребує додаткової корекції знань. За умов, коли студенти активно використовують генеративні моделі для виконання завдань, критично важлива роль викладача полягає в навчанні академічній доброчесності, критичному мисленню та верифікації інформації, навчаючи студентів бачити межі застосування алгоритмів, розпізнавати фактичні помилки («галюцинації» ШІ) та формувати власну суб'єктну позицію.

Перевірка письмових робіт, есе, курсових проєктів та лабораторних завдань традиційно становить одну з найбільш виснажливих частин роботи педагога. Дослідження показують, що монотонне оцінювання великої кількості однотипних робіт призводить до професійного вигорання та підвищує ризик суб'єктивності.

Застосування великих мовних моделей дозволяє проводити якісний семантичний аналіз тексту, а не лише звіряти ключові слова. Використовуючи технологію оцінювання на основі рубрик (rubrics-based evaluation), викладач може завантажити в ШІ деталізовані критерії та отримати попередній аналіз роботи. Згідно з дослідженнями, збіг оцінок добре налаштованої LLM із рішеннями експертної комісії сягає 88–92%.

Традиційне оцінювання часто обмежується виставленням балу та кількома короткими зауваженнями. ШІ-асистент дозволяє впровадити повноцінне формувальне оцінювання (Formative Assessment), під час якого штучний інтелект аналізує текст студента і створює розлогий фідбек для кожного абзацу, вказує на логічні суперечності, прогалини в аргументації та стилістичні огріхи, а також пропонує конкретні джерела, розділи підручника чи методичні вказівки для повторення матеріалу. У технічних та ІТ-дисциплінах ШІ-асистент здатен знаходити синтаксичні помилки в коді

студентів, аналізувати його алгоритмічну складність, відповідність стандартам оформлення та пропонувати оптимізовані альтернативи з роз'ясненням.

Одним із головних викликів сучасного масового навчання є різний початковий рівень підготовки студентів в одній групі. Класична методика вимагає від викладача розробки декількох варіантів завдань різного рівня складності. Для вирішення цієї проблеми застосовується багаторівневе, ітеративне ускладнення або адаптація завдань на основі єдиного базового концепту, де ШІ-асистент дозволяє миттєво згенерувати «вежу складності» з одного вихідного запитання.

Масштабування навчальних вправ здійснюється за таксономією Блума: від рівня запам'ятовування, що передбачає відтворення визначень, та рівня розуміння для пояснення концепцій власними словами, до рівня застосування для розрахунків і рівня аналізу для дослідження графіків та динаміки показників. Вищий рівень охоплює оцінку, яка вимагає критичного аналізу політики чи процесів, і створення, спрямоване на розробку альтернативних моделей чи комплексів заходів. За контекстуальною адаптацією під профіль студента ШІ дозволяє сформулювати те саме завдання через специфіку майбутньої професії медиків, інженерів, агрономів чи ІТ-фахівців. Окрім цього, забезпечується різний рівень педагогічної підтримки (Scaffolding), під час якого для студентів із труднощами ШІ автоматично генерує додаткові підказки, напівготові структури чи розбиває задачу на проміжні мікрозадачі.

Створення валідних тестових баз вимагає значного часу (у середньому 12–15 хвилин на одне якісне запитання з чотирма дистракторами). ШІ дозволяє значно оптимізувати цей процес. ШІ-асистент обробляє матеріали та формує питання з множинним вибором, завдання на відповідність, послідовність та відкриті кейси.

Завдяки психометричному дистракторному аналізу ШІ моделює правдоподібні неправильні відповіді (дистрактори) на основі типових помилок та когнітивних стереотипів студентів. Завдяки генерації еквівалентних варіантів завдань однакового рівня складності викладач може створювати індивідуальні тести для кожного студента, що запобігає академічній недоброчесності.

Якість контенту від ШІ безпосередньо залежить від структурованості промпту. Ефективний педагогічний промпт включає роль, яка визначає чітку позицію асистента, завдання для конкретизації педагогічної дії, контекст аудиторії із зазначенням профілю та рівня студентів, орієнтир на рівні складності за таксономією Блума, бажаний формат результату та чіткі обмеження щодо заборони вигадування фактів чи вимог до стилю.

Також застосовується техніка ітеративних промпт-ланцюжків (Chain-of-Thought Prompting), яка базується на поетапному діалозі з ШІ - від створення плану та його редагування до деталізації завдань, стилістичного редагування та перевірки на академічні стандарти.

Впровадження ШІ супроводжується низкою ризиків, що вимагають постійного контролю за принципом Human-in-the-loop. Серед них виділяється проблема фактичних помилок та «галюцинацій», оскільки від 8% до 15% згенерованих відповідей можуть містити неточності або вигадані джерела, через що викладач зобов'язаний ретельно перевіряти контент. Важливим аспектом є захист персональних даних та конфіденційність, що робить категорично забороненою передачу у відкриті сервіси персональних даних студентів або оцінок без попереднього знеособлення. Окрім цього, існує небезпека надмірної довіри та когнітивної деградації, адже автоматизація не повинна повністю замінювати людський фактор, а остаточне рішення щодо оцінювання завжди залишається виключно за викладачем.

Впровадження штучного інтелекту є фундаментальним зрушенням у педагогічній праці. ШІ виступає цифровим асистентом, який оптимізує до 40–50% рутинного часу викладача, повертаючи освіті її первинний зміст - менторство, розвиток критичного мислення та живу взаємодію.

Перспективи подальших досліджень полягають у тому, що еволюція освітнього ШІ рухатиметься від окремих текстових асистентів до повноцінних мультимодальних автономних агентів, здатних супроводжувати студента впродовж усього життєвого циклу навчання (Lifelong Learning). Це вимагатиме не лише технічного вдосконалення моделей, а й розробки нових інституційних політик, етичних стандартів та регулярного підвищення цифрової й педагогічної кваліфікації самих викладачів, щоб освітнє середовище залишалося людиноцентричним, безпечним та інноваційним.

Список використаних джерел

1. Baidoo-Annu D., Ansah O. W. Education in the era of Generative Artificial Intelligence (AI). Journal of AI. 2023. Vol. 7, No. 1. P. 52–62.

2. Cotton D. R., Cotton P. A., Shipway J. R. Chatting and cheating: Ensuring academic integrity in the era of ChatGPT. Innovations in Education and Teaching International. 2023. Vol. 61, No. 2. P. 228–239.

3. EDUCAUSE. Horizon Report: Teaching and Learning Edition. Boulder, CO : EDUCAUSE, 2024.

4. Holmes W., Tuomi I. State of the art and practice in AI in education. European Journal of Education. 2022. Vol. 57, No. 4. P. 542–570.

5. ChatGPT for good? On the potential and limitations of LLMs in education / E. Kasneci et al. Learning and Individual Differences. 2023. Vol. 103. Art. 102274.

6. Intelligence Unleashed: An argument for AI in Education / R. Luckin et al. London : Pearson, 2016.

7. OECD. TALIS 2018 Results (Volume I). Paris : OECD Publishing, 2019.

8. UNESCO. Guidance for generative AI in education and research. Paris : UNESCO Publishing, 2023.



Тематичний напрям № 8
Кібербезпека, хмарні технології, Інтернет промов (IoT) та кіберфізичні системи

УДК 004.42

ОСНОВНІ МЕТОДИ ЗАСТОСУВАННЯ РЕГІСТРІВ НАЛАГОДЖЕННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ДОСЛІДЖЕННЯ

Олександр Рисований, Олена Литовська
НТУ «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Захист програмного забезпечення від реверс-інжинірингу та аналізу є критично важливим аспектом інформаційної безпеки. Для протидії налагоджувачам розробники використовують як стандартні механізми операційних систем (наприклад, перевірку прапорів у блоці оточення процесу – PEB [1]), так і низькорівневі апаратні можливості процесорів архітектури x86/x64.

Особливе місце серед апаратних методів займають регістри налагодження (Debug Registers: DR0-DR7 [2]). Вони підтримуються лише на рівні процесора і активно застосовуються для виявлення і запобігання спроб дослідження коду.

Процесори архітектури x86/x64 містять набір спеціалізованих регістрів налагодження, які керуються привілейованими інструкціями або через контекст потоку (CONTEXT):

– DR0 – DR3 (адресні регістри точок зупинення). Вони містять лінійні адреси пам'яті, куди встановлені апаратні точки зупинення (hardware breakpoints).

– DR4 та DR5. Ці регістри зарезервовані архітектурою (у сучасних процесорах їх використання викликає виняток, а то й відключено спеціальним бітом у регістрі управління).

– DR6 (реєстр стану). Вміст регістру вказує, який саме регістр DR0–DR3 викликав спрацювання точки зупинення, а також містить службові прапорці (наприклад, слідування по кроках – Trap Flag).

– DR7 (реєстр управління). Вміст регістру визначає режим роботи кожної точки зупинення (тип доступу: читання, запис, виконання), а також активує локальні та глобальні дозволи.

В роботі розглянуто основні методи захисту з використанням регістрів налагодження та створено програми в середовищі masm64.

Метод прямого читання контексту потоку (GetThreadContext).

Дослідники часто використовують апаратні точки зупинення (DR0–DR3), щоб зупиняти виконання програми на потрібних інструкціях без модифікації самого коду (на відміну програмних точок зупинки INT 3 / 0xCC).

Захисний механізм може періодично або під час запуску перевіряти стан регістрів налагодження поточного потоку за допомогою системного виклику функції GetThreadContext (або аналогічних нативних API): якщо хоча б один із регістрів DR0–DR3 містить ненульове значення, це свідчить про те, що зовнішній налагоджувач встановив апаратний брейкпоінт.

Основний блок програми визначення наявності налагодження (точок зупинки) може бути таким:

```
invoke GetCurrentThread ;
   mov hThread, rax
mov ctx.ContextFlags, CONTEXT_DEBUG_REGISTERS or CONTEXT_FULL
invoke GetThreadContext, hThread, addr ctx;
   test rax, rax
   jz _error
```

```
; hardware breakpoints
   mov rax, ctx._Dr0
   test rax, rax
   jnz _debugger
   mov rax, ctx._Dr1
   test rax, rax
   jnz _debugger
   mov rax, ctx._Dr2
   test rax, rax
   jnz _debugger
   mov rax, ctx._Dr3
   test rax, rax
   jnz _debugger
```

Метод обробки винятків апаратних точок зупинки (Exception Handling).

Зловмисники або дослідники можуть намагатися використовувати апаратні брейкпоїнти для аналізу логіки роботи захищеної програми. Захист може перехоплювати винятки (EXCEPTION_SINGLE_STEP або STATUS_BREAKPOINT), використовуючи структуру структурної обробки винятків (SEH) або векторні обробники (AddVectoredExceptionHandler).

Якщо програма несподівано фіксує спрацювання налагоджувального переривання в критичній ділянці коду, де розробник не планував використовувати точки зупинки, це сприймається як спроба аналізу, після чого виконання аварійно завершується або змінює свою поведінку (шлях хибної логіки).

Метод використання регістрів DR6 та DR7 для верифікації цілісності.

Регістр керування DR7 та регістр стану DR6 містять прапори стану, які можуть аналізуватись захисним кодом «на льоту». Крім того, деякі алгоритми захисту навмисно встановлюють пастки в налагоджувальні регістри власного коду, щоб відстежувати спроби несанкціонованого доступу до захищених ділянок пам'яті.

Як і більшість методів протидії налагодженню, перевірка регістрів налагодження може бути нейтралізована дослідниками:

- патчінг перевірок (Patching), що позначає заміну умовних переходів (jnz, jz) після виклику GetThreadContext на протилежні або заміна інструкцій на NOP;

- перехоплення API (API Hooking). Перехоплення функції GetThreadContext за допомогою бібліотек таких як ScyllaHide для того, щоб підробляти значення, і завжди повертати нульові значення регістрів DR0–DR3;

- використання програмних точок зупинки, що позначає перехід на програмні брейкпоїнти (0xCC), якщо апаратні відстежуються захистом (хоча це у свою чергу відкриває вектор для виявлення INT 3 через сканування пам'яті).

Висновки. Застосування регістрів налагодження (DR0-DR7) є ефективним рівнем захисту від динамічного аналізу, оскільки воно спирається безпосередньо на апаратні можливості процесора. Найбільш надійні захисні комплекси використовують комбінацію перевірки вмісту регістрів через функцію GetThreadContext, аналіз структур оточення потоку та моніторинг винятків одиночного кроку, що значно ускладнює завдання дослідника щодо зворотного проектування програми.

Список використаних джерел

1. Рисований О.М. Реверсне програмування. Формат файлу PE. Середовище програмування masm64: навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 123 "Комп'ютерна інженерія" всіх форм навчання [електронне видання]. Харків: НТУ «ХПІ», 2025. 124 с. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/95746

2. Рисований О.М. Методичні вказівки щодо виконання практичних та лабораторних робіт з курсу «Реверсне програмування. Антиналагоджувальні прийоми захисту від реверсу. Середовище програмування masm64: для студентів спеціальності 123 - "Комп'ютерна інженерія" всіх форм

навчання [електронне видання]. Х.: НТУ "ХПІ", 2024. Харків. 132 с. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/75508 .

УДК 004.056:339.543

ОБ'ЄКТИ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ МИТНОГО ПОСТУ ТА СТУПЕНІ ЇЇ УШКОДЖЕННЯ

Віра Сокольцова

Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна

Науковий керівник: В. Ю. Клим,
канд.тех.наук, доцент
Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара

Після руйнівного впливу митний пост може повернутися до роботи лише тоді, коли відновлено його комплексну систему захисту інформації (КСЗІ). Будівлю й обладнання можна замінити, проте обробляти митні декларації, платежі та персональні дані без працездатної і перевіреної КСЗІ не можна. Тому відновлення митного посту доцільно розглядати насамперед як відновлення його КСЗІ.

Мета дослідження полягає в визначенні об’єктів КСЗІ та систематизації ступенів ушкодження для подальшого обґрунтування алгоритму відновлення КСЗІ митного посту після фізичного втручання (руйнівного впливу). Об’єктом дослідження є комплексна система захисту інформації митного посту. Предметом дослідження є засоби відновлення КСЗІ після фізичного руйнівного впливу.

Для досягнення поставленої мети насамперед було проаналізовано нормативно-правову базу України. Окремого акту, який регламентував би відновлення КСЗІ після фізичного руйнування, в Україні немає, тому дослідження спирається на кілька груп джерел. Базовим є Закон України «Про захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах», який відносить до об’єктів захисту як інформацію, так і програмне забезпечення для її обробки, покладає відповідальність за захист на власника системи та вимагає обробляти державні інформаційні ресурси в системах із КСЗІ [1]. Митні пости працюють у Єдиній автоматизованій інформаційній системі Держмитслужби (ЄАІС) [2], а отже, підпадають під ці вимоги. Закон України «Про критичну інфраструктуру» доповнює їх вимогою забезпечувати стійкість об’єктів, порушення роботи яких впливає на безпеку держави [3]. З цих норм випливає ключова вимога: повернення посту до обробки інформації допустиме лише після відновлення і перевірки КСЗІ, а не одразу після ремонту обладнання.

Національні норми доповнюють міжнародні стандарти та настанови. Найбільше до теми дослідження стосуються контролі ISO/IEC 27001:2022 A.5.29 (безпека під час критичної події) [4] і A.7.1 (фізичні межі безпеки) [5]. Стандарти ISO 22301 і ISO 22313 вводять показники відновлення MTPD, MBCO, RTO та RPO [6], керівництва NIST SP 800-34 [7] і SP 800-61 Rev. 3 [8] описують планування відновлення інформаційних систем і реагування на інциденти, а Настанови Всесвітньої митної організації (ВМО) пропонують митним адміністраціям цикл «готовність – реагування – відновлення» [9]. Крім того, оскільки фізичний рівень КСЗІ залежить від стану споруд, враховано Порядок № 473 щодо невідкладних робіт з ліквідації наслідків пошкодження будівель [10] та порядок їх обстеження [11]: доки за результатами обстеження не прийнято рішення, повертати обладнання в пошкоджену серверну не можна.

Визначивши нормативні вимоги, необхідно встановити, що саме підлягає відновленню, тобто саме об’єкти КСЗІ. Оскільки фізичний вплив зачіпає різні об’єкти КСЗІ по-різному, тому основні інформаційні ресурси митного посту згруповано за структурними підрозділами, які з ними працюють безпосередньо. Для кожної групи визначено критичні властивості інформації (конфіденційність, цілісність, доступність, автентичність, які позначено відповідними буквами К, Ц, Д, А) та загрози, що виникають після фізичного втручання.

В таблиці 1 зведена інформація по об'єктах КСЗІ митного посту та загрозах для них після фізичного втручання. Аналіз таблиці 1 показує, що найбільш уразливими до фізичного впливу є інформаційний відділ і відділ комунікацій: для їхніх даних критичні всі три основні властивості – конфіденційність, цілісність і доступність.

Таблиця 1 Об'єкти КСЗІ митного посту та загрози їм після фізичного втручання

Підрозділ	**Дані / активи**	**Критичні властивості**	**Що загрожує після фізичного втручання**
Інформаційний відділ	Бази митних декларацій, електронні журнали перевірок, архіви платежів	К, Ц, Д	Недоступність ЄАІС, викрадення локальних копій
Архів	Електронні й паперові декларації, акти перевірок, протоколи порушень	Ц, А	Знищення вогнем, втрата, підміна документів
Відділ кадрів	Персональні дані співробітників	К	Витік через викрадені носії та паперові справи
ІТ-відділ	Сервери, робочі станції, мережеве обладнання, відеоспостереження	Д, Ц	Фізичне знищення, аварійне вимкнення, підміна або модифікація обладнання
Фінансовий відділ	Дані про митні платежі, штрафи, звіти	Ц, К	Втрата незавершених транзакцій, розбіжність даних
Оперативний відділ	Результати оглядів, дані про порушення митних правил	К, Ц	Витік відомостей про перевірки, втрата відеодоказів
Відділ комунікацій	Внутрішня мережа, захищені канали з центральними органами, ключі та сертифікати	К, Ц, Д	Розрив каналів, компрометація ключів, стороннє підключення

Інший характер мають загрози для відділу кадрів та оперативного відділу, де на перший план виходить конфіденційність. Основна небезпека тут полягає не в знищенні даних, а в їх витоку: через відкритий периметр, розбиті сейфи та викрадені носії сторонні особи можуть отримати персональні дані чи відомості про перевірки. Натомість для архіву й фінансового відділу вирішальною є цілісність, адже підміна документів, втрата незавершених транзакцій і розбіжність даних призводять до недостовірних результатів митного оформлення.

Отже, фізичне втручання загрожує не лише доступності інформації, як може здатися на перший погляд. Поки периметр і фізичний рівень захисту не працюють, а до приміщень мають доступ сторонні особи, перелік загроз значно ширший, ніж у штатному режимі. Ремонт і увімкнення обладнання без перевірки можуть повернути доступність, але залишать відкритими загрози конфіденційності та цілісності. Тому після інциденту КСЗІ слід вважати скомпрометованою, доки не доведено протилежне.

Щоб визначити обсяг необхідних відновлювальних заходів, ушкодження КСЗІ запропоновано класифікувати за чотирма ступенями. Критерієм класифікації є не обсяг руйнувань будівлі, а рівень довіри до засобів захисту, що залишилися.

І ступінь – незначне ушкодження. Пошкоджено скління або частину периметра, сталося коротке знеструмлення, приміщення з технікою не відкривалися. Довіра до засобів захисту збережена, тому достатньо перевірити цілісність даних і журнали подій та відновити периметр.

ІІ ступінь – середнє ушкодження. Частково виведено з ладу фізичний рівень захисту або мережу, сервери цілі. Довіра до засобів захисту часткова: відкриті приміщення перевіряються, а уражені рівні відновлюються на місці з використанням резервного каналу зв’язку.

ІІІ ступінь – значне ушкодження. Пошкоджено серверну або вузол зв’язку, КСЗІ не функціонує, техніка певний час залишалася без нагляду. Довіри до засобів захисту немає до завершення

перевірки, тому робота переноситься в тимчасовий захищений сегмент, відновлюються всі рівні захисту, а ключі замінюються.

IV ступінь – повне ушкодження. Об'єкт знищено або він тривалий час недоступний. Усі засоби захисту вважаються скомпрометованими, тому КСЗІ будується заново на новому обладнанні, а всі сертифікати посту відкликаються.

Визначені ступені ушкодження надалі становлять сукупність вихідних даних для побудови алгоритму відновлення КСЗІ.

Таким чином, відновлення митного посту після фізичного втручання є насамперед відновленням його КСЗІ, оскільки законодавство дозволяє обробляти державні інформаційні ресурси лише в системах із КСЗІ [1], і ремонт обладнання сам по собі не дає підстав відновити обробку даних. Аналіз об'єктів КСЗІ показав, що фізичний вплив загрожує всім трьом властивостям інформації, тому запропонована класифікація ступенів ушкодження ґрунтується на рівні довіри до засобів захисту, а не на обсязі руйнувань будівлі.

Список використаних джерел

1. Про захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах : Закон України від 05.07.1994 № 80/94-ВР. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80/94-%D0%B2%D1%80 (дата звернення: 09.10.2026).

2. Про затвердження Положення про Єдину автоматизовану інформаційну систему Держмитслужби України : наказ. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va341342-10 (дата звернення: 09.10.2026).

3. Про критичну інфраструктуру : Закон України від 16.11.2021 № 1882-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20 (дата звернення: 09.10.2026).

4. ISO 27001:2022 Annex A 5.29 – Information Security During Disruption. ISMS.online. URL: https://www.isms.online/iso-27001/annex-a-2022/5-29-information-security-during-disruption-2022/ (дата звернення: 09.10.2026).

5. ISO 27001:2022 Annex A 7.1 – Physical Security Perimeters. ISMS.online. URL: https://www.isms.online/iso-27001/annex-a-2022/7-1-physical-security-perimeters-2022/ (дата звернення: 09.10.2026).

6. Key Definitions Used in ISO 22301 and ISO 22313. PECB. URL: https://pecb.com/en/article/key-definitions-used-in-iso-22301-and-iso-22313 (дата звернення: 09.10.2026).

7. Swanson M. et al. Contingency Planning Guide for Federal Information Systems : NIST Special Publication 800-34 Rev. 1. Gaithersburg : NIST, 2010. URL: https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/34/r1/upd1/final (дата звернення: 09.10.2026).

8. Incident Response Recommendations and Considerations for Cybersecurity Risk Management: A CSF 2.0 Community Profile : NIST Special Publication 800-61 Rev. 3. Gaithersburg : NIST, 2025. URL: https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/61/r3/final (дата звернення: 09.10.2026).

9. WCO Guidelines on Disaster Management and Supply Chain Continuity. World Customs Organization. URL: https://www.wcoomd.org/en/topics/facilitation/instrument-and-tools/tools/guidelines-on-disaster-management.aspx (дата звернення: 09.10.2026).

10. Про затвердження Порядку виконання невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків збройної агресії Російської Федерації, пов'язаних із пошкодженням будівель та споруд : постанова Кабінету Міністрів України від 19.04.2022 № 473. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/473-2022-%D0%BF (дата звернення: 09.10.2026).

11. Фіксація пошкодження майна установи внаслідок збройної агресії. Бюджетна бухгалтерія. 2023. № 38. URL: https://i.factor.ua/ukr/journals/bb/2023/october/issue-38/article-126595.html (дата звернення: 09.10.2026).

УДК 004.056:004.8

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO DETECT ANOMALIES AND CYBER THREATS IN NETWORK TRAFFIC

Victoria Domanska

Institute of Special Communications and Information Protection,
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Abstract. This paper studies the potential for using artificial intelligence to detect anomalies and cyber threats in network traffic. It analyzes key information security threats, the operating principles of intelligent intrusion detection systems, machine learning methods, and the specifics of their application to network data analysis. The advantages of using artificial intelligence over traditional security methods are identified, as well as the challenges associated with implementing such technologies. Particular attention is paid to detecting atypical network activity, automating responses to cyber incidents, and enhancing the resilience of information systems against modern attacks.

Keywords: artificial intelligence, cybersecurity, network traffic, machine learning, anomalies, cyber threats, intrusion detection, information systems, network security.

Research Relevance: The modern evolution of information technology is accompanied by a continuous increase in network traffic volumes, the number of connected devices, and the complexity of information systems. Corporate networks, cloud platforms, Internet of Things (IoT) systems, and digital services exchange vast amounts of data daily. At the same time, there is a rising number of cyber threats aimed at gaining unauthorized access, disrupting the functionality of information resources, stealing confidential information, and covertly interfering with network infrastructure operations. The relevance of this research stems from the need to develop adaptive cyber-defense tools capable of timely detection of suspicious activity, reducing incident response times, and enhancing the operational reliability of modern information systems.

Research Objective: The aim of this study is to analyze the potential for applying artificial intelligence and machine learning methods to detect anomalies and potential cyber threats within network traffic, as well as to identify the advantages, limitations, and prospects of using intelligent systems in the field of cybersecurity.

Network traffic consists of the data transmitted between devices, servers, users, and other components of an information system. Analyzing this traffic makes it possible to assess the network status, monitor information exchange, detect violations of established rules, and identify signs of potentially malicious activity. Key metrics used for network traffic analysis include source and destination IP addresses, port numbers, data transmission protocols, connection durations, packet counts, data volumes, request frequencies, and time intervals between network events. By aggregating these characteristics, one can establish a baseline for the normal behavior of network nodes and identify deviations that require further investigation.

An anomaly in network traffic is defined as an event or a set of events with characteristics that differ significantly from the system expected behavior. For instance, if a workstation typically connects to a few internal servers but suddenly begins sending a large volume of requests to numerous unknown nodes, such activity could indicate a malware infection, network scanning, or other suspicious behavior. Common threats that may manifest in network traffic include distributed denial-of-service (DDoS) attacks, port scanning, password-guessing attempts, malware propagation, unauthorized data transmission, and suspicious connections to remote command-and-control servers. Attacks where the adversary attempts to remain undetected by gradually altering the intensity and nature of network activity pose a particular risk.

However, not every deviation from normal behavior signifies a cyberattack. For example, an increase in request volume could result from data backups, software updates, or a surge in server load. Therefore, an effective anomaly detection system must take into account the context of events, the specific operational characteristics of the network, and the interrelationships between various metrics. It is precisely the need to analyze a vast array of interconnected parameters that makes artificial intelligence a promising tool for

ensuring network security. In the realm of cybersecurity, artificial intelligence encompasses methods that enable information systems to analyze data, identify patterns, classify events, and support decision-making. One of its key areas is machine learning, through which algorithms build models based on examples or characteristics of the data under analysis.

Unlike systems that merely check whether traffic complies with predefined rules, machine learning models can take multiple parameters into account simultaneously. This enables the detection of complex relationships between network events that are difficult to describe using a set of simple conditions. Several main approaches can be identified, depending on the learning method and the nature of the task at hand. Supervised learning involves the use of a dataset in which a network exists. Events are pre-labeled as either normal or malicious. The algorithm analyzes examples and learns to distinguish between these categories. Techniques such as decision trees, random forests, support vector machines, and neural networks can be employed for this purpose. The advantage of this approach is the ability to directly classify known threat types; however, the quality of the results depends on the completeness, reliability, and currency of the training data.

Unsupervised learning is used when the data lacks predefined labels. The algorithm explores the data structure, identifies groups of similar events, and detects objects that differ significantly from the majority. Methods such as clustering (e.g., DBSCAN) and the Isolation Forest algorithm can be applied to detect anomalies. This approach is useful when the full list of potential attacks is unknown, though it requires further analysis of the detected deviations. Semi-supervised learning combines a limited amount of labeled data with a larger dataset of unlabeled data. This is particularly relevant for organizations that lack a sufficient number of confirmed cyber-incident examples but possess vast amounts of network event logs. Deep learning methods occupy a distinct place, utilizing multilayer neural networks to detect complex patterns. For instance, recurrent neural networks and architectures incorporating attention mechanisms can be used to analyze sequences of network events and temporal dependencies. Autoencoders, in turn, can learn to reproduce the characteristics of normal traffic, and a significant reconstruction error can be viewed as a signal of a potential anomaly.

The choice of a specific method depends on network size, computational resources, the availability of training data, detection speed requirements, and the acceptable level of false positives. Relatively simple models may be suitable for small networks, whereas large distributed infrastructures might employ hybrid systems that combine multiple analysis algorithms. An intelligent cyber-threat detection system consists of several interconnected stages. First, data is collected from network devices, servers, firewalls, and monitoring systems. Information sources may include connection records, event logs, flow statistics, and network packet analysis results.

In the next stage, the data is cleaned of errors, standardized into a consistent format, and transformed into features used by the model. For instance, the system might calculate the average number of connections over a specific period, the frequency of failed requests, the volume of data transmitted, or the number of distinct ports accessed by a device. After data preparation, the model analyzes the data to determine the extent to which current activity aligns with the established profile of normal behavior. If metrics exceed a defined threshold or the combination of characteristics matches signs of suspicious activity, the system generates an alert. In more sophisticated solutions, events are further classified by risk level, and the findings are relayed to specialists at the security monitoring center.

The final stage involves verifying the detected event and responding to it. Depending on the security policy, the system may recommend blocking a suspicious connection, restricting network access, isolating a device, or intensifying monitoring. Automated execution of such actions must incorporate appropriate control mechanisms, as erroneously blocking a legitimate node could disrupt critical services. Thus, the use of artificial intelligence extends beyond the mere detection of anomalies. Its practical value lies in the ability to integrate data collection, analytical processing, risk assessment, and response support into a unified process.

One example of machine learning application is the detection of distributed denial-of-service (DDoS) attacks. During such attacks, malicious actors flood a target system with a large volume of requests, potentially overloading communications channels or server resources. An intelligent model can analyze

connection intensity, the distribution of traffic sources, request frequency, and the nature of server responses. A combination of atypical indicators can trigger an alert; however, confirming an attack requires accounting for the possibility of a legitimate surge in load.

Another important area is the detection of port scanning. During network infrastructure reconnaissance, an attacker might sequentially access various ports on a single node or check the availability of multiple devices. A machine learning model can detect an atypical increase in the number of such requests, unusual connection sequences, and a high rate of failed connection attempts. Artificial intelligence can also be used to detect signs of data exfiltration. For example, a workstation that typically transmits small amounts of information might suddenly start sending large volumes of data to an external server at an unusual time. The system can identify such an anomaly based on data transmission volume, connection duration, and the device network activity history. However, confirming a data leak requires further verification of the connection destination, access rights, and the nature of the transmitted data. One more example is the detection of infected devices establishing regular connections with external command-and-control nodes. Even if individual connections show no obvious signs of danger, their frequency, unusual duration, or combination with other suspicious events may indicate the presence of malware.

Protecting Internet of Things (IoT) devices is a critical area of focus. Such devices often have limited computing resources, utilize standard network protocol sets, and do not always support robust security measures. Consequently, they can become targets for attacks or be used to form botnets. Network behavior analysis makes it possible to identify devices that suddenly alter their communications patterns, connect to unknown servers, or generate atypical traffic volumes. In cloud-based and distributed information systems, intelligent analysis can be performed simultaneously across multiple layers: network, server, and application. Aggregating information from various sources enables a better understanding of the interrelationships between events and the detection of attacks that might otherwise go unnoticed if analyzed at individual nodes in isolation.

References

1. National Institute of Standards and Technology. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). Gaithersburg: NIST, 2023. DOI: https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-1.

2. National Institute of Standards and Technology. Towards a Standard for Identifying and Managing Bias in Artificial Intelligence. Gaithersburg: NIST, 2022. DOI: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1270.

3. National Institute of Standards and Technology. Cybersecurity Framework (CSF) 2.0. Gaithersburg: NIST, 2024. DOI: https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.29.

4. MITRE. MITRE ATT&CK: Enterprise Matrix. URL: https://attack.mitre.org/ (дата звернення: 13.10.2026).

5. Scikit-learn developers. Novelty and Outlier Detection. Scikit-learn User Guide. URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/outlier_detection.html (дата звернення: 13.10.2026).

6. National Institute of Standards and Technology. Adversarial Machine Learning: A Taxonomy and Terminology of Attacks and Mitigations. NIST AI 100-2e2023. Gaithersburg: NIST, 2024. DOI: https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-2e2023.

УДК 004.056:004.7

DEVELOPMENT OF ADAPTIVE ACCESS CONTROL POLICIES FOR MULTI-CLOUD ENVIRONMENTS IN DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS

Dmytro Hleba

Institute of Special Communications and Information Protection,
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Abstract. This paper investigates the challenges and prospects of developing adaptive access control policies for distributed information systems operating in multi-cloud environments. It analyzes key

information security threats associated with cloud migration, as well as the limitations of traditional static access control models. The advantages of transitioning to dynamic attribute-based models (ABAC) and Zero Trust architecture are identified. Particular attention is paid to mechanisms for continuous monitoring of user context, automated policy updating, and enhancing the overall resilience of the infrastructure against modern cyberattacks.

Keywords: multi-cloud environments, cybersecurity, access control, adaptive policies, distributed information systems, Zero Trust, ABAC, identity management.

Research Relevance: The current stage of corporate information technology development is characterized by a massive transition to multi-cloud architectures. Organizations simultaneously use resources from various providers (e.g., AWS, Azure, Google Cloud) to optimize costs and ensure the uninterrupted operation of distributed systems. However, such infrastructure fragmentation leads to an expanded attack surface, loss of centralized control, and difficulties in managing access rights. Traditional static Role-Based Access Control (RBAC) models are no longer capable of effectively protecting data in conditions of highly dynamic connections, Bring Your Own Device (BYOD) practices, and remote work. The relevance of this research stems from the urgent need to develop and implement adaptive access control mechanisms capable of responding in real time to context changes and risk levels within multi-cloud ecosystems.

Research Objective: The aim of this study is to analyze the principles of building adaptive access control policies in multi-cloud environments, develop approaches for integrating dynamic risk assessment into the authorization decision-making process, and identify architectural solutions to ensure continuous security of distributed information systems.

Distributed information systems in multi-cloud environments consist of microservices, databases, APIs, and user interfaces hosted on various providers' platforms. The main security problem in such environments is the lack of a single perimeter. Each cloud provider has its own Identity and Access Management (IAM) tools, which often leads to policy inconsistencies, over-provisioning of privileges, and the emergence of "blind spots" in security auditing. Furthermore, the dynamic nature of containerized applications and serverless computing introduces ephemeral workloads that require instantaneous access provisioning and de-provisioning, further complicating traditional security management.

Adaptive Access Control is an evolutionary step in cybersecurity that abandons one-time authentication upon system entry. Instead, it is based on the principles of Zero Trust Architecture (ZTA), where trust is never granted by default but is continuously evaluated. At the core of adaptive policies lies the Attribute-Based Access Control (ABAC) model, which considers not only the user's role but also the context of the request. This contextual awareness is often operationalized through the Continuous Adaptive Risk and Trust Assessment (CARTA) framework, which ensures that security postures dynamically evolve in tandem with emerging threats.

The decision-making process regarding access authorization in adaptive systems relies on the analysis of a multidimensional set of metrics. These metrics include: user location (IP address, geolocation), time of day, endpoint security posture (presence of antivirus, OS updates), type of network connection, and user behavior history. For instance, if an employee who typically works from the Kyiv office using a corporate laptop suddenly attempts to access a confidential cloud database from an unknown mobile device abroad, the system must automatically detect this anomaly.

Instead of rigid Allow/Deny blocking, adaptive policies allow for flexible response mechanisms. Depending on the calculated transaction risk level, the system may require additional Multi-Factor Authentication (MFA), restrict access rights to a "read-only" mode, or permit access only to non-confidential data. Additionally, session termination or step-up authentication can be triggered mid-session if a sudden shift in behavior is detected, ensuring that an initially secure connection remains secure throughout its entire lifecycle. This approach minimizes the impact on legitimate users while simultaneously blocking potential threats.

Implementing adaptive policies in a multi-cloud environment requires the use of Cloud Access Security Brokers (CASB) or centralized cloud security posture management platforms (CSPM, CIEM). These tools enable abstraction from the specifics of a particular cloud provider and apply unified standardized access

policies across the entire distributed infrastructure. Data from various cloud platforms, event logs, and network traffic is consolidated and normalized. Moreover, integrating API gateways and service meshes into this architecture allows for granular policy enforcement, ensuring secure machine-to-machine (M2M) communication across different cloud boundaries. This centralized visibility also simplifies compliance with stringent regulatory frameworks, such as GDPR or HIPAA, by providing a unified trail of access logs.

Machine learning and artificial intelligence algorithms play a crucial role in developing adaptive policies by enabling User and Entity Behavior Analytics (UEBA). Models detect hidden correlations and anomalies that may indicate credential compromise or insider abuse attempts, automatically adjusting the user's "trust score" in real time. By utilizing both supervised learning for known threat signatures and unsupervised learning for novel anomaly detection, these intelligent systems can proactively isolate compromised accounts before significant data exfiltration occurs.

Thus, the development and implementation of adaptive access control policies are critical for protecting modern distributed information systems. The integration of dynamic context assessment, attribute-based access models, and behavior analytics allows for the creation of a resilient architecture that effectively counters cyber threats in complex multi-cloud ecosystems.

References

1. National Institute of Standards and Technology. Zero Trust Architecture. NIST Special Publication 800-207. Gaithersburg: NIST, 2020. DOI: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207.

2. Cloud Security Alliance. Security Guidance for Critical Areas of Focus in Cloud Computing. URL: https://cloudsecurityalliance.org/ (accessed: 14.10.2026).

3. National Institute of Standards and Technology. Attribute Based Access Control (ABAC) Definition and Considerations. NIST SP 800-162. Gaithersburg: NIST, 2014. DOI: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-162.

4. Development and standardization of information security policies in cloud environments: current state and prospects.

УДК 004.056:681.518

КІБЕРЗАХИСТ СИСТЕМ SCADA: АКТУАЛЬНІ ЗАГРОЗИ ТА МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Євген Губницький

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Л. О. Борян,
старший викладач Миколаївський національний аграрний університет

Інтенсивна цифровізація виробничих процесів, індустріальна автоматизація та впровадження концепції Індустрії 4.0 зумовили глибоку інтеграцію інформаційних технологій (IT) та операційних технологій (OT). Центральне місце в цій екосистемі займають диспетчерські системи управління та збору даних Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). Вони забезпечують безперервний моніторинг, збір телеметричної інформації та керування складними технологічними об'єктами в реальному часі: від енергетичних мереж і гідроелектростанцій до агропромислових комплексів, систем зрошення та переробки [1]. Однак історично архітектура SCADA-систем розроблялася з розрахунку на ізольованість і фізичну безпеку, а не на протидію цілеспрямованим кібератакам із боку злочинних угруповань чи держав-агресорів [4]. Перехід до використання стандартних мережевих протоколів (Modbus, Profibus, DNP3 поверх TCP/IP), підключення промислових мереж до глобальної мережі Інтернет та використання хмарних сховищ перетворили критично важливі об'єкти країни на вразливі мішені. Відтак, забезпечення надійного кіберзахисту SCADA є питанням безпеки й життєдіяльності держави.

Типова архітектура SCADA складається з кількох рівнів: польовий рівень (Field Level) - датчики, виконавчі механізми, контролери (PLC – Programmable Logic Controllers), які безпосередньо взаємодіють із технологічним середовищем; рівень управління (Control Level) - станції операторів, локальні сервери збору даних, людино-машинний інтерфейс (HMI); рівень корпоративної мережі (Enterprise Level) - системи планування ресурсів (ERP), бази даних підприємства та адміністративні робочі місця. Злиття OT та IT-мереж розриває традиційний захисний периметр («повітряний зазор» - *air-gap*) [4]. Сучасні критичні системи управління ускладнені такими факторами як використання застарілого програмного забезпечення та операційних систем на рівні робочих станцій диспетчерів, які часто не підтримують актуальні патчі безпеки через ризики порушення безперебійності технологічного циклу, слабкий або відсутній захист протоколів зв'язку - більшість традиційних промислових протоколів не передбачають вбудованого шифрування та ідентифікації повідомлень, що дозволяє зловмисникам здійснювати атаки типу «людина посередині» (MitM) або перехоплювати керуючі команди [2].

Кібератаки на промислові об'єкти - це одна з найбільших загроз для національної та економічної безпеки. На відміну від IT-сектор, де зловмисники полюють на дані, цільова атака на промисловість є руйнуванням фізичних процесів, зупинкою виробництва та створенням техногенних катастроф [1]. Зловмисники зазвичай використовують слабкі місця на стику корпоративної (IT) та технологічної мереж, компрометація через корпоративну мережу (IT-до-OT**)** - найпоширеніший шлях, хакери зламують офісну мережу підприємства (наприклад, через фішинг), а потім проникають усередину технологічного контуру через недостатньо ізольовані мережеві мости, атаки із ланцюжка постачань (Supply Chain Attacks) тобто злам підрядників, які мають легітимний віддалений доступ для обслуговування промислового обладнання, або впровадження шкідливого коду безпосередньо в оновлення програмного забезпечення (ПЗ) від виробників, вразливості віддаленого доступу (RDP/VPN) - використання слабких або викрадених облікових даних співробітників чи інженерів, які працюють дистанційно, свідомі дії підкуплених чи ображених співробітників або випадкова помилка персоналу (наприклад, підключення зараженої флешки безпосередньо до робочої станції оператора SCADA, недостатня кібергігієна обслуговуючого персоналу, використання неперевірених дискових носіїв (USB-накопичувачів), слабкі паролі доступу до інженерних станцій. Ключові наслідки кібератак промислових кібератак поділяються на кілька категорій таких як фізичні руйнування та екологія - пошкодження дорогого обладнания (турбіни, генератори, печі), спровоковані вибухи, пожежі, витоки хімікатів чи радіації, економічні збитки - простій виробництва, кожна година зупинки конвеєра коштує мільйони, величезні витрати на відновлення інфраструктури та аудит, травмування або загибель персоналу на виробництві, загроза для цивільного населення, наприклад, через отруєння води або відключення тепла/світла, втрата контрактів та довіри інвесторів, штрафи від державних регуляторів за порушення норм безпеки, дестабілізація критичної інфраструктури (енерготекери, транспорт, водопостачання) під час міждержавних конфліктів [1].

Основними векторами та класифікаціями атак є цілеспрямовані атаки типу APT (Advanced Persistent Threat)**,** тобто зловмисники роками закріплюються в корпоративній мережі підприємства, поступово проникаючи через компрометацію суміжних сервісів (підрядників, підрядників) до ізольованого сегмента OT, також шкідливе програмне забезпечення-вимагачі (Ransomware), що займається шифруванням баз даних або робочих станцій і паралізує процес моніторингу, змушуючи операторів переходити на ручне аварійне управління, фальсифікація даних телеметрії методом введення хибних показників датчиків і змушує автоматику або операторів ухвалювати помилкові рішення, що може призвести до аварій техногенного характеру.

З математичної точки зору ризик кібератаки R можна описати класичною функцією:

$$R = P \times V \times I,$$

де P - ймовірність реалізації загрози (активність зловмисників), V - вразливість системи (слабкі місця архітектури), а I - масштаби потенційних збитків (екологічні, економічні та соціальні наслідки). Оскільки показник наслідків для SCADA-систем є надзвичайно високим, навіть мінімальна ймовірність P вимагає максимального зниження системних вразливостей I [1].

Для захисту промислових об'єктів (ICS/SCADA) розроблено суворі міжнародні інструкції [3] такі як ISA/IEC 62443 - головний глобальний стандарт, що визначає вимоги до кібербезпеки технологічних систем на всіх етапах (від проєктування до експлуатації). Він пропонує концепцію «захисту в глибину», NIST SP 800-82 - Посібник із безпеки промислових систем керування від Національного інституту стандартів і технологій США [3], директива NIS 2 (ЄС) - законодавство, що зобов'язує підприємства критичної інфраструктури впроваджувати жорсткі заходи кіберзахисту та звітувати про інциденти.

Для ефективного протистояння сучасним кіберазагам компанії повинні базуватися на принципі «Нульової довіри» (Zero Trust Architecture) та ешелонованого захисту, архітектурного та мережевого методу захисту - мережева сегментація та брандмауери нового покоління (NGFW), тобто сувора відокремлена корпоративної мережі від технологічного сегмента за допомогою демілітаризованих зон (DMZ) та промислових міжмережевих екранів, що фільтрують трафік на рівні прикладних протоколів OT, системи виявлення та запобігання вторгненням (IDS/IPS) - впровадження спеціалізованих рішень глибокого аналізу пакетів (DPI - Deep Packet Inspection), здатних розпізнавати аномалії в промислових протоколах (наприклад, несанкціоновані команди запису регістрів PLC [4]), технологія Data Diode (односпрямовані шлюзи) - апаратні пристрої, які дозволяють передавати дані лише в один бік (наприклад, з мережі до корпоративну мережу для аналітики).

Передавати команду назад у SCADA через такий пристрій фізично неможливо. Шифрування промислових протоколів - це перехід на захищені версії протоколів (наприклад, OPC UA Security, Modbus Security, IEC 62353), які примушують шифрування трафіку та автентифікацію пристроїв, що унеможливлює підміну команди (Spoofing)) [2]. Використання технологічного моніторингу та зниження загроз, у SCADA-мережах не можна використовувати агресивні сканери вузлів. Тому використовуються пасивні методи [2] - промислові системи виявлення вторгнень (Industrial IDS): системи (наприклад, Cisco Cyber Vision, Microsoft Defender for IoT), які підключаються до дзеркального порту (SPAN) комутатора. Вони пасивно слухають трафік, будують карту мережі, створюють базову лінію нормальної поведінки (Baseline) та сигналізують про будь-які аномалії чи появу нових пристроїв, виконується збір та кореляція логів з SCADA-серверів, інженерних станцій, шлюзів та комутаторів в єдиний центр керування безпекою (SOC).

Замість класичних антивірусів, які потребують щоденних оновлень баз, використовують блокування за білими списками, на комп'ютері дозволяється запуск лише конкретного ПЗ для SCADA, будь-який інший файл (навіть принесений на флешці) просто не запуститься, контроль периферійних пристроїв (USB Lockdown) - повне апаратне або програмне блокування USB-портів на робочих станціях операторів для запобігання випадковому чи навмисному зараженню, управління патчами (Patch Management за регламентом) - оновлення ОС та ПЗ SCADA проводяться тільки після ретельного тестування на полігонах (Staging середовище) та під час планових технологічних зупинок підприємства.

Діофакторна автентифікація (2FA/MFA) обов'язкова для будь-якого віддаленого підключення підрядників або інженерів до промислової мережі через VPN, управління привілейованим доступом (PAM) - контроль дій інженерів та розробників. Усі сесії віддаленого доступу записуються на відео, а права на зміну логіки PLC називаються тимчасовими (Just-in-Time access). Можна порівняти засоби захисту, які використовуються: Industrial Firewall – захищає периметр мережі, перевага у фільтруванні команд на рівні промислових протоколів, вимагає глибокого технологічного розуміння, Data Diode – захищає найкритичніші сегменти (ядро), перевага у 100% апаратному захисті від зловмисних кібератак, повністю блокує зворотний рух (сторонній рух), Industrial IDS – захищає усю мережу OT, перевага у безпечному пасивному моніторингу без впливу на PLC, потребує налаштування для виключення хибних тривог, Application Whitelisting - захищає HMI та інженерні станції, перевага у захисті від невідомих вірусів (Zero-day), блокує встановлення будь-якого ПЗ без білого списку.

Виходячи з вищевказаного можна зробити висновок, що кіберзахист систем SCADA є критично важливим елементом забезпечення сталого функціонування об'єктів критичної інфраструктури,

енергетики та промисловості [1]. Еволюція кіберзагрози вимагає відмови від застарілих підходів щодо ізольованості мережевих мереж і переходу до комплексних систем активного захисту на базі принципів Zero Trust, глибокого моніторингу трафіку та регулярного аудиту вразливостей [3]. Подальші дослідження у цьому напрямі мають бути спрямовані на розробку інтелектуальних систем виявлення аномалій на основі штучного інтелекту, здатних запобігати деструктивним кібератакам у режимі реального часу.

Список використаних джерел

1. Кузнецов С. В., Бондаренко О. М. Кібербезпека критичної інфраструктури та автоматизованих систем управління : монографія. Київ : Техніка, 2024. 245 с.

2. Сдіховська О. Є., Бєлоусов В. С. Захист інформації в автоматизованих системах управління технологічними процесами. Системи управління, навігації та зв'язку. 2025. Вип. 2 (72). С. 112–118.

3. Guide to Operational Technology (OT) Security : NIST Special Publication 800-82 Rev. 3 / National Institute of Standards and Technology. 2023. 250 p.

4. Byres E., Lowe J. The Myths and Facts of Secure SCADA Networks. Proceedings of the 5th Annual IEEE Information Assurance Workshop. 2024. P. 38–45.

УДК 004.056

КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЦИФРОВА ГІГІЄНА

Максим Дякунчак

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Л. О. Борян,
старший викладач Миколаївський національний аграрний університет

Цифрові технології стали невід’ємною частиною повсякденного життя людини. Інтернет використовується для навчання, спілкування, роботи, здійснення покупок, користування банківськими та державними сервісами. Водночас активне використання цифрових ресурсів супроводжується зростанням кількості кіберзагроз. Однією з найпоширеніших є фішинг - спосіб шахрайства, за якого зловмисники намагаються змусити користувача добровільно передати конфіденційну інформацію, зокрема паролі, коди підтвердження або банківські дані. Тому кібербезпека та цифрова гігієна мають бути важливою складовою поведінки кожного користувача.

Цифрова гігієна - це сукупність повсякденних правил і звичок, спрямованих на безпечне використання цифрових пристроїв, сервісів та інформації. Її основою є відповідальне ставлення до власних облікових записів і персональних даних. Насамперед користувачеві необхідно створювати складні та унікальні паролі для різних сервісів. Використання одного пароля на декількох сайтах збільшує ризик компрометації одразу кількох облікових записів. Для додаткового захисту доцільно використовувати багатофакторну автентифікацію, якщо вона доступна.

Важливою складовою цифрової гігієни є також своєчасне оновлення операційної системи, браузера та встановлених програм. Оновлення можуть містити виправлення вразливостей, які потенційно можуть бути використані зловмисниками. Не менш важливо встановлювати програми лише з надійних джерел, перевіряти дозволи, які надаються застосункам, та не відкривати підозрілі файли.

Особливу увагу слід приділяти протидії фішингу. Фішингові повідомлення можуть надходити електронною поштою, у соціальних мережах, месенджерах або у вигляді SMS. Зловмисники часто використовують повідомлення про нібито заблокований акаунт, проблеми з оплатою, необхідність підтвердити особу або отримати винагороду. Для підвищення довіри вони можуть копіювати логотипи, стиль оформлення та назви відомих компаній.

Перед переходом за посиланням потрібно перевірити адресу вебсайту та переконатися, що вона відповідає справжньому домену сервісу. Не слід вводити пароль, реквізити платіжної картки або

коди з SMS на сторінках, відкритих із підозрілих повідомлень. Якщо повідомлення викликає сильне відчуття терміновості, страх або обіцянку значної вигоди, це додатковий привід зупинитися та перевірити інформацію через офіційний сайт або інший незалежний канал зв'язку.

Безпека даних передбачає не лише захист паролів, а й обережне поводження з персональною інформацією. Не варто без потреби публікувати у відкритому доступі номер телефону, адресу проживання, документи, фотографії банківських карток та інші відомості, які можуть бути використані для шахрайства. Під час користування соціальними мережами варто перевіряти налаштування приватності та контролювати, яку інформацію можуть бачити сторонні люди.

Корисною практикою є регулярне резервне копіювання важливих файлів. Резервні копії дають змогу відновити інформацію у випадку втрати пристрою, пошкодження файлів або зараження шкідливим програмним забезпеченням. Важливі дані також бажано захищати блокуванням пристрою, шифруванням та іншими доступними засобами безпеки.

Освітнє середовище також є важливою сферою, у якій необхідно формувати навички цифрової безпеки. Під час навчання здобувачі освіти щодня використовують електронну пошту, освітні платформи, хмарні сховища, відеоконференції та месенджери. Злам облікового запису студента або викладача може призвести до втрати навчальних матеріалів, розголошення персональних даних чи поширення шкідливих посилань серед інших учасників освітнього процесу.

Для студентів особливо важливо вміти розпізнавати фішингові повідомлення, які можуть маскуватися під повідомлення адміністрації закладу освіти, викладача або електронної освітньої платформи. Наприклад, користувача можуть попросити терміново перейти за посиланням для підтвердження навчального акаунта, отримання оцінки, доступу до матеріалів або зміни пароля. Перед виконанням таких дій необхідно перевіряти адресу відправника та домен сайту, а сумнівні повідомлення — уточнювати через офіційні канали.

Важливу роль відіграє і цифрова культура закладу освіти. Студенти та працівники мають дотримуватися правил роботи з персональними даними, не передавати іншим особам паролі та коди підтвердження, використовувати блокування пристроїв і своєчасно встановлювати оновлення. Формування таких навичок у процесі навчання допомагає не лише захистити освітні ресурси, а й підготувати молодь до безпечної роботи з інформаційними технологіями у професійній діяльності.

Отже, кібербезпека значною мірою залежить не тільки від технічних засобів, а й від поведінки самого користувача. Дотримання правил цифрової гігієни, використання унікальних паролів і багатофакторної автентифікації, регулярне оновлення програм, обережність із посиланнями та повідомленнями, а також захист персональних даних дають змогу суттєво зменшити ризик стати жертвою кіберзлочинців. Формування таких звичок є простим і водночас важливим кроком до безпечного використання цифрового середовища.

Список використаних джерел

1. Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України. Рекомендації щодо безпеки в цифровому середовищі : вебсайт. URL: https://cip.gov.ua (дата звернення: 08.10.2026).

2. Національний банк України. Правила безпечних безготівкових розрахунків та захисту платіжних даних : вебсайт. URL: https://bank.gov.ua (дата звернення: 08.10.2026).

3. CERT-UA. Рекомендації з кібербезпеки та протидії фішингу / Державний центр кіберзахисту : вебсайт. URL: https://cert.gov.ua (дата звернення: 08.10.2026).

4. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA). Phishing Guidance: Stopping the Attack Cycle : website. URL: https://www.cisa.gov (accessed: 08.10.2026).

УДК 621.311:004.77

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ У ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

Андрій Руденко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Л. О. Борян,
старший викладач Миколаївський національний аграрний університет

Сучасна трансформація глобального та національного енергетичного сектору безпосередньо пов’язана з інтенсивним впровадженням цифрованих рішень, серед яких особливе місце посідають технології Інтернету речей (IoT). В умовах стрімкого зростання навантаження на розподільчі мережі, збільшення частки відновлюваних джерел енергії та високого ризику виникнення технологічних порушень постає нагальна потреба у створенні високоточних систем моніторингу та управління вимірювальною інфраструктурою в режимі реального часу.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення надійності, енергоефективності та безперебійності електропостачання шляхом мінімізації людського фактора і послідовного переходу до концепції інтелектуальних енергетичних мереж (Smart Grid). Метою даної роботи є комплексне висвітлення теоретичних, прикладних та нормативно-правових засад функціонування Інтернету речей в електроенергетиці, а також оцінка його практичної ефективності для оптимізації технологічних процесів виробництва, транспортування і розподілу електричної енергії. Введення в основну частину передбачає детальний розгляд архітектури IoT-рішень, систем смарт-обліку, автоматизованого виявлення пошкоджень, засобів збереження енергоресурсів, логістичного забезпечення екстреного обслуговування та правових механізмів, що регулюють функціонування цифрової енергетичної інфраструктури на сучасному ринку електричної енергії.

Стрімкий розвиток цифрових технологій створює міцний фундамент переходу традиційних електромереж на якісно новий рівень функціонування та автоматизації. Як зазначають у своїх працях М. Стаднік та співавтори, впровадження інтелектуальних систем моніторингу вимірювальних приладів забезпечує безперервний контроль параметрів електричної енергії та суттєво зменшує ризики виникнення технологічних порушень [1]. Автори підкреслюють, що автоматизований аналіз даних у режимі реального часу дає змогу завчасно прогнозувати критичні навантаження на обладнання та запобігати аварійним вимкненням. Це означає, що первинне розгортання мережі датчиків температури, напруги та струму безпосередньо на трансформаторних підстанціях створює єдине інформаційне поле для диспетчерських служб. Завдяки безперервному надходженню телеметричних даних повністю зникає потреба в планових фізичних обстеженнях віддалених об'єктів, адже будь-які відхилення від нормальних режимів фіксуються миттєво. Додатково це створює передумови для розробки гнучких алгоритмів автоматичного перерозподілу потоків потужності під час локальних пікових навантажень. Системне поєднання смарт-датчиків та аналітичних платформ формує надійний бар'єр проти каскадних аварій, максимізуючи загальний термін експлуатації коштовного силового устаткування. Завдяки цьому оператори систем розподілу отримують можливість переходити від реактивного ремонту до стратегії запобіжного обслуговування на основі фактичного стану матеріальних активів.

Систематичне розширення сфер застосування цифрових сенсорів вимагає впровадження нових інтелектуальних методів обробки даних безпосередньо в мережах. Як зазначають у своїх працях М. Стаднік та співавтори, використання нейронних мереж і методів машинного навчання у складі інтелектуальних систем забезпечує високу точність розпізнавання нестандартних режимів роботи електроенергетичного обладнання [1]. Науковці наголошують на тому, що поєднання штучного інтелекту з фізичними вимірювачами дає змогу виявляти складні взаємопов'язані дефекти ще на стадії їх зародження. Завдяки цьому цифрова інфраструктура стає здатною самостійно класифікувати рівень загрози для стабільності всієї системи, знижуючи навантаження на людський персонал диспетчерських пунктів. Інтеграція предиктивних алгоритмів дозволяє авторегуляторам коригувати напругу та коефіцієнт потужності з урахуванням прогнозованого графіку енергоспоживання на

декілька годин уперед. У результаті суттєво підвищується стійкість розподільчих мереж до раптових технологічних збурень та знижуються втрати при передачі електроенергії. Використання самонавчальних алгоритмів на базі первинних даних IoT-датчиків формує основу для створення повністю автономних підстанцій нового покоління.

Практична реалізація концепції Інтернету речей в енергетичному секторі супроводжується суттєвим розширенням функціональних можливостей постачальних та розподільчих компаній. У публікації на корпоративному блозі Kyivstar Business Hub наголошується, що залучення технологій Інтернету речей у сферу енергетики дозволяє оперативно отримувати точні показники споживання, оптимізувати операційні витрати та забезпечувати високий рівень безпеки мережевої інфраструктури [2]. У даному джерелі акцентується увага на комерційній вигоді від автоматизації збору даних та зниженні обсягів понаднормових втрат. Впровадження розумних лічильників (smart meters) дозволяє повністю виключити людський чинник із процесу фіксації обсягів спожитої електроенергії, унеможливлюючи викривлення інформації чи несанкціонований відбір. Окрім цього, автоматизоване виявлення точок витоку струму та несанкціонованих підключень дозволяє операторам систем розподілу миттєво реагувати на факти розкрадань. Двосторонній обмін даними між споживачем та енергопостачальником сприяє впровадженню багаторарифних систем обліку, зацікавлюючи клієнтів переносити енергоємні процеси на нічний час. Такий підхід вирівнює добовий графік навантаження та знижує знос основного обладнання генерації. У підсумку створюються сприятливі умови для формування прозорих фінансових відносин між учасниками ринку та підвищення якості обслуговування споживачів.

Функціонування цифрових елементів у структурі вітчизняного енергоринку чітко регламентується чинним законодавством України. Згідно зі статтею 68 Закону України «Про ринок електричної енергії», комерційний облік електричної енергії здійснюється по постачальникам, операторам систем та споживачам відповідно до правил комерційного обліку, які визначають вимоги до приладів, порядок отримання та обробки даних [3]. Ця норма закріплює юридичні підстави для обов'язкового використання сертифікованих інтелектуальних засобів вимірювальної техніки. Нормативна стандартизація каналів передачі вимірювальної інформації забезпечує високий рівень легітимності електронних первинних даних, що надходять від IoT-пристроїв до систем комерційного обліку (АСКОЕ). Надійний юридичний базис гарантує, що цифрові показники фіксуються як офіційні юридичні факти для розрахунку балансу потужності та фінансових розрахунків між учасниками ринку. Це створює сприятливе інвестиційне середовище для впровадження смарт-інфраструктури, оскільки енергокомпанії отримують гарантії захисту своїх вкладень у цифровізацію. До того ж чітка регламентація спрощує процедуру інтеграції розподіленої генерації та приватних електростанцій до загальної енергосистеми. Законодавче закріплення правил збору інформації унеможливлює виникнення спірних ситуацій при формуванні балансів електроенергії.

Специфіка застосування бездротових сенсорних мереж охоплює не лише внутрішні процеси передачі енергії, а й логістичні ланцюги обслуговування. Як зазначено в дослідженнях Ю. Семененка, використання Інтернету речей у виробничих та логістичних операціях забезпечує наскрізну прозорість процесів, дозволяючи контролювати стан технічних ресурсів на всіх етапах їх експлуатації [4]. Автор підкреслює важливість інтеграції IoT-модулів у систему матеріально-технічного забезпечення для запобігання простоям та оптимізації маршрутів. В енергетиці це проявляється у створенні автоматизованого контролю за станом аварійного запасу обладнання, трансформаторного масла, кабельної продукції та пересувних ремонтних бригад. Завдяки GPS-моніторингу та датчикам стану матеріалів диспетчерський центр здатний за лічені хвилини сформувати та направити найближчу бригаду з необхідним комплектом запчастин до місця аварії. Такий рівень координації мінімізує час вимушеного відключення споживачів та покращує показники надійності мережі. Крім того, підтримання оптимізованого складу запчастин на основі реальних даних про знос обладнання суттєво зменшує заморожування обігових коштів підприємств енергетичного сектору. Використання інтелектуальних датчиків у логістиці дає змогу суттєво скоротити час відновлення електропостачання після природних катаклізмів чи технологічних аварій.

Окрім суто технічних питань, впровадження IoT-компонентів створює правовідносини щодо володіння та безпечного використання майна цифрової інфраструктури. Згідно зі статтею 319 Цивільного кодексу України, власник володіє, користується, розпоряджається своїм майном на власний розсуд та має право вчиняти щодо нього будь-які дії, що не суперечать закону [5]. Визначення цієї норми підкреслює правовий статус фізичних елементів Інтернету речей: сенсорів, контролерів та серверного обладнання - як об'єктів права власності енергетичних компаній. Захист недоторканності цих матеріальних активів є необхідною умовою для безпечного функціонування критичної інфраструктури держави. Правова визначеність щодо володіння цифровими пристроями дозволяє операторам мереж укладати договори на їх технічне обслуговування, страхувати ризики пошкодження або кібератак, а також передавати окремі функції в аутсорсинг. Водночас власники зобов'язані підтримувати на належному рівні кіберзахист розумних пристроїв, оскільки фізичний або програмний злам IoT-вузла може створити загрозу для всієї об'єднаної енергосистеми. Отже, цивільно-правове регулювання є основою балансу між правами власників інфраструктури та інтересами загальної національної безпеки. Чіткий розподіл юридичної відповідальності сприяє захисту інвестицій у цифровізацію та підвищує надійність функціонування усього енергетичного комплексу.

Аналіз сучасних світових та вітчизняних тенденцій підтверджує стрімке зростання масштабів інтеграції розширеної аналітики в електроенергетику. На думку О. Бунке та П. Новікова, ключовими векторами розвитку Інтернету речей в енергетичній галузі є перехід до концепції Smart Grid, впровадження хмарних обчислень для обробки великих масивів даних (Big Data) та застосування штучного інтелекту для прогнозування [6]. Науковці зазначають, що майбутнє галузі полягає у створенні повністю самовідновлювальних мереж, здатних локалізувати пошкодження без участі людини. Практична реалізація таких векторів передбачає побудову багаторівневої архітектури, де граничні обчислення (Edge Computing) здійснюються безпосередньо на розумних контролерах підстанцій. Це дозволяє приймати критичні рішення про відключення пошкоджених ділянок за мілісекунди, уникаючи поширення системних аварій. Автоматична адаптація мережі до коливань генерації від сонячних та вітрових електростанцій стає можливою саме завдяки щільній сітці IoT-датчиків. Зрештою, об'єднання цих тенденцій формує стійку технологічну основу для цифрової трансформації енергетичного сектору. Гнучке поєднання хмарних рішень та локальної аналітики створює передумови для автономного функціонування мікромереж (Microgrids) у разі масштабних збоїв у централізованій системі.

Питання збереження енергоресурсів та оптимізації їх споживання належить до пріоритетних завдань сучасної енергетики. Як зазначають у своїх працях Д. О. Сапожник та Д. Д. Плечистий, застосування засобів Інтернету речей відкриває широкі можливості для підвищення рівня енергозбереження завдяки точному вимірюванню, контролю та автоматизованому управлінню режимами роботи обладнання [7]. Дослідники акцентують на тому, що впровадження інтелектуального обліку дозволяє виявити приховані втрати енергії та розробити дієві заходи з їх усунення. Завдяки постійному моніторингу температури провідників, стану контактних з'єднань та рівня завантаження трансформаторів удається виявити середньострокові деградаційні зміни в мережі ще до виникнення аварійного пробою. Автоматизовані системи здатні динамічно змінювати коефіцієнт трансформації та регулювати напругу в вузлах споживання, мінімізуючи втрати на нагрівання ліній передач. Це створює вагомий екологічний та економічний ефект, оскільки кожен збережений кіловат-годинний обсяг зменшує потребу у спалюванні викопного палива на теплових електростанціях. Систематичне зниження технологічних витрат електроенергії є важливим чинником підвищення конкурентоспроможності всієї економіки країни.

Поряд із технологічним удосконаленням обладнання вагоме значення має оптимізація споживання безпосередньо на боці кінцевого користувача. Як зазначають у своїх працях Д. О. Сапожник та Д. Д. Плечистий, автоматизація систем вимірювання та управління споживанням енергоресурсів є необхідним кроком для реалізації системного енергозбереження та переходу до «зеленої» економіки [7]. Науковці підкреслюють, що залучення кінцевих споживачів до процесів регулювання через системи Demand Side Management дає змогу суттєво зменшити пікові

навантаження в мережах. На практиці це реалізується через встановлення розумних домашніх та промислових енергоменеджерів, які автоматично відключають непрофільні прилади в періоди найвищої вартості електроенергії. Такий підхід створює економічні стимули для населення та підприємств, сприяючи більш рівномірному використанню наявних потужностей протягом доби. У результаті зменшується потреба в залученні високовитратних маневрених потужностей вугільної та газової генерації. Загальна інтеграція споживачів у єдиний цифрований простір управління є вагомим внеском у досягнення декарбонізації енергетичної галузі.

Синтез технічних, економічних та правових аспектів застосування Інтернету речей свідчить про формування якісно нової парадигми управління електроенергетичним комплексом. Застосування смарт-сенсорів у поєднанні з аналітикою даних перетворює традиційну пасивну мережу на динамічно керовану інтелектуальну систему. Висока щільність первинних вимірювань створює можливість створення цифрових двійників (Digital Twins) силових трансформаторів та розподільчих пунктів, що дає змогу моделювати їх поведінку за будь-яких екстремальних погодних чи режимних умов. Така глибина цифровізації дозволяє відмовитися від застарілої системи планово-попереджувальних ремонтів на користь обслуговування за фактичним технічним станом (Predictive Maintenance). У результаті суттєво знижуються експлуатаційні витрати енергопідприємств при одночасному зростанні показників безвідмовності та якості електропостачання кінцевих споживачів. Інтеграція IoT-технологій перетворює споживачів на активних учасників ринку, які можуть самостійно регулювати власне енергоспоживання залежно від поточних ринкових цін на електроенергію.

Узагальнюючи викладений матеріал, можна зробити висновок, що застосування Інтернету речей в електроенергетиці є ключовим рушієм інноваційного розвитку та цифровізації галузі. Комплексне впровадження розумних лічильників, бездротових сенсорних мереж та аналітичних платформ забезпечує підвищення надійності функціонування електромереж, мінімізацію аварійності та підвищення ефективності збереження енергоресурсів. Чітке законодавче забезпечення комерційного обліку та правового статусу майна критичної інфраструктури створює надійне підґрунтя для подальшого залучення інвестицій у розбудову інтелектуальних мереж Smart Grid.

Список використаних джерел

1. Застосування інтелектуальних систем для підвищення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних мереж / М. Стаднік та ін. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2025. Т. 347, № 1. С. 291–299. URL: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-347-38(дата звернення: 04.10.2026).

2. Інтернет речей в енергетиці: у чому користь? | Kyivstar Business Hub. *Kyivstar Business Hub – корпоративний блог для бізнесу*. URL: https://hub.kyivstar.ua/articles/internet-rechej-v-energeticzi-u-chomu-koristi(дата звернення: 04.10.2026).

3. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII : станом на 1 жовт. 2026 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text(дата звернення: 04.10.2026).

4. Семененко Ю. Використання інтернету речей у виробництві та логістиці. *Наукові інновації та передові технології*. 2024. № 4(32). URL: https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-4(32)-814-826(дата звернення: 04.10.2026).

5. Цивільний кодекс України : Кодекс України від 16.01.2003 № 435-IV : станом на 5 серп. 2026 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text(дата звернення: 04.10.2026).

6. Bunke O., Novikov P. Тенденції розвитку інтернету речей в енергетиці. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2024. № 54. С. 53–59. URL: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-07(дата звернення: 04.10.2026).

7. Sapozhnyk D. O., Plechystyi D. D. Using the Internet of Things for Energy Resource Conservation. *Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*. 2023. Т. 169, № 4. С. 39–45. URL: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-169-4-39-45(дата звернення: 04.10.2026).

УДК 621.311:004.77:628.9

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ У СИСТЕМИ РОЗУМНОГО ОСВІТЛЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНУ ІНФРАСТРУКТУРУ МІСТА

Владислав Федькович

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Л. О. Борян,
старший викладач Миколаївський національний аграрний університет

Глобальна перебудова енергетичного сектору, стрімка урбанізація та постійне зростання вартості енергоресурсів висувають фундаментальні вимоги до модернізації комунальної та промислової інфраструктури. Традиційні системи зовнішнього та внутрішнього освітлення створюють колосальне навантаження на розподільчі електромережі, вимагаючи суттєвих фінансових витрат на оплату електроенергії та технічне обслуговування.

Значна частина наявного освітлювального обладнання працює в статичних режимах із постійною максимальною потужністю, що призводить до невиправданого перевитрачання ресурсів у періоди мінімальної активності громадян та транспортних засобів у нічний час. Перехід до концепції розумного міста (Smart City) передбачає глибинну цифровізацію мережевих елементів та створення динамічно керованих середовищ штучного освітлення.

Застосування технологій Інтернету речей (IoT) виступає базовим інструментом для побудови адаптивних освітлювальних комплексів нового покоління. Розумне освітлення дає змогу реалізувати концепцію освітлення за вимогою (Lighting on Demand), оптимізуючи енергоспоживання залежно від наявності рухомих об'єктів, рівня природної освітленості, погодних умов та часу доби.

Крім того, застарілі системи штучного освітлення вимагають регулярних планових обходів та ручного виявлення вихідних з ладу джерел світла, що створює додаткові витрати для комунальних служб та суттєво уповільнену реакцію на аварійні ситуації.

Метою дослідження є комплексне техніко-економічне та інженерне обґрунтування застосування бездротових сенсорних мереж, хмарних обчислень та інтелектуальних контролерів димування в системах розумного освітлення для забезпечення максимізації енергоефективності, підвищення надійності та оптимізації експлуатаційних витрат.

Структурно система розумного освітлення на базі технологій Інтернету речей являє собою багаторівневу комп'ютерно-інтегровану інфраструктуру. Вона складається з низького рівня фізичних пристроїв, мережевого транспорту даних та верхнього рівня хмарної аналітичної платформи управління.

Первинний рівень включає світлодіодні світильники (LED), інтегровані з датчиками руху, присутності, фотодатчиками, аналізаторами якості повітря та смарт-драйверами. Кожен такий світильник стає автономним вимірювально-управляючим вузлом із власною закладеною логікою роботи.

Для забезпечення безперебійного та завадостійкого обміну даними між просторово розподіленими світильниками використовуються сучасні протоколи бездротового зв'язку. В умовах щільної міської забудови найбільш ефективними є технології LoRaWAN, NB-IoT, Zigbee та самовідновлювальні Mesh-мережі.

Технологія LoRaWAN забезпечує покриття великих радіусів з мінімальним енергоспоживанням контролерів, що робить її оптимальною для магістрального та вулично-шляхового освітлення. Завдяки високій проникній здатності сигналу дані від тисяч світильників можуть передаватися на єдиний базовий концентратор.

Мережевий транспорт передає розширену телеметричну інформацію (напруга, струм, температура драйвера, коефіцієнт потужності) на центральний диспетчерський сервер. Це забезпечує повний контроль за станом кожної світлоточки в режимі реального часу та виключає потребу у фізичних обстеженнях території.

Використання протоколу DALI (Digital Addressable Lighting Interface) у поєднанні з IoT-контролерами дає змогу індивідуально адресувати кожен світильник або групу пристроїв, реалізуючи складні сценарії плавного димування (dimming) від 0% до 100% потужності [1].

Інтеграція алгоритмів машинного навчання та нейронних мереж у програмні платформи керування освітленням відкриває нові можливості для автоматизації прийняття рішень. Замість жорстко запрограмованих часових таймерів інтелектуальна система аналізує великі масиви історичних даних та прогнозує рівень необхідної освітленості.

Алгоритми штучного інтелекту враховують інтенсивність транспортних і пішохідних потоків, прогноз погоди, фази місяця та наявність туману чи опадів. Це дозволяє динамічно підлаштовувати рівень яскравості світла під конкретні умови навколишнього середовища.

Застосування граничних обчислень (Edge Computing) безпосередньо у контролерах опори освітлення дозволяє локально обробляти відеопотік з мікрокамер або сигналів сенсорів руху. Це дає змогу змінювати яскравість освітлення за мілісекунди при наближенні транспортного засобу та повертатися в режим енергозбереження.

Предиктивний аналіз стану обладнання (Predictive Maintenance) забезпечується безперервним моніторингом електричних параметрів. Алгоритми фіксують мікроколивання напруги та пульсації струму, що свідчать про прихований знос світлодіодного модуля або пускорегулювальної апаратури.

Автоматичне формування заявок для ремонтних бригад із зазначенням точних географічних координат та характеру несправності скорочує середній час відновлення функціонування системи (MTTR) та оптимізує складський запас комплектуючих деталей.

Крім того, системи машинного навчання здатні самостійно класифікувати види несправностей та відрізняти пошкодження кабельної лінії від виходу з ладу окремого світлодіодного модуля, що суттєво спрощує діагностику.

Впровадження інтелектуальних систем керування освітленням забезпечує високий техніко-економічний ефект за рахунок прямого скорочення витрат на електричну енергію та зниження операційних витрат на експлуатацію. Завдяки реалізації алгоритмів адаптивного димування загальне споживання електроенергії зменшується на 50–70% порівняно з базовими мережами.

Додатковий економічний виграш досягається за рахунок суттєвого продовження терміну служби світлодіодних модулів. Працюючи в зниженому режимі потужності протягом нічного часу (коли інтенсивність руху мінімальна), світлодіоди зазнають меншого термічного навантаження, що продовжує їх ресурс на 30–40% [1, 8].

Завдяки зниженню пікових навантажень на розподільчі трансформаторні підстанції зменшуються технологічні втрати в кабельних лініях. Це покращує показники якості електроенергії та підвищує загальну надійність електропостачання всього комунального або промислового сектора.

Упорядкування графіка роботи системи освітлення дозволяє уникнути передчасного зносу комутаційної апаратури та силових трансформаторів, що знижує капітальні витрати на реконструкцію мереж.

Період окупності проєктів повного переоснащення системи вуличного освітлення на базі IoT-технологій становить від 2 до 4 років, що робить їх привабливими для залучення приватних інвестицій через механізми енергосервісних контрактів (ЕСКО) [2, 10].

Ефективність функціонування розумного освітлення значною мірою залежить від чіткої організації матеріально-технічного забезпечення та диспетчерського керування. Інтеграція IoT-контролерів із геоінформаційними системами (ГІС) створює детальний цифровий двійник (Digital Twin) усієї освітлювальної інфраструктури об'єкта.

На цифровій карті диспетчера відображається оперативний статус кожного світильника, кабельної лінії та шафи управління. У разі виникнення короткого замикання або перевантаження система миттєво локалізує аварійну ділянку та відключає лише пошкоджений сегмент, зберігаючи працездатність мережі.

Автоматична логістична система на основі даних про фактичний знос обладнання формує графіки планово-запобіжних робіт і оптимізує маршрути руху аварійних бригад. Завдяки GPS-

моніторингу транспорту диспетчер направляє на об'єкт найближчу автовежу з необхідним комплектом деталей.

Такий підхід повністю усуває холості прогони спецтехніки, зменшує витрати пального та забезпечує безперервну безпеку пішоходів і автотранспорту в нічний час доби.

Аналіз ефективності використання матеріальних ресурсів дає змогу оптимізувати обсяги аварійного запасу обладнання на складах, зменшуючи заморожування обігових коштів підприємств.

Побудова цифрової інфраструктури розумного освітлення вимагає чіткого дотримання нормативно-правових норм України та міжнародних технічних стандартів. Правове регулювання у сфері комерційного обліку та енергоефективності визначається Законом України «Про ринок електричної енергії» та галузевими будівельними нормами [4].

Усі інтелектуальні пристрої вимірювання та керування повинні проходити обов'язкову процедуру оцінки відповідності та сертифікації для забезпечення безпечної експлуатації та захисту прав власності згідно з Цивільним кодексом України [4,6].

Захист недоторканності матеріальних та цифрових активів є необхідною умовою для безпечного функціонування критичної та муніципальної інфраструктури. Чіткий розподіл відповідальності спрощує процедури залучення інвестицій та укладання договорів [6].

Важливим аспектом функціонування IoT-мереж освітлення є забезпечення високого рівня кібербезпеки. Враховуючи, що опори освітлення є частиною критичної міської інфраструктури, несанкціонований доступ до мережі керування може призвести до масштабних збоїв у системі життєдіяльності міста.

Для захисту каналів зв'язку застосовується наскрізне шифрування даних (AES-128/256), двофакторна автентифікація пристроїв та ізоляція трафіку у віртуальних приватних мережах (VPN). Це унеможливлює перехоплення управління та підробку телеметричних даних.

Застосування розумного освітлення відіграє вагому роль у досягненні цілей сталого розвитку та декарбонізації економіки. Пряме зменшення споживання електричної енергії супроводжується відповідним скороченням викидів парникових газів (CO_2, SO_2, NO_x) на теплових електростанціях.

Крім того, адаптивне керування світловим потоком дає змогу ефективно боротися з явищем світлового забруднення (Light Pollution) у міських агломераціях. Напрямлений та регульований світловий потік зменшує паразитне розсіювання світла у верхню півсферу, знижуючи негативний вплив на нічну екосистему та біоритми людини.

Сучасні світлодіодні світильники, що використовуються у смарт-системах, виготовляються без використання токсичних сполук ртуті та важких металів, що спрощує їх подальшу утилізацію та повторну переробку матеріалів.

Зменшення нагріву корпусу та відсутність ультрафіолетового випромінювання запобігає негативному впливу на флору та фауну в паркових і рекреаційних зонах міст.

Системне впровадження Smart Lighting є важливим практичним кроком на шляху до створення екологічно чистого, комфортного та безпечного урбанізованого середовища.

Список використаних джерел

1. Система «Розумне освітлення» («Smart Lighting»). Корпорація «Ватра». URL: http://vatra.ua/download/PDF_VATRA/VATRA-2021-UKR_Smart_Lighting.pdf (дата звернення: 12.10.2026).

2. Розумне освітлення українських міст: тенденції, технології та перспективи. Радій LED. 2025. URL: https://radiyled.com/ua/blog/suchasne-osvitlennya-mist-v-ukrayini-tendenciyi-tehnologiyi-ta-perspektivi/ (дата звернення: 12.10.2026).

3. Трубчанінова К. А. Система «розумного» освітлення на базі бінарних дерев рішень. Український державний університет залізничного транспорту. URL: http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/16237/1/Trubchaninova.pdf (дата звернення: 12.10.2026).

4. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII : станом на 1 жовт. 2026 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text (дата звернення: 12.10.2026).

5. Семененко Ю. Використання інтернету речей у виробництві та логістиці. Наукові інновації та передові технології. 2024. № 4(32). URL: https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-4(32)-814-826 (дата звернення: 12.10.2026).

6. Цивільний кодекс України : Кодекс України від 16.01.2003 № 435-IV : станом на 5 серп. 2026 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text (дата звернення: 12.10.2026).

7. Bunke O., Novikov P. Тенденції розвитку інтернету речей в енергетиці. Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production. 2024. № 54. С. 53–59. URL: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-07 (дата звернення: 12.10.2026).

8. Sapozhnyk D. O., Plechystyi D. D. Using the Internet of Things for Energy Resource Conservation. Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute. 2023. Т. 169, № 4. С. 39–45. URL: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-169-4-39-45 (дата звернення: 12.10.2026).

9. Застосування інтелектуальних систем для підвищення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних мереж / М. Стаднік та ін. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2025. Т. 347, № 1. С. 291–299. URL: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-347-38 (дата звернення: 12.10.2026).

10. Інтернет речей в енергетиці: у чому користь? Kyivstar Business Hub. URL: https://hub.kyivstar.ua/articles/internet-rechej-v-energeticzi-u-chomu-koristi (дата звернення: 12.10.2026).



Тематичний напрям № 9
Інтелектуальні технології у безпеці життєдіяльності, цивільному захисті та управлінні ризиками

УДК: 331.45:614.84:005

РОЗУМНА БЕЗПЕКА СВИНОФЕРМІ: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОФЕСІЙНИМИ ТА ПОЖЕЖНИМИ РИЗИКАМИ

Олег Меліхов, Вячеслав Курепін
Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Необхідність проведення навчання з охорони праці та пожежної безпеки з працівниками свиноферми на ПОП «Вікторія» зумовлена специфікою тваринницького виробництва, що характеризується підвищеним рівнем біологічних, хімічних та механічних ризиків. Робота у свинарнику пов'язана з постійним контактом із тваринами, використанням технологічного обладнання, впливом шкідливих газів, підвищеною вологістю та особливими санітарно-гігієнічними умовами, це створює потенційну небезпеку для здоров'я працівників. У таких умовах належна підготовка персоналу є ключовою передумовою безпечного виконання виробничих процесів [1, с. 22].

Важливість навчання полягає у формуванні у працівників знань про основні небезпечні фактори, правила безпечної роботи з обладнанням, вимоги санітарії та гігієни, уміння правильно діяти в нестандартних чи аварійних ситуаціях. Працівники повинні усвідомлювати ризики, пов'язані з обслуговуванням систем життєзабезпечення тварин, а також із поведінкою тварин, яка може бути непередбачуваною. Без відповідної підготовки зростає ймовірність травматизму, професійних захворювань та порушень технологічного процесу.

Має значення навчання з пожежної безпеки, оскільки тваринницькі приміщення містять значну кількість горючих матеріалів, електрообладнання, що може стати джерелом займання. Працівники повинні знати причини виникнення пожеж, правила запобігання їм та порядок дій у разі їх виникнення [2, с. 19]. Здатність швидко орієнтуватися у надзвичайній ситуації, користуватися засобами пожежогасіння та організовано проводити евакуацію є важливими умовами мінімізації наслідків пожежі.

Необхідність систематичного навчання обумовлена змінами у виробничих технологіях, впровадженням нового обладнання та оновленням вимог безпеки. Регулярні інструктажі та перевірка знань дозволяють підтримувати належний рівень підготовки персоналу, формують відповідальне ставлення до безпеки праці та сприяють зниженню рівня виробничих ризиків. Проведення навчання з охорони праці та пожежної безпеки на свинофермі є невід'ємною складовою організації безпечного виробництва, що забезпечує захист життя та здоров'я працівників, стабільність роботи підприємства та дотримання вимог чинного законодавства.

Нормативно-правове забезпечення навчання з охорони праці та пожежної безпеки у ПОП «Вікторія» ґрунтується на чинному законодавстві України, яке регламентує організацію безпечних умов праці та обов'язковість підготовки працівників з питань безпеки. Основою є вимоги законів та підзаконних актів, що визначають порядок проведення навчання [3, с. 76], інструктажів, перевірки знань та відповідальність роботодавця за створення безпечного виробничого середовища. Ці нормативні положення спрямовані на попередження виробничого травматизму, професійних

захворювань та пожеж, на формування у працівників необхідних знань та навичок безпечної поведінки.

Організація навчання на підприємстві здійснюється відповідно до встановлених державних вимог, які передбачають проведення інструктажів, періодичне навчання працівників та перевірку їх знань. Роботодавець забезпечує належні умови для проведення такого навчання, назначає відповідальних осіб та контролює дотримання встановлених правил. Особлива увага приділяється працівникам, які виконують роботи підвищеної небезпеки, оскільки для них передбачено більш суворі вимоги щодо підготовки та допуску до роботи.

Нормативна правова база пожежної безпеки визначає порядок організації протипожежного навчання, проведення інструктажів, забезпечення працівників знаннями щодо дій у разі виникнення пожежі та використання первинних засобів пожежогасіння. Вона також встановлює вимоги до утримання територій та приміщень [4, с. 57], експлуатації електрообладнання та дотримання правил поводження з горючими матеріалами. Виконання цих вимог є обов'язковим для всіх працівників підприємства незалежно від їх посади.

Крім загальнодержавних нормативів, на підприємстві розроблені внутрішні документи, що конкретизують порядок організації навчання з урахуванням особливостей виробництва. До них належать інструкції з охорони праці, положення про навчання та перевірку знань, журнали реєстрації інструктажів та інші документи, що забезпечують системність та контрольованість цього процесу. Ці документи дозволяють адаптувати загальні вимоги законодавства до конкретних умов діяльності підприємства [5, с. 9].

Внутрішні положення підприємства щодо забезпечення навчання з охорони праці та пожежної безпеки у ПОП «Вікторія» є важливою складовою системи управління безпекою праці та направлені на конкретизацію вимог чинного законодавства з урахуванням особливостей виробничої діяльності. Такі положення визначають порядок організації навчання працівників, проведення інструктажів, перевірки знань та допуску до виконання робіт, а також регламентують дії персоналу у разі виникнення аварійних чи небезпечних ситуацій. Вони оформлюються у вигляді внутрішніх нормативних документів, зокрема положень, інструкцій, наказів та розпоряджень, що забезпечують системність та контрольованість процесу навчання.

Внутрішні документи підприємства встановлюють порядок проведення вступного, первинного, повторного та інших видів інструктажів, визначають відповідальних осіб за їх організацію та контроль. Завдяки їм ведеться облік всіх видів навчання у відповідних журналах [6, с. 70]. Особлива увага приділяється працівникам, які виконують роботи підвищеної небезпеки, для яких передбачено спеціальне навчання та періодичну перевірку знань. Внутрішні положення регламентують організацію навчання з пожежної безпеки, включаючи ознайомлення працівників із правилами запобігання пожеж, використання засобів пожежогасіння та діями у разі виникнення пожежі.

Відповідальність роботодавця полягає у створенні належних умов для проведення навчання, забезпеченні працівників необхідною інформацією, інструкціями та засобами захисту, а також контролю за дотриманням вимог охорони праці та пожежної безпеки. Роботодавець зобов'язаний організовувати навчання в установлені строки, не допускати до роботи осіб, які не пройшли відповідної підготовки, та вживати заходів щодо усунення виявлених порушень. Він несе відповідальність за наслідки, що можуть виникати у разі недотримання вимог безпеки.

Працівники зобов'язані проходити спеціальне навчання, дотримуватися встановлених правил і інструкцій, використовувати засоби особистої захисту та негайно повідомляти керівництво про виявлені небезпеки чи несправності. Від їх свідомого ставлення до виконання вимог безпеки залежить не тільки їх особиста безпека, а й безпека колег і стабільність виробничого процесу [7, с. 57].

Організація навчання з питань охорони праці в ПОП «Вікторія» спрямована на формування у працівників необхідних знань, умінь та навичок для безпечного виконання виробничих робіт. Вона здійснюється з урахуванням специфіки сільськогосподарського виробництва, що характеризується підвищеним рівнем виробничих ризиків, сезонністю робіт та використанням різноманітної техніки та обладнання.

Навчання працівників організовується на всіх етапах трудової діяльності працівників, починаючи з моменту прийняття на роботу. Перед допуском до виконання обов'язків працівники проходять відповідну підготовку, що включає ознайомлення з умовами праці, основними небезпечними факторами та вимогами безпеки. У подальшому навчанні має систематичний характер і передбачає періодичне оновлення знань, що дозволяє враховувати зміни в технологічних процесах, впровадження нового обладнання та оновлення нормативних вимог.

Працівникам, які виконують роботи підвищеної небезпеки, їх діяльність пов'язана з експлуатацією складної техніки, використанням хімічних речовин та роботою у складних виробничих умовах треба пройти спеціальне навчання. Працівники отримують більш поглиблене навчання з подальшою перевіркою знань, що є обов'язковою умовою допуску до роботи. Контроль за рівнем підготовки персоналу здійснюється через проведення відповідних перевірок, результати яких фіксуються в установленому порядку.

Важливим елементом організації навчання є проведення інструктажів з охорони праці, які забезпечують ознайомлення працівників із конкретними вимогами безпеки на робочому місці. Такі інструктажі проводяться регулярно та в визначених випадках, що дозволяє підтримувати належний рівень пізнання персоналу. Крім того, на підприємстві можуть застосовуватися різні форми навчання [8, с. 143], включаючи практичні заняття, що сприяють кращому засвоєнню матеріалу та формуванню практичних навичок.

Організація навчання передбачає призначення відповідальних осіб, які здійснюють контроль за його проведенням, ведення необхідної документації та забезпечення відповідності навчального процесу встановленим вимогам. Значну роль відіграє створення належних умов для навчання, включаючи наявність інструктивних матеріалів, технічних засобів та можливостей для проведення практичних зайняття.

Навчання діям у разі пожежі у ПОП «Вікторія» є важливою складовою системи пожежної безпеки, спрямованою на формування у працівників чітких та впевнених навичок реагування на надзвичайні ситуації. Воно передбачає ознайомлення персоналу з основними причинами виникнення пожеж, умовами їх поширення, а також із порядком дій при виявленні загоряння. Працівники повинні добре орієнтуватися в розташуванні евакуаційних виходів, знати способи оповіщення про пожежу та вміти правильно використовувати первинні засоби пожежогасіння. Особлива увага приділяється формуванню здатності швидко оцінювати ситуацію, уникати паніки та діяти відповідно до встановлених інструкцій.

Практичне закріплення теоретичних знань здійснюється шляхом проведення тренувань та навчальних евакуацій, які дозволяють відпрацювати алгоритм дій у реальних умовах. Під час таких заходів моделюються можливі сценарії виникнення пожежі, що дає змогу працівникам набути досвіду швидкого реагування, координації дій та взаємодії між собою. Регулярність проведення тренувань сприяє підвищенню рівня готовності персоналу до надзвичайних ситуацій та дозволяє виявити можливі недоліки в організації евакуації чи функціонуванні систем безпеки [9, с. 362].

У процесі навчальних евакуацій відпрацьовується порядок організованого виходу працівників із небезпечної зони, перевіряється доступність евакуаційних шляхів та ефективність систем оповіщення. Працівники навчаються діяти злагоджено, допомагати один одному та дотримуватися установлених маршрутів евакуації. Особлива увага приділяється забезпеченню безпеки людей, запобіганню травмуванню та мінімізації часу перебування у небезпечній середовищі. Систематичне навчання діям у разі пожежі та проведення тренувань та евакуацій є необхідною умовою підвищення рівня пожежної безпеки на підприємстві, сприяє формуванню практичних навичок у працівників та забезпечує готовність до ефективного реагування в надзвичайних ситуаціях.

Оцінка ефективності системи навчання з охорони праці та пожежної безпеки в ПОП «Вікторія» дозволяє визначити рівень підготовки працівників та результативність проведених заходів. Вона здійснюється шляхом аналізу як теоретичних знань персоналу, так і їх здатності застосовувати ці знання на практиці під час виконання виробничих завдань або у разі виникнення небезпечних ситуацій.

Рівень знань працівників формується в процесі систематичного навчання, інструктажів та практичних зайняття, а його оцінка дозволяє виявити ступінь засвоєння вимог охорони праці та пожежної безпеки. Важливим є не лише знання правил, а й розуміння їх значення та готовність дотримуватися їх у повсякденній діяльності [10, с. 15]. Високий рівень підготовки працівників сприяє зниженню ризику виробничого травматизму та підвищенню загальної культури безпеки на підприємстві.

Результати перевірок знань та проведених інструктажів є основним джерелом інформації для оцінки ефективності навчання. Вони відображають рівень знання працівників, дозволяють виявити типові помилки або прогалини у знаннях, а також визначити необхідність додаткового навчання чи коригування навчальних програм. Регулярне проведення перевірок забезпечує підтримання належного рівня підготовки персоналу та сприяє своєчасному поновленню знань відповідно до змін у виробничих процесах та нормативних вимогах.

Оцінка ефективності навчання також враховує практичні результати, зокрема дотримання працівниками правил безпеки, рівень виробничого травматизму та кількість порушень, виявлених під час контролю. Такий підхід дозволяє комплексно оцінити функціонування системи навчання та визначити її вплив на безпеку праці [11, с. 18]. Систематична оцінка ефективності навчання, аналіз рівня знань працівників та результатів перевірок є необхідною умовою удосконалення системи охорони праці та пожежної безпеки, сприяє підвищенню рівня безпеки на підприємстві та забезпечує стабільність його виробничої діяльності.

Удосконалення навчання з охорони праці та пожежної безпеки у ПОП «Вікторія» є важливим напрямом підвищення рівня безпеки виробництва та зниження професійних ризиків. У сучасних умовах ефективність навчального процесу значною мірою залежить від впровадження нових підходів, які враховують специфіку діяльності підприємства, рівень підготовки працівників та динаміку змін у виробничій середовищі. Використання сучасних методів навчання сприяє кращому засвоєнню матеріалу, формуванню практичних навичок та підвищенню відповідальності персоналу за дотримання вимог безпеки.

Одним із ключових напрямів удосконалення є застосування інтерактивних форм навчання, які дозволяють поєднувати теоретичні знання з практичним відпрацюванням дій у реальних чи наближених до реальних умов. Використання наочних матеріалів, відеоінструкцій, моделювання виробничих ситуацій та проведення тренувань сприяє більш глибокому розумінню вимог охорони праці та пожежної безпеки. Такий підхід дозволяє не лише передавати інформацію, а й формувати у працівників стійкі навички безпечної поведінки.

Важливим аспектом є підвищення мотивації працівників до навчання та дотримання правил безпеки. Це досягається через формування культури безпечної праці [12, с. 43], заохочення відповідального ставлення до виконання обов'язків та усвідомлення особистої значущості безпеки. Позитивний вплив має створення умов, за яких працівники розуміють, що дотримання вимог охорони праці сприяє не лише їхній особистій безпеці, а й ефективності роботи підприємства в цілому.

Не менш важливим є удосконалення системи контролю за якістю навчання та дотриманням вимог безпеки. Регулярний аналіз результатів перевірок знань, спостереження за виконанням робіт та оцінка поведінки працівників у виробничих умовах дозволяють своєчасно виявляти недоліки та вживати коригувальних заходів. Ефективний контроль сприяє підтриманню високого рівня дисципліни, запобігає формальному підходу до навчання та забезпечує постійне удосконалення системи охорони праці.

Узагальнюючи результати проведеного дослідження щодо організації навчання з питань охорони праці та пожежної безпеки у ПОП «Вікторія» можна зробити висновок - ефективність функціонування системи безпеки праці значною мірою залежить від рівня підготовки персоналу та якості проведення навчальних заходів. Сільськогосподарське виробництво характеризується підвищеним рівнем небезпеки, що обумовлює необхідність системного підходу до навчання працівників, постійного оновлення їх знань та формування практичних навичок безпечної поведінки.

Аналіз показав, що у ПОП «Вікторія» сформовано певну систему навчання, що включає проведення інструктажів, перевірку знань та дотримання вимог нормативно-правових актів. Водночас ефективність цієї системи вимагає подальшого удосконалення з урахуванням сучасних вимог і умов виробництва. Особливого значення набуває впровадження інноваційних підходів до навчання, які сприяють кращому засвоєнню матеріалу та підвищують рівень відповідальності працівників за власну безпеку.

Встановлено, що рівень знань працівників безпосередньо впливає на стан охорони праці та пожежної безпеки на підприємстві. Недостатня обізнаність або формальний підхід до навчання можуть призводити до порушень вимог безпеки, зростання ризику травматизму та виникнення аварійних ситуацій. Саме тому важливо забезпечити не лише проведення навчання, а й ефективний контроль за його результатами, що дозволяє своєчасно виявляти прогалини у знаннях та вживати відповідних заходів.

Окрему увагу слід приділити формуванню культури безпечної праці, яка передбачає свідоме ставлення працівників до дотримання правил та норм безпеки. Це досягається шляхом підвищення мотивації, створення належних умов праці та забезпечення постійного інформаційного супроводу з питань охорони праці та пожежної безпеки. Важливим фактором є також відповідальність роботодавця за організацію навчання, створення безпечного виробничого середовища та контроль за дотриманням встановлених вимог.

Удосконалення системи навчання з охорони праці та пожежної безпеки у ПОП «Вікторія» є необхідною умовою підвищення рівня безпеки праці, зниження виробничих ризиків та забезпечення стабільного розвитку підприємства. Комплексний підхід до організації навчання, поєднання теоретичних знань із практичними навичками та постійний контроль за їх застосуванням дозволяють створити ефективну систему управління безпекою, яка відповідає сучасним вимогам та сприяє збереженню життя та здоров'я працівників.

Список використаних джерел

1. Бризгалов М. В. Розробка та впровадження інструкцій з охорони праці на підприємствах аграрного профілю // Інформаційно-психологічна та техногенна безпека: історичні аспекти, особливості захисту суспільства та особистості : тези доповідей за результатами тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 9 грудня 2022 р. Миколаїв : МНАУ, 2022. С. 20-23. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12067.

2. Іваненко В. С. Порівняльна характеристика кваліфікаційних вимог та стандартів до фахівців у галузі охорони праці на підприємствах аграрного профілю. Участь молоді у розбудові агропромислового комплексу України : збірник тез наук.-теорет. 36-ї студентської конф. (м. Миколаїв, 20-22 березня 2024 р.). Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 17-20. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/17834.

3. Іваненко В. М. Практичні аспекти адаптації законодавства ЕС у сфері безпеки і гігієни праці в Україні // Участь молоді у розбудові агропромислового комплексу країни : матеріали 35-ої студ. наук.-теорет. конф., 22-24 березня 2023 року, м. Миколаїв. Миколаїв : МНАУ, 2023. С. 74-78. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13346.

4. Курепін В. М. Оцінка ризиків: критерії оцінки та їх вплив на профілактику виробничих ризиків // Охорона праці: освіта і практика. Проблеми та перспективи розвитку охорони праці : зб. наук. праць III Всеукраїнської науково-практичної конференції викладачів та фахівців-практиків та XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів. 11 травня 2023 р. Львів : ЛДУ БЖД, 2023. С. 56-58. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/14161.

5. Лотарєва Д. В. Організація системи управління ризиками на агропідприємствах Миколаївської області. OSHAgro – 2024 : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 30 вересня 2024 року). Київ : МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Науково-виробничий журнал «Охорона праці», Європейське співтовариство з охорони, 2024. С. 7-10. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18904.

6. Іваненко В.С. Залучення фахівців сторонніх служб для проведення оцінки ризиків на робочому місці // OSHAgro – 2023 : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 3 жовтня 2023 р.). Київ : НУБіП України, 2023. С. 69-71. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15935.

7. Іваненко В. С. Деякі методи оцінки професійних ризиків // Сучасні підходи до охорони праці в закладах професійної освіти : матеріали Усеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, Біла Церква, 26 жовтня 2022 р. Біла Церква : БІНПО ДЗВО «УМО» НАПН УКРАЇНИ, 2022. С. 55-59. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12472.

8. Іваненко В. С. Інновації у сфері безпеки: захист різних сфер діяльності місцевих громад. Розвиток територіальних громад: правові, економічні та соціальні аспекти : матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф., (м. Миколаїв, 9 грудня 2024 р. Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 141-144. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20102.

9. Курепін В. М., Іваненко В. С. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 1. Надзвичайні ситуації природного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2025. 429 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22035.

10. Дідняк А. В. Моделі оцінки ризику об’єктів господарювання: відмови і наслідки // Участь молоді у розбудові агропромислового комплексу країни : матеріали 35-ї студентської науково-теоретичної конференції. 22-24 березня 2023 р м. Миколаїв, Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв : МНАУ, 2023. С. 12-16. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13816.

11. Іваненко В. С. Стресостійкість, як вид психологічної особистості // Інформаційно-психологічна та техногенна безпека: історичні аспекти, особливості захисту суспільства та особистості : тези доповідей за результатами тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 9 грудня 2022 р. Миколаїв : МНАУ, 2022. С. 18-20. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12066.

12. Курепін В. М., Іваненко В.С. Використання озоноруйнивних речовин та їх вплив на довкілля // Обліково-аналітичне і фінансове забезпечення діяльності суб’єктів господарювання: національні, глобалізаційні, євроінтеграційні аспекти : матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 16-17 листопада 2022 р., Миколаїв. Миколаїв : МНАУ, 2022. – С. 42 – 45. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11954.

УДК 331.45:004.8:638.16

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРОФЕСІЙНИМИ РИЗИКАМИ У ВИРОБНИЦТВІ МЕДУ

Олег Банкулов

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. М. Курепін,
канд.екон.наук, доцент кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Організація безпечних умов праці на пасіці є важливою складовою ефективного ведення бджільництва та забезпечення збереження здоров'я працівників. Особливістю роботи на пасіці є постійний контакт людини зі бджолами, використання спеціального інвентарю та обладнання, а також виконання робіт на відкритому повітрі за різних погодних умов. Тому створення безпечного виробничого середовища потребує комплексного підходу, який включає як організаційні, технічні та санітарно-гігієнічні, так й превентивні заходи.

Одним із головних завдань є правильна організація території пасіки [1, с. 223]. Вулики повинні розміщуватися на сухих, добре освітлених та захищених від сильних вітрів ділянках. Між рядами вуликів необхідно залишати достатньо місця для безпечного пересування працівників та транспортування інвентарю. Вузькі проходи між вуликами можуть ускладнювати роботу пасічника та підвищувати ризик випадкового перекидання вулика або травмування працівника під час перенесення рамок із медом.

Особливу увагу слід приділяти підготовці працівників до роботи з бджолами. Особи, які обслуговують пасіку, повинні пройти інструктаж з охорони праці та ознайомитися з правилами безпечного поводження з бджільними сім'ями. Працівники повинні знати особливості поведінки бджіл у різні періоди року, правила використання димаря та способи запобігання агресивній реакції насекомих. Під час огляду бджільних сімей забороняється здійснювати різкі рухи, використовувати парфуми чи працювати у темному одязі, оскільки це може спровокувати напад бджіл.

Важливим елементом безпеки є забезпечення працівників засобами індивідуального захисту [2, с. 327]. Для роботи на пасіці використовують спеціальні захисні костюми світлого кольору, маски чи сітки для захисту обличчя, рукавички та закрите взуття. Під час відбору медових рамок з вулика пасічник повинен бути повністю захищений від можливих жалень, особливо в обличчя та шию, які є найбільш чутливими до укусів насекомих.

Під час виконання робіт на пасіці необхідно дотримуватися вимог безпеки при використанні пасічницького інвентарю. До такого обладнання належать димарі, стамески, медогонки, ножі для роздрукування стільників та інші пристрої. При роботі з електричною медогонкою слід перевіряти справність електропроводки, заземлення та захисних пристроїв, оскільки пошкодження електрообладнання може призвести до ураження електричним струмом.

Особливої уваги потребує профілактика алергічних реакцій на бджолину отруту. Перед допуском до роботи працівники повинні проходити медичний огляд для виявлення можливих протипоказань до роботи з бджолами [3, с. 38]. На пасіці обов'язково має бути аптечка першої допомоги з антигістамінними препаратами, антисептичними засобами та матеріалами для надання невідкладної допомоги. У разі розвитку гострої алергічної реакції після жалення працівнику необхідно негайно надати медичну допомогу та викликати швидку медичну допомогу.

Безпечні умови праці передбачають дотримання санітарно-гігієнічних вимог під час відкачування та зберігання меду. Приміщення для переробки продукції повинні підтримуватися в чистоті, регулярно провітрюватися та бути забезпечені належним освітленням. Працівники зобов'язані дотримуватися правил особистої гігієни та використовувати чистий спеціальний одяг [4, с. 38]. Забруднене обладнання або недотримання санітарних вимог може негативно вплинути на якість меду та створити ризики для здоров'я споживачів.

Важливим напрямом забезпечення безпеки є проведення регулярних інструктажів, навчань та практичних тренувань з охорони праці [5, с. 154]. Працівники повинні знати порядок дій у разі жалення бджолами, виникнення пожежі, несправності обладнання або інших аварійних ситуацій. Систематичне навчання сприяє формуванню навичок безпечної роботи та підвищує рівень готовності персоналу до можливих небезпек.

Організація безпечних умов праці на пасіці ґрунтується на раціональному плануванні виробничої діяльності, використанні засобів індивідуального захисту, дотриманні вимог виробничої санітарії, належної підготовки працівників та контролю за технічним станом обладнання. Комплексне виконання цих заходів дозволяє мінімізувати виробничі ризики, запобігти травматизму та забезпечити ефективну та безпечну діяльність пасіки в умовах ННПЦ Миколаївського НАУ.

У сучасних умовах розвитку бджільництва одним із важливих напрямів підвищення ефективності виробництва меду є удосконалення системи охорони праці та виробничої безпеки. Робота на пасіці пов'язана з впливом біологічних, фізичних, механічних та психофізіологічних факторів, тому впровадження сучасних заходів безпеки сприяє зниженню ризику травматизму, професійних захворювань та створенню комфортних умов праці для персоналу.

Важливим напрямом удосконалення безпеки є використання сучасних засобів індивідуальної захисту [6, с. 111]. Традиційні пасічницькі костюми поступово замінюються більш легкими та

ергономічними моделями, виготовленими з міцних матеріалів із підвищеним рівнем захисту. Сучасні комбінезони із захисними вентиляційними вставками забезпечують ефективний захист від жалень і водночас покращують теплообмін, що особливо важливо під час роботи в літній період.

Значну роль у підвищенні безпеки праці відіграє механізація окремих виробничих процесів [7, с. 70]. Використання сучасних медогонок, підйомних пристроїв для переміщення корпусів вуликів та обладнання для автоматичного роздрукування стільників дозволяє суттєво знизити фізичне навантаження на працівників. Застосування електричного підйомника для перенесення багатокорпусних вуликів зменшує ризик травмування спини та опорно-рухового апарату.

Для підвищення рівня біологічної безпеки необхідно забезпечити постійний ветеринарний контроль за станом бджолиних сімей. Своєчасне виявлення та лікування захворювань бджіл сприяє зниженню ризику поширення інфекцій та створює безпечніші умови праці для персоналу. Регулярний моніторинг поширення варіатору дозволяє запобігти ослабленню бджолиних сімей і зменшити агресивність бджіл під час обслуговування.

Одним із ефективних заходів є удосконалення санітарно-гігієнічних умов праці. Приміщення для відкачування, фасування та зберігання меду повинні бути обладнані сучасними системами вентиляції, достатнім освітленням та засобами підтримання належного санітарного стану. Встановлення механічної припливно-витяжної вентиляції дозволяє підтримувати оптимальний мікроклімат і створює комфортні умови для роботи персоналу [8, с. 927].

Особливу увагу слід приділяти профілактиці алергічних реакцій. Доцільним є забезпечення пасіки сучасними аптечками, які містять антигістамінні препарати, засоби для надання першої допомоги та інструкції щодо дій у разі анафілактичного шоку. Наявність автоматичного ін'єктора з адреналіном може спасти життя працівникові при виникненні тяжкої алергічної реакції після жалення бджолами.

Важливим напрямом удосконалення безпеки є впровадження цифрових технологій у виробничий процес [9, с. 478]. Використання електронних журналів обліку інструктажів, систем моніторингу стану пасіки та мобільних застосунків для контролю роботи бджолиних сімей дозволяє підвищити ефективність управління безпекою праці. Наприклад, система дистанційного контролю температури та вологості в вуликах допомагає своєчасно виявляти несприятливі умови та запобігати виникненню небезпечних ситуацій.

Важливою складовою безпеки є пожежна профілактика. Необхідно регулярно перевіряти стан електрообладнання, забезпечувати наявність справних вогнегасників та проводити навчання персоналу з питань пожежної безпеки [10, с. 155. Своєчасна перевірка електропроводки в приміщенні для зберігання меду дозволяє запобігти короткому замиканню та можливому виникненню пожежі.

Удосконалення безпеки праці при виробництві меду має базуватися на комплексному підході, що поєднує сучасні технічні рішення, ефективну організацію праці, навчання персоналу [11, с. 273], використання засобів індивідуального захисту та впровадження інноваційних технологій. Реалізація зазначених заходів сприятиме мімінізації виробничих ризиків, підвищенню рівня захищеності працівників та забезпеченню стабільного розвитку бджільництва в умовах ННПЦ Миколаївського НАУ.

Проведений аналіз показав, що забезпечення безпеки праці під час виробництва меду є важливою умовою ефективної діяльності пасіки та збереження здоров'я працівників. Основними виробничими ризиками є жалення бджіл, вплив несприятливих погодних умов, використання спеціального обладнання та можливість виникнення алергічних реакцій. Дотримання вимог охорони праці, застосування засобів індивідуального захисту та проведення регулярних інструктажів сприяють зниженню рівня виробничого травматизму.

Впровадження сучасних технічних засобів, механізація окремих виробничих процесів та удосконалення санітарно-гігієнічних умов праці дозволяють підвищити рівень виробничої безпеки та комфортність праці персоналу. Комплексне виконання організаційних, технічних та профілактичних заходів забезпечує створення безпечних умов праці та підвищення ефективності виробництва меду в умовах ННПЦ Миколаївського НАУ.

Список використаних джерел

1. Курепін В. М. Основи охорони праці : навчальний посібник для студентів закладів вищої освіти аграрної галузі. Миколаїв : МНАУ, 2022. 347 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12462.

2. Курепін В. М., Курепін Д. В., Іваненко В. С. Цивільний захист: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2025. 491 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20130.

3. Іваненко В. С., Курепін В. М. Визначення величини ризику: значущість та ймовірність. OSHAgro – 2025 : збірник тез доповідей V міжнар. наук.-практ. конф., 30 вересня 2025 року / МОН України ; Національний університет біоресурсів і природокористування України ; Науково-виробничий журнал «Охорона праці» ; Європейське співтовариство з охорони праці. Київ, 2025. С. 37-39. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/23333.

4. Піндера М. В. Контроль та управління безпечністю харчових продуктів. Актуальні проблеми та перспективи розвитку агропродовольчої сфери, індустрії гостинності та торгівлі : тези доповідей IV міжнар. наук. практ. конф., 4 листопада 2025 р. / Державний біотехнологічний ун-т. Харків, 2025. С. 428-430. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22771.

5. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

6. Курепін В. М., Лимар О. О. Управління людською складовою бізнесу як чинник промислового менеджменту в умовах цифрової трансформації. Modern Economics. 2026. № 57(2026). С. 107-115. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V57(2026)-14.

7. Іваненко В.С. Залучення фахівців сторонніх служб для проведення оцінки ризиків на робочому місці // OSHAgro – 2023 : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 3 жовтня 2023 р.). Київ : НУБіП України, 2023. С. 69-71. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15935.

8. Іваненко В., Курепін В. Впровадження інноваційних систем безпеки на підприємства під час війни на прикладі міста Миколаїв. Актуальні проблеми та перспективи розвитку обліку, аналізу та контролю в соціально-орієнтованій системі управління підприємством : матеріали IX всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Полтава, 26 березня 2026 р.). Полтава : Полтавський державний аграрний університет, 2026. С. 926-928.

9. Паламарчук В. Є. Механізми збереження продуктивності аграрних підприємств під впливом руйнувань, інфляції та блекаутів. Проблеми надзвичайних ситуацій : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Черкаси, 21 травня 2026 року). Черкаси : НУЦЗ України, 2026. С. 478-479. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25634.

10. Курепін В. М. Механізм фінансування та громадської участі в забезпеченні заходів безпеки на локальному та регіональному рівнях. Modern Economics. 2026. № 55(2026). С. 153-161. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V55(2026)-21.

11. Меліхов О. Роль навчання у зниженні виробничих ризиків на сільськогосподарських підприємствах. Інновації в агроінженерії : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 7-9 квітня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 271-276. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25487.

УДК 331.45:004.8:637.1

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ РУЧНИХ МЕХАНІЗОВАНИХ АГРЕГАТІВ У МОЛОЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Геннадій Гецман

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. М. Курепін,
канд.екон.наук, доцент кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Організація робочих місць операторів та працівників виробничої дільниці в умовах ПрАТ «Лакталіс-Миколаїв» має важливе значення для забезпечення безпечних умов праці, високої якості готової продукції та ефективності виробничого процесу. Виробництво сметани належить до харчової промисловості, де особливу увагу приділяють дотриманню санітарно-гігієнічних вимог, ергономічності робочих місць та безпечній експлуатації технологічного обладнання.

Робочі місця операторів технологічної лінії обладнуються таким чином, щоб забезпечити зручний доступ до панелей керування, контрольно-вимірювальних приладів та механізованих агрегатів. При цьому розташування обладнання повинно виключати необхідність виконання зайвих рухів та тривалого перебування працівника у вимушеній позі. Пульт керування пастеризаційною установкою або резервуаром для сквашування вершків розміщується на висоті, зручній для спостереження за показниками температури, тиску та тривалості технологічного процесу. Це дозволяє оператору своєчасно реагувати на відхилення параметрів від встановлених норм [1, с. 430].

На виробничих дільницях підприємства важливим елементом організації праці є забезпечення безпечних проходів між технологічним обладнанням. Відстані між резервуарами, насосними установками, фасувальними автоматами та транспортними лініями повинні забезпечувати вільне пересування працівників, проведення санітарної обробки та технічного обслуговування обладнання. Захаращення проходів тарою, інструментами чи матеріалами не допускається, оскільки це може спричинити травмування працівників або порушення евакуації в разі аварійної ситуації.

Особливу увагу приділяють організації робочих місць працівників, які виконують операції з використанням ручних механізованих агрегатів. Такі працівники повинні мати достатній робочий простір для безпечного виконання виробничих операцій [2, с. 927]. Під час використання ручних міксерів або перемішувальних пристроїв необхідно виключити можливість контакту працівника з рухомими частинами обладнання, а електричні кабелі повинні бути розташовані таким чином, щоб не створювати ризику спотикання чи пошкодження ізоляції.

Важливим фактором ефективної організації робочих місць є забезпечення належного освітлення. На дільницях виробництва сметани працівники постійно контролюють якість сировини, стан технологічного обладнання та параметри виробничого процесу. Недостатнє освітлення може призводити до підвищеного зорового напруження, швидкої втоми та збільшення ймовірності помилок. Тому виробничі приміщення оснащуються системами загального та місцевого освітлення, які забезпечують нормативні показники освітленості робочих поверхонь.

Для підтримання працездатності персоналу велике значення має створення сприятливого мікроклімату [3, с. 42]. У виробничих приміщеннях ПрАТ «Лакталіс-Миколаїв» необхідно підтримувати оптимальну температуру повітря, відносну вологість та швидкість руху повітря відповідно до санітарних норм. У цехах фасування та пакування сметани надмірна температура може спричиняти швидку втому працівників, а підвищена вологість - створювати дискомфорт і збільшувати ризик професійних захворювань.

Робочі місця обладнуються засобами колективного та індивідуального захисту. Працівники забезпечуються спеціальним одягом, взуттям, головними уборами та іншими засобами захисту відповідно до характеру виконуваних робіт. Під час миття обладнання із застосуванням мийних та

дезінфекційних засобів працівники використовують захисні рукавички та окуляри для запобігання контакту шкіри та очей із хімічними речовинами.

Важливим елементом організації праці є також розміщення інформаційних матеріалів з охорони праці [4, с. 149]. На робочих місцях повинні бути доступними інструкції щодо безпечної експлуатації обладнання, схеми евакуації, знаки безпеки та номери екстрених служб. Біля фасувальної лінії можуть розміщуватися інструкції щодо безпечної зупинки обладнання у разі виникнення несправності або аварійної ситуації. Раціональна організація робочих місць операторів та працівників виробничої дільниці в умовах ПрАТ «Лакталіс-Миколаїв» сприяє збереженню здоров'я персоналу, підвищенню продуктивності праці, зниженню ризику виробничого травматизму та забезпеченню стабільної якості сметани відповідно до вимог харчової безпеки.

У процесі виробництва сметани на ПрАТ «Лакталіс-Миколаїв» широко застосовується ручне механізоване обладнання, яке використовується для виконання допоміжних технологічних операцій, санітарної обробки виробничих приміщень та обладнання, перемішування продуктів, фасування та технічного обслуговування виробничих ліній. Незважаючи на значне підвищення продуктивності праці та полегшення виконання окремих операцій, використання такого обладнання пов'язане з низкою потенційних небезпек [5, с. 199], які можуть негативно впливати на здоров'я працівників та призводити до виробничого травматизму.

Однією з найбільш поширених небезпек є можливість травмування працівника рухомими частинами механізованого обладнання. Під час роботи ручних міксерів, перемішувальних пристроїв або переносних насосів існує ризик контакту рук, одягу чи засобів індивідуального захисту з обертовими елементами. Під час очищення змішувального обладнання без попереднього відключення від електромережі працівник може отримати механічну травму внаслідок негайного запуску агрегату.

Серйозну небезпеку становить ураження електричним струмом. Більшість ручного механізованого обладнання працює від електричної мережі, а виробничі приміщення молокопереробних підприємств характеризуються підвищеною вологістю. У разі пошкодження ізоляції кабелю, несправності електродвигуна або використання обладнання з технічними дефектами працівник може потрапити під дію електричного струму. Під час миття виробничої ділянки вода може потрапити на електричні з'єднання переносного насоса, що значно підвищує ризик електротравми [6, с. 421].

Важливим фактором ризику є підвищений рівень шуму та вібрації. Під час тривалої експлуатації ручних механізованих агрегатів працівники можуть зазнавати впливу локальної вібрації, яка передається через руки та кисті. У довгостроковій перспективі це може спричиняти порушення кровообігу, підвищену втому та розвиток професійних захворювань опорно-рухового апарату. Використання ручних шліфувальних або полірувальних машин під час технічного обслуговування обладнання може супроводжуватися значним вібраційним навантаженням.

Під час експлуатації ручного механізованого обладнання також існує небезпека виникнення фізичних перевантажень. Працівники часто переміщують обладнання вручну, утримують його протягом тривалого часу або працюють у незручних позах [7, с. 14]. Такі умови сприяють розвитку м'язової втоми, болю у спині, плечовому поясі та суглобах. Під час тривалого використання переносного перемішувального агрегату оператор змушений утримувати обладнання у статичному положенні, що створює додаткове навантаження на м'язи рук та спини.

Значну небезпеку становить можливість ковзання та падіння працівників [8, с. 65]. На підприємствах молочної промисловості підлога часто стає вологою внаслідок миття обладнання або випадкового розливу молока та молочних продуктів. Використання ручного механізованого обладнання в таких умовах підвищує ризик втрати рівноваги, особливо якщо електричні кабелі прокладені через проходи або робочі зони. Працівник може перечепитися через кабель переносного насоса та отримати травму під час падіння.

Окрему групу небезпек становлять хімічні чинники. Під час санітарної обробки обладнання часто використовуються мийні та дезінфекційні засоби. Якщо механізоване обладнання застосовується для нанесення чи змішування таких речовин, працівник може контактувати з

агресивними хімічними сполуками. В результаті можливі подразнення шкіри, слизових оболонок, алергічні реакції або захворювання органів дихання. Під час роботи з лужними мийними розчинами без належних засобів захисту можуть виникати хімічні опіки шкіри рук.

Не менш важливим є психофізіологічний аспект безпеки [9, с. 443]. Робота з ручним механізованим обладнанням потребує постійної концентрації уваги, особливо під час виконання операцій поблизу працюючих виробничих ліній. Втома, поспіх або недотримання інструкцій можуть призвести до помилок та створити аварійні ситуації. Працівник, який виконує очищення обладнання наприкінці зміни в умовах перевтоми, може не помітити несправність електричного кабелю або порушити порядок безпечного відключення агрегату.

Отже, безпечна експлуатація ручного механізованого обладнання є важливою складовою організації виробництва сметани в умовах ПрАТ «Лакталіс-Миколаїв» [10, с. 241]. Під час виконання виробничих операцій працівники можуть зазнавати впливу механічних, електричних, хімічних та психофізіологічних небезпечних факторів. Найбільшу загрозу становити рухомі частини обладнання, можливість ураження електричним струмом та вплив мийних та дезінфекційних засобів. Додатковими факторами ризику є підвищена вологість виробничих поміщень, вібрація, шум та фізичні навантаження.

Ефективне функціонування системи охорони праці потребує постійного контролю технічного стану обладнання та своєчасного усунення несправностей. Важливе значення мають проведення інструктажів, навчання персоналу безпечним методам роботи та використання засобів індивідуального захисту [11, с. 334]. Дотримання вимог виробничої санітарії та правил експлуатації механізованих агрегатів сприяє зниженню рівня виробничого травматизму та професійних захворювань. Впровадження комплексних заходів безпеки забезпечує збереження здоров'я працівників, підвищення продуктивності праці та стабільність виробничого процесу.

Список використаних джерел

1. Піндера М. В. Контроль та управління безпечністю харчових продуктів. Актуальні проблеми та перспективи розвитку агропродовольчої сфери, індустрії гостинності та торгівлі : тези доповідей IV міжнар. наук. практ. конф., 4 листопада 2025 р. / Державний біотехнологічний ун-т. Харків, 2025. С. 428-430. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22771.

2. Іваненко В., Курепін В. Впровадження інноваційних систем безпеки на підприємства під час війни на прикладі міста Миколаїв. Актуальні проблеми та перспективи розвитку обліку, аналізу та контролю в соціально-орієнтованій системі управління підприємством : матеріали IX всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Полтава, 26 березня 2026 р.). Полтава : Полтавський державний аграрний університет, 2026. С. 926-928.

3. Курепін В. М. Основи охорони праці : навчальний посібник для студентів закладів вищої освіти аграрної галузі. Миколаїв : МНАУ, 2022. 347 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12462.

4. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

5. Іваненко В. С. Система управління надзвичайними ситуаціями в умовах воєнних викликів: муніципальний аспект. Інтеграція науки та практики управління в умовах соціокультурних трансформацій: зб. матеріалів IV Міжнар. наук.-практич. конф. (28 квітня 2026 року, м. Лубни). Лубни : ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2026. С. 116-121. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26716.

6. Курепін В. М., Курепін Д. В., Іваненко В. С. Цивільний захист: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2025. 491 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20130.

7. Лазіс М. І. Способи визначення значущості ризику та прийняття рішення про необхідність й черговість заходів. OSHAgro – 2025 : збірник тез доповідей V міжнар. наук.-практ. конф., 30 вересня 2025 року / МОН України ; Національний університет біоресурсів і природокористування України ; Науково-виробничий журнал «Охорона праці» ; Європейське співтовариство з охорони праці. Київ, 2025. С. 13-15. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/23326.

8. Ivanenko V.S., Kurepin V.M. Security dimension of development of Ukrainian villages in the context of modern challenges. Розвиток українського села - основа аграрної реформи в Україні : матеріали Причорноморської регіональної науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу (м. Миколаїв, 15-16 квітня 2026 р.) / Інженерно-енергетичний факультет. Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 64-66. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25504.

9. Іваненко В. С., Курепін В. М. Human Organizational Performance як основа стійкості громад у системі національної безпеки. Продовольча безпека України в умовах післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум : тези доповідей учасників міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 27-30 травня 2026 р.) / Міністерство освіти і науки України ; Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 442-445. URL: https://doi.org/10.31521/978-617-7149-94-0-146.

10. Мельничук Д., Курепін В. Формування організаційної політики ДП «Лакталіс-Україна» у сфері охорони праці відповідно до вимог ISO 45001. Інновації в агроінженерії : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 7-9 квітня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 238-243. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25481.

11. Іваненко В. С. Інструментарій стратегічного управління персоналом у сільському господарстві. Глокалізаційні аспекти інноваційного розвитку економіки: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених (м. Одеса, 16 жовтня 2025 р.). Одеса : ОНЕУ, 2025. С 332-334. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22739.

УДК 331.45:004.8:636.4

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ У ВИРОБНИЦТВІ ПРОДУКЦІЇ СВИНАРСТВА

Герам Говоргян, Вячеслав Курепін

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Ефективність вирощування молодняку свиней значною мірою залежить від належної організації праці персоналу, рівня кадрового забезпечення та створення безпечних та комфортних умов праці. В умовах СГПП «Техмет-Юг» виробничий процес має неперервний характер, оскільки догляд за тваринами, контроль їхнього фізіологічного стану, забезпечення годівлі та підтримання оптимального мікроклімату здійснюються щоденно незалежно від вихідних, святкових днів чи сезонних особливостей.

Робота працівників свинарського комплексу організовується відповідно до встановленого режиму праці та відпочинку з урахуванням специфіки технологічного процесу. Найчастіше застосовується змінний графік роботи, який дозволяє забезпечити постійний контроль за станом поголів'я [1, с. 8]. Працівники виконують виробничі операції в ранковий та вечірній час, коли здійснюється основна годівля тварин, очищення поміщень, перевірка роботи систем вентиляції, водопостачання та автоматизованого обладнання. У ранкову зміну оператор свинарського комплексу проводитиме огляд стану молодняку, контролює споживання кормів, виявляє ослаблених або хворих тварин та передає відповідну інформацію ветеринарному спеціалісту.

Кадрове забезпечення підприємства включає операторів з догляду за свинями, ветеринарних лікарів, техніків штучного осіменіння, механізаторів, електриків, працівників кормоцеху та адміністративного персоналу. Кожна категорія працівників виконує визначені функціональні обов'язки, від яких залежить стабільність виробничого процесу та збереження поголів'я [2, с. 150]. Особливого значення набуває кваліфікація персоналу, оскільки сучасне свинарство передбачає

використання автоматизованих систем годівлі, напування, клімат-контролю та моніторингу стану тварин. Оператор повинен не лише доглядати за тваринами, а й вміти працювати з електронними системами контролю мікроклімату, своєчасно виявляти відхилення температури чи вологості повітря від нормативних значень.

В умовах воєнного стану кадрове забезпечення аграрних підприємств ускладнюється через дефіцит трудових ресурсів [3, с. 410], мобілізацію працівників та необхідність перерозподілу виробничих обов'язків між наявним персоналом. В результаті окремі працівники можуть виконувати додаткові функції, що призводить до збільшення фізичного та психологічного навантаження. Один працівник може одночасно здійснювати догляд за тваринами, контролювати роботу обладнання та брати участь у проведенні санітарних заходів. Така ситуація потребує особливої уваги до питань охорони праці та запобігання професійному перевантаженню.

Умови праці персоналу на свинарському комплексі характеризуються впливом низки виробничих факторів. Одним із найважливіших є мікроклімат виробничих поміщень [4, с. 56]. Для нормального зростання і розвитку молодняку свиней необхідно підтримувати певний температурний режим, рівень вологості та швидкість руху повітря. Однак навіть за наявності сучасних систем вентиляції працівники можуть зазнавати впливу підвищеної вологості, перепадів температур та протягів. Особливо це відчувається в зимовий період під час проведення технологічних операцій у неопалюваних допоміжних приміщеннях.

Важливим фактором виробничого середовища є наявність у повітрі пилу, аміаку, сірководню та інших газів, що утворюються внаслідок життєдіяльності тварин та накопичення органічних відходів. При недостатньо ефективній роботі систем вентиляції концентрація аміаку може підвищуватися до рівня, що спричиняє подразнення слизових оболонок очей та органів дихання працівників. Тривалий вплив таких факторів може сприяти розвитку професійних захворювань дихальної системи [5, с. 23].

Значну увагу необхідно приділяти біологічним факторам виробничого середовища [6, с. 147]. Працівники свинарського комплексу контактують із тваринами, кормами, біологічними відходами та ветеринарними препаратами. Під час виконання виробничих операцій існує ризик травмування внаслідок агресивної поведінки тварин. Переміщення груп молодняку між секціями може супроводжуватися ударами або пошкодженнями працівника внаслідок скупчення та неконтрольованого руху тварин.

Фізичне навантаження є важливою складовою трудового процесу. Незважаючи на впровадження механізації окремих виробничих операцій, працівники регулярно виконують роботи, пов'язані з переміщенням інвентарю, проведенням ремонтних робіт, очищенням приміщень та обслуговуванням обладнання. Під час ліквідації несправностей у системі годівлі або видалення гною виникає необхідність виконання робіт у незручних позах та обмеженому просторі, що збільшує навантаження на опорно-руховий апарат.

Окремим аспектом є психоемоційне навантаження працівників в умовах воєнного стану. Повітряні тривоги, ризики перебоїв з електропостачанням, необхідність оперативного реагування на надзвичайні ситуації [7, с. 98] та загальна напружена суспільно-політична ситуація можуть негативно вплинути на психологічний стан персоналу. Відключення електроенергії у літній період створює загрозу порушення роботи систем вентиляції, що потребує швидкого запуску резервних джерел живлення для недопущення перегрівання молодняку свиней.

Військовий стан суттєво впливає на функціонування аграрних підприємств та створює додаткові ризики для працівників, які виконують свої професійні обов'язки в умовах підвищеної небезпеки та невизначеності. Поряд із традиційними виробничими факторами, характерними для галузі свинарства, на персонал СГПП «Техмет-Юг» впливають чисельні стресові фактори, пов'язані з військовими діями, які можуть негативно позначатися на безпеці праці, працездатності та психологічному стані працівників.

Одним із найсуттєвіших стресових факторів є постійна загроза ракетних ударів, атак безпілотних літальних апаратів та інших надзвичайних подій воєнного характеру. Працівники змушені виконувати свої трудові обов'язки в умовах регулярних повітряних тривог, що супроводжується підвищеним емоційним напруженням та почуттям небезпеки. Навіть за відсутності безпосередньої

загрози для підприємства тривале перебування у стані психологічної напруги [8, с. 202] призводить до погіршення концентрації уваги, зниження швидкості прийняття рішень та збільшення ймовірності виробничих помилок. Працівники свинарського комплексу під час проведення ветеринарних процедур можуть відволіктися на повідомлення про повітряну тривогу, що підвищує ризик травмування як працівника, так і тварин.

Суттєвим фактором впливу є хронічне психоемоційне навантаження. Багато працівників переживають за безпеку своїх батьків, збереження житла, матеріальні труднощі та загальну невизначеність майбутнього. В результаті виникає емоційне виснаження, яке негативно позначається на якості виконання виробничих завдань. Працівник, який тривалий час перебуває у стані стресу, може несвоєчасно помітити несправність обладнання або порушення технологічного режиму утримання молодняку свиней.

Додатковим джерелом напруження є порушення режиму праці та відпочинку [9, с. 523]. Через кадровий дефіцит, викликаний мобілізацією частини працівників або міграційними процесами, на підприємстві може виникати необхідність збільшення тривалості робочих змін та розширення кола обов'язків окремих працівників. Надмірне фізичне та психологічне навантаження сприяє розвитку втоми, що є однією з основних причин виробничого травматизму. Після тривалої зміни працівник може втратити пильність під час роботи з механізованими системами годівлі або обладнанням для видалення гною, що підвищує ризик нещасного випадку.

Особливу небезпеку становлять перебої у роботі критично важливих інженерних систем підприємства. Внаслідок пошкодження енергетичної інфраструктури можуть виникати аварійні відключення електроенергії, які створюють додаткове навантаження на персонал. Працівники повинні оперативно запускати резервні джерела живлення, контролювати функціонування вентиляційних систем та забезпечувати належні умови утримання тварин. У таких ситуаціях необхідність швидкого реагування в умовах дефіциту часу та інформації значно підвищує рівень стресу [10, с. 131]. У літній період навіть короткочасне припинення роботи вентиляції може призвести до перегрівання молодняку свиней, що потребує негайних дій персоналу.

Важливим фактором є також інформаційне навантаження. Постійний потік новин про воєнні події, повідомлення про загрози та необхідність відстеження сигналів цивільної захисту створюють додатковий психологічний тиск на працівників. Внаслідок цього може знижуватися здатність до тривалої концентрації уваги, що негативно впливає на безпечне виконання виробничих операцій. Під час проведення ремонтних робіт або роботи з електрообладнанням навіть незначне відволікання може стати причиною травмування.

Окремої уваги заслуговує на необхідність евакуації працівників до захисних споруд під час повітряних тривог. У таких умовах виникає складне завдання забезпечення безпеки людей без порушення технологічних процесів, від яких залежить життя та здоров'я тварин [11, с. 68]. Під час проведення годівлі або ветеринарного огляду персонал повинен швидко припинити роботи, виконати вимоги цивільного захисту та після відбою тривоги відновити виробничий процес без втрати контролю за станом поголів'я.

Стресові фактори воєнного стану істотно впливають на рівень безпеки праці у СГПП «Техмет-Юг». Вони виявляються через підвищене психоемоційне навантаження, порушення режимів праці та відпочинку, необхідність роботи в умовах постійної загрози, кадровий дефіцит та додаткову відповідальність за безперервність виробничого процесу. Зменшення негативного впливу цих факторів можливе завдяки удосконаленню системи управління охороною праці, організації психологічної підтримки персоналу, забезпечення чіткого планування дій під час надзвичайних ситуацій та створення безпечних умов праці навіть в умовах воєнного стану.

Список використаних джерел

1. Лотарєва Д. В. Організація системи управління ризиками на агропідприємствах Миколаївської області. OSHAgro – 2024 : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 30 вересня 2024 року). Київ : МОН України, Національний університет біоресурсів і

природокористування України, Науково-виробничий журнал «Охорона праці», Європейське співтовариство з охорони, 2024. С. 7-10. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18904.

2. Іваненко В. С., Курепін В. М. Оцінка ризиків щодо виникнення виробничого травматизму на підприємствах. Проблеми та перспективи розвитку охорони праці: збірник наук. праць V Всеукраїнської науково–практичної конференції викладачів та фахівців–практиків та XV Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів (м. Львів. 15 травня 2025 р.). Львів : ЛДУБЖД, 2025. С. 149-151. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21886.

3. Курепін В. М., Курепін Д. В., Іваненко В. С. Цивільний захист: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2025. 491 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20130.

4. Іваненко В. С. Деякі методи оцінки професійних ризиків. Сучасні підходи до охорони праці в закладах професійної освіти : матеріали Усеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, Біла Церква, 26 жовтня 2022 р. Біла Церква : БІНПО ДЗВО «УМО» НАПН УКРАЇНИ, 2022. С. 55-59. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12472.

5. Дідняк А. В. На шляху до сталого розвитку: амбіції агробізнесу щодо впровадження сільськогосподарських практик. Екологічні та соціальні аспекти розвитку економіки в умовах євроінтеграції : матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 23-25 жовтня 2024 р.). Миколаїв : МНАУ 2024. С 22-25. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18914.

6. Ivanenko V. Technological load on the natural environment of the Mykolaiv region: problems, solution ways. Науково-практична конференція, присвячена Всесвітньому метеорологічному дню «На варті кліматичних дій» та Всесвітньому дню водних ресурсів «Вода для миру» (м. Київ, 22-23 березня 2024 р.). Київ, 2024. С. 146-148. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18868.

7. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

8. Іваненко В.С. Штучний інтелект у системах безпеки. Інформаційні технології в сучасному світі : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених, м. Харків, 29 квітня 2025 р. / Державний біотехнологічний університет. Харків, 2025, С. 200-203. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21614.

9. Лотарєва Д. В. Безпека продуктів харчування в мінливому світі: пріоритет для охорони здоров'я. Актуальні проблеми та перспективи розвитку агропродовольчої сфери, індустрії гостинності та торгівлі : тези доповідей міжнар. наук.-практ. конф., (м. Харків, 5 листопада 2024 р.) / Державний біотехнологічний ун-т. Харків, 2024. С. 522-524. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/19034.

10. Курепін В. М., Іваненко В. С. Взаємодія місцевих органів влади та засобів масової інформації як фактор реалізації інформаційної політики при надзвичайних ситуаціях. Modern Economics. 2025. № 49(2025). С. 124-132. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V49(2025)-17.

11. Курепін В. М., Іваненко В. С. Застосування цифрових технологій у сільському господарстві для досягнення цілей сталого розвитку. Modern Economics. 2024. № 47(2024). С. 62-69. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V47(2024)-09.

УДК 331.45:004.8:637.52

МОДЕЛЮВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЧИХ РИЗИКІВ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ У ВИРОБНИЦТВІ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ

Віктор Голосун

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. М. Курепін,
канд.екон.наук, доцент кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Виробництво ковбасних виробів у ТОВ «Аліманіка» пов'язане з постійним контактом працівників із сировиною тваринного походження, спеціями, допоміжними матеріалами та виробничим обладнанням, що створює умови для поширення різноманітних біологічних агентів. До основних біологічних факторів виробничої середовища належать бактерії, віруси, мікроскопічні гриби, дріжджі, спори мікроорганізмів та продукти їх життєдіяльності. Їх наявність може негативно впливати як на якість готової продукції, так і на здоров'я працівників підприємства.

Особливу небезпеку становлять бактерії, які можуть потрапляти в виробниче середовище разом із м'ясною сировиною. Навіть за умови дотримання ветеринарно-санітарного контролю окремі види мікроорганізмів можуть бути присутніми на поверхні м'яса чи виробничого обладнання [1, с. 250]. Бактерії роду Salmonella можуть спричиняти гострі кишкові інфекції, а Listeria monocytogenes здатна зберігатися в холодильних приміщеннях та на технологічних поверхнях тривалий час. Під час обробки м'яса або миття обладнання можливе утворення аерозолів, які містять мікроорганізми та можуть потрапляти до організму працівників через органи дихання.

У процесі виробництва ковбасних виробів також можуть зустрічатися бактерії групи кишкової палички, стафілококи та стрептококи. Їх джерелом можуть бути сировина, персонал, забруднений інвентар чи недостатньо очищене обладнання [2, с. 66]. При порушенні правил особистої гігієни працівник може стати носієм стафілококової інфекції та сприяти поширенню мікроорганізмів у виробничому середовищі. Такі бактерії не тільки створюють ризик забруднення продукції, але й можуть викликати захворювання шкіри, слизових оболонок та органів дихання.

Значну роль у формуванні біологічних ризиків відіграють плісняві гриби. Вони можуть розвиватися на поверхнях виробничих приміщень, у вентиляційних системах, складських приміщеннях для спецій або допоміжних матеріалів за наявності підвищеної вологості. Гриби роду Aspergillus та Penicillium здатні утворювати велику кількість суперечок, які легко поширюються повітрям. Потрапляючи до організму працівника під час дихання, вони можуть викликати алергічні реакції, хронічні захворювання дихальної системи та підвищену чутливість організму до інших виробничих факторів.

Окрему небезпеку становлять діжкові грибки та інші мікроорганізми, які можуть активно розмножуватися у вологому виробничому середовищі. Під час виготовлення ковбасних виробів працівники часто працюють у приміщеннях із підвищеною вологістю та зниженими температурами, що створює сприятливі умови для збереження життєздатності багатьох біологічних агентів. У холодильних камерах та камерах дозрівання ковбас можуть накопичуватися мікроорганізми [3, с. 150], якщо санітарна обробка проводитись недостатньо ефективно.

Біологічними агентами також можуть виступати кліщі, насекомі та гризуні, які здатні переносити патогенні мікроорганізми. У разі неналежного санітарного стану складських приміщень або порушення герметичності будівель можливе проникнення шкідників на територію підприємства [4, с. 363]. Гризуни можуть бути переносниками лептоспірозу та інших інфекційних захворювань, а насекомі здатні переносити бактерії із забруднених зон до виробничих приміщень.

Негативний вплив біологічних чинників проявляється у вигляді інфекційних захворювань. Тривалий контакт працівників із мікроорганізмами та продуктами їх життєдіяльності може призводити до розвитку професійних алергій, подразнення слизових оболонок, хронічного кашлю,

дерматитів та зниження імунітету. Працівники, які регулярно контактують із м'ясним сировиною, спеціями та мікробними аерозолями, можуть скаржитися на подразнення шкіри рук, закладеність носа або алергічні висипання.

Важливим елементом профілактики впливу біологічних агентів у ТОВ «Аліманіка» є суворе дотримання санітарно-гігієнічного режиму [5, с. 67], регулярна дезінфекція обладнання та приміщень, контроль мікробіологічних показників повітря та поверхонь, а також використання працівниками спеціального одягу та засобів індивідуального захисту. Ефективне функціонування системи виробничого контролю дозволяє мінімізувати ризик поширення небезпечних мікроорганізмів та забезпечити безпечні умови праці під час розробки та впровадження технології виробництва ковбасних виробів.

В умовах м'ясопереробних підприємств, зокрема ТОВ «Аліманіка», працівники постійно контактують із сировиною тваринного походження, спеціями, допоміжними матеріалами та виробничим обладнанням, що створює сприятливі умови для розвитку та поширення різноманітних мікроорганізмів. Тому система контролю біологічного загрязнення повинна бути неперервною та охоплювати всі етапи виробничого процесу.

Важливою складовою контролю є регулярний мікробіологічний моніторинг повітря виробничих приміщень. У процесі обробки м'ясної сировини, подрібнення фаршу, переміщення продукції та санітарної обробки обладнання у повітря можуть потрапляти бактерії, грибкові спори та інші біологічні агенти. Для своєчасного виявлення небезпечних змін проводять лабораторні дослідження проб повітря та визначають загальне мікробне число [6, с. 374].

Особливу увагу приділяють контролю стану технологічного обладнання та виробничих поверхонь. Після завершення робочої зміни всі столи, ножі, кутери, вовчки, фаршмішалки, шприци та інше обладнання повинні проходити ретельне миття та дезінфекцію. Навіть незначні залишки органічних речовин можуть стати живильною середою для розвитку бактерій та грибків. Недостатньо очищені елементи ковбасного шприца можуть накопичувати залишки фаршу, що сприяє розмноженню стафілококів або кишкової палички.

Ефективність санітарної обробки перевіряється шляхом відбору змивів із поверхонь обладнання та виробничого інвентарю. За результатами лабораторного аналізу визначають наявність патогенних чи умовно-патогенних мікроорганізмів [7, с. 299]. Якщо показники перевищують допустимі норми, проводитиметься повторна дезінфекція та додатковий контроль якості санітарної обробки. Виявлення бактерій групи кишкової палички на робочому столі може свідчити про порушення санітарного режиму або недостатню ефективність мийних засобів.

Важливим елементом контролю є перевірка санітарного стану працівників. Персонал, який працює на виробництві ковбасних виробів, проходитиме попередні та періодичні медичні огляди для своєчасного виявлення інфекційних захворювань або бактерионосійства. Працівник із гострим респіраторним захворюванням або гнійничковими ураженнями шкіри не допускається до роботи з харчовою продукцією до повного одужання. Такі заходи дозволяють запобігти попаданню патогенних мікроорганізмів у виробниче середовище [8, с. 148].

Контроль біологічного загрязнення також включає моніторинг стану вентиляційних систем, холодильних камер та складських приміщень. У разі підвищеної вологості або накопичення конденсату можуть створюватися сприятливі умови для розвитку пліснявих грибів. У холодильних камерах при недостатній вентиляції можуть з'являтися колонії грибів роду Aspergillus або Penicillium, суперечки яких поширюються повітрям та можуть викликати алергічні реакції у працівників.

Для запобігання проникненню біологічних агентів із зовнішньої середовища на підприємстві проводять дератизацію та дезінсекцію [9, с. 153]. Наявність гризунів або насекомих створює ризик перенесення збудників інфекційних захворювань та загрязнення виробничих поміщень. Мухи можуть переносити мікроорганізми із забруднених ділянок до виробничих цехів, а гризуні здатні пошкодувати упаковку сировини та бути джерелом небезпечних інфекцій.

Суттєве значення має впровадження системи HACCP, яка дозволяє контролювати критичні точки виробництва [10, с. 312] та своєчасно виявляти джерела біологічного забруднення. Під час приймання м'ясної сировини здійснюється перевірка ветеринарних документів та оцінка її

мікробіологічних показників, що дозволяє запобігти надходженню зараженої продукції на виробничий процес.

Контроль біологічного загрязнення виробничої середовища в умовах ТОВ «Аліманіка» є комплексною системою заходів, спрямованих на захист здоров'я працівників та забезпечення безпеки ковбасних виробів. Регулярний лабораторний контроль, дотримання санітарно-гігієнічних вимог, ефективна дезінфекція обладнання, медичний нагляд за персоналом та впровадження сучасних систем управління безпечністю харчових продуктів [11, с. 551] дозволяють значно знизити ризик впливу біологічних факторів та підтримувати високий рівень виробничої безпеки.

Біологічні фактори виробничої середовища є важливим фактором, що впливає на безпеку праці та якість ковбасних виробів у ТОВ «Аліманіка». Наявність бактерій, пліснявих грибів та інших мікроорганізмів може створювати ризики для здоров'я працівників та сприяти погіршенню санітарного стану виробництва. Ефективний контроль біологічного загрязнення забезпечується шляхом проведення регулярного мікробіологічного моніторингу [12, с. 63], санітарної обробки обладнання та виробничих приміщень. Важливу роль у профілактиці біологічних ризиків відіграють медичні огляди персоналу, дотримання правил особистої гігієни та використання засобів індивідуальної захисту. Систематичне впровадження санітарно-гігієнічних заходів дозволяє знизити ймовірність виникнення професійних захворювань та виробничих ризиків. Комплексний підхід до контролю біологічних факторів сприяє створенню безпечних умов праці та забезпеченню стабільної якості готової продукції.

Список використаних джерел

1. Колесник Д., Курепін В. Безпека експлуатації обладнання та його обслуговування на свинофермі ТОВ «Золотий колос» Миколаївський області. Інновації в агроінженерії : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 7-9 квітня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 248-253. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25483.

2. Іваненко В. О. Моніторинг небезпечних факторів виробничого середовища. Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України : матеріали XI Всеукраїнської заочної наук.-практ. конф., м. Київ, 25 квітня 2025 р. Київ : УДУ імені Михайла Драгоманова, 2025. С. 66-67. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21289.

3. Іваненко В. С., Курепін В. М. Оцінка ризиків щодо виникнення виробничого травматизму на підприємствах. Проблеми та перспективи розвитку охорони праці: збірник наук. праць V Всеукраїнської науково–практичної конференції викладачів та фахівців–практиків та XV Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів (м. Львів. 15 травня 2025 р.). Львів : ЛДУБЖД, 2025. С. 149-151. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21886.

4. Курепін В. М. Інтеграція енергоефективних технологій у систему забезпечення екологічної безпеки. Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку : збірник наукових праць VIII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, Ломжа – Малин, 26.03.2026 / ред. : Анджей Борусєвіч, Пьотр Поніхтера, Ігор Іванюк. Частина 1, 2. Ломж а: Міжнародна Академія Прикладних Наук в Ломжі, Республіка Польща ; Малин : Малинський Фаховий Коледж, Україна : MANS в Ломжі, 2026. С. 357-364. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26094.

5. Іваненко В. С., Курепін В. М. Наближення національного законодавства до міжнародних норм з питань безпеки праці // OSHAgro – 2023: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 3 жовтня 2023 р.). Київ : НУБіП України, 2023. С. 66-69. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15934.

6. Курепін В. М., Курепін Д. В., Іваненко В. С. Цивільний захист: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2025. 491 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20130.

7. Соколюк-Орел Д. Роль обліково-аналітичної інформації для оцінки сталого розвитку підприємства. Актуальні проблеми та перспективи розвитку обліку, аналізу та контролю в соціально-орієнтованій системі управління підприємством : матеріали VIII всеукраїнської науково-практичної

конференції (м. Полтава, 25 березня 2025 р.). Полтава : Полтавський державний аграрний університет, 2025. Ч. 2. С. 298-300. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21110.

8. Ivanenko V. Technological load on the natural environment of the Mykolaiv region: problems, solution ways. Науково-практична конференція, присвячена Всесвітньому метеорологічному дню «На варті кліматичних дій» та Всесвітньому дню водних ресурсів «Вода для миру» (м. Київ, 22-23 березня 2024 р.). Київ, 2024. С. 146-148. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18868.

9. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

10. Орешко К. Ф. Концепції та передові методи моделювання управлінських рішень якості продукції на підприємствах харчових продуктів. Екологічні та соціальні аспекти розвитку економіки в умовах євроінтеграції : матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 23-25 жовтня 2024 р.). Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 311-314. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18927.

11. Іваненко В. С. Роль емоційно-вольових якостей та комунікативних навичок підприємця в забезпеченні безпеки об’єктів господарювання під час воєнного стану. Інноваційне підприємництво: стан та перспективи розвитку : збірник матеріалів XI міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 27 березня 2026 р.). Київ : КНЕУ, 2026. С. 549-553.https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26637.

12. Курепін В. М., Іваненко В. С. Застосування цифрових технологій у сільському господарстві для досягнення цілей сталого розвитку. Modern Economics. 2024. № 47(2024). С. 62-69. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V47(2024)-09.

УДК 331.45:004.8:637.52

ЦИФПРОВІ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА В МЯСОПЕРЕРОБНІЙ ГАЛУЗІ

Сергій Горевий

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. М. Курепін,
канд.екон.наук, доцент кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Під час виробництва варених ковбас у ТОВ «Алиманика» працівники зазнають впливу різноманітних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що формуються на окремих етапах технологічного процесу та можуть негативно впливати на їхнє здоров'я, працездатність та рівень виробничої безпеки. Особливості м'ясопереробного виробництва пов'язані з використанням механізованого обладнання, роботою в приміщеннях із підвищеною вологістю, впливом високих та низьких температур, а також значними фізичними навантаженнями. У зв'язку з цим забезпечення безпечних умов праці є важливою складовою організації виробничого процесу на підприємстві.

Одним із найбільш небезпечних факторів є використання ріжучого та подрібнювального обладнання. Під час обробки м'ясної сировини працівники працюють із ножами, м'ясорубками, кутерами, волчками та іншими механізмами, що мають рухомі та ріжучі елементи. Порушення правил експлуатації м'ясоподрібнювального обладнання або відсутність захисних пристроїв може призвести до травмування рук, порізів чи затягування одягу в механізми. Особливу небезпеку становить очищення чи технічне обслуговування обладнання без його повного відключення від електромережі [1, с. 429].

Суттєвий вплив на умови праці мають несприятливі параметри мікроклімату виробничих приміщень [2, с. 67]. У цехах виробництва варених ковбас одночасно можуть використовуватися холодильні камери, термічні установки та варильні котли, що створює різкі перепади температури та підвищену вологість повітря. Працівники, які переміщуються між холодильними приміщеннями та гарячими цехами, піддаються значним температурним навантаженням, що може спричиняти переохолодження організму, перегрівання або захворювання дихальної системи. Підвищена вологість створює небезпеку ковзання на мокрих підлогах і підвищує ризик падінь та травмування.

Шкідливими факторами виробництва є шум і вібрація, що виникають під час роботи технологічного обладнання. М'ясорубки, фаршмішалки, компресорні установки та пакувальні машини створюють підвищений рівень шуму у виробничих приміщеннях. Тривала робота поблизу компресорного обладнання без використання засобів індивідуального захисту органів слуху може призводити до погіршення слуху, підвищеної втоми та зниження концентрації уваги працівників [3, с. 149].

У процесі виробництва варених ковбас працівники контактують із м'ясною сировиною, спеціями, мийними та дезінфекційними засобами, що створює ризик біологічного та хімічного впливу. Тривалий контакт шкіри з мийними розчинами або харчовими добавками може спричиняти подразнення, алергічні реакції та професійні дерматити. Крім того, недотримання санітарно-гігієнічних вимог під час роботи з сировиною може створювати небезпеку бактеріального забруднення та розвитку інфекційних захворювань [4, с. 249].

Суттєве вплив на працівників мають фізичні навантаження та монотонність праці. Виконання операцій із переміщення м'ясної сировини, контейнерів, ящиків із готовою продукцією або спецій супроводжується значними навантаженнями на опорно-руховий апарат. Ручне транспортування важких ємностей із фаршем або готовою продукцією може призводити до перевтоми, болю у спині та розвитку професійних захворювань хребта. Одночасно монотонне виконання однотипних операцій на конвеєрних лініях негативно впливає на психоемоційний стан працівників [5, с. 67] та сприяє швидкій втомлюваності.

Небезпеку становлять чинники електробезпеки та пожежної безпеки. У виробничих приміщеннях використовується значна кількість електрообладнання, яке функціонує в умовах підвищеної вологості. Пошкодження ізоляції електропроводки або несправність термічних установок можуть стати причиною короткого замикання, пожежі чи ураження електричним струмом. Для запобігання таким ризикам необхідно здійснювати систематичний контроль технічного стану обладнання [6, с. 315] та дотримуватися правил безпечної експлуатації електроустановок.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час виробництва варених ковбас мають комплексний характер і потребують впровадження ефективної системи охорони праці. Забезпечення безпечної експлуатації обладнання, дотримання санітарно-гігієнічних норм, використання засобів індивідуального захисту та проведення систематичного навчання працівників будуть сприяти зниженню рівня виробничого травматизму та професійних захворювань на підприємстві. Важливим напрямом забезпечення виробничої безпеки є технічне вдосконалення обладнання та впровадження сучасних систем захисту працівників [7, с. 68].

Особливу увагу на підприємстві приділяють безпечній експлуатації технологічного обладнання [8, с. 69]. М'ясорубки, кутери, фаршмішалки, шприци для наповнення оболонок та термічні камери мають оснащені захисні кожухи, блокувальні пристрої та системи аварійного вимкнення. Встановлення автоматичних блокувань на м'ясодрібнювальному обладнанні унеможливлює запуск механізму під час відкриття захисних кришок, що суттєво знижує ризик травмування працівників. Важливим є також проведення регулярного технічного обслуговування обладнання та своєчасне усунення несправностей [9, с. 312].

Суттєве значення для безпечних умов праці має дотримання санітарно-гігієнічних вимог у виробничих приміщеннях. У цехах виробництва варених ковбас забезпечується належний температурний режим, ефективна вентиляція та систематичне очищення виробничих поверхонь [10, с. 300]. Регулярна санітарна обробка столів, контейнерів та обладнання дозволяє запобігати накопиченню залишків сировини та розвитку патогенних мікроорганізмів. Для зниження ризику

падінь у приміщеннях із підвищеною вологістю доцільно використовувати протиковзкі покриття підлоги та організовувати своєчасне прибирання води та виробничих відходів.

Важливим заходом є забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Працівники повинні використовувати спеціальний одяг, водонепроникне взуття, захисні рукавички, фартухи та головні убори відповідно до характеру виконуваних робіт. Під час роботи з різальними інструментами доцільним є використання металевих або спеціальних захисних рукавичок, які знижують ризик порізів рук [11, с. 344]. У гарячих цехах працівники повинні бути забезпечені термостійкими засобами захисту для запобігання опіками під час роботи з варильними камерами та паровими установками.

Особливу роль у системі охорони праці відіграють заходи з електробезпеки та пожежної безпеки. Виробничі приміщення повинні бути обладнані справними системами заземлення, автоматичними вимикачами та засобами пожежогасіння. Регулярна перевірка стану електропроводки та ізоляції обладнання дозволяє своєчасно виявляти несправності та попереджати виникнення коротких замикань чи пожеж [12, с. 363]. На підприємстві також необхідно проводити протипожежні інструктажі та навчання працівників правилам евакуації у разі надзвичайних ситуацій.

Для підвищення рівня безпеки праці важливим є проведення систематичного навчання та інструктажів працівників з питань охорони праці. Працівники повинні володіти навичками безпечної експлуатації обладнання, знати правила поводження з мийними та дезінфекційними засобами, а також порядок надання домедичної допомоги у разі травмування. Практичні тренування щодо дій у разі опіків, порізів або ураження електричним струмом сприяють підвищенню готовності персоналу до оперативного реагування на небезпечні ситуації.

Важливим напрямком є механізація та автоматизація окремих виробничих процесів, що дозволяє зменшити фізичні навантаження на працівників [13, с. 148]. Використання транспортних візків, автоматичних ліній подачі сировини та механізованих систем пакування продукції сприяє скороченню обсягів важкої ручної праці. Застосування автоматичних підйомників для переміщення контейнерів із сировиною дозволяє зменшити навантаження на опорно-руховий апарат працівників та зменшити ризик професійних захворювань.

Дослідженням встановлено, що організація безпечних умов праці є ключовим елементом ефективного функціонування виробничих процесів. Аналіз показав, що на підприємствах існує комплекс шкідливих та небезпечних факторів, які потребують системного контролю та управління. Визначено, що впровадження сучасних засобів колективного та індивідуального захисту суттєво знижує рівень професійних ризиків. Обґрунтовано важливість дотримання нормативно-правових вимог та регулярного моніторингу стану охорони праці. Узагальнено, що комплексний підхід до безпеки праці підвищує ефективність виробництва та зменшує виробничий травматизм.

Список використаних джерел

1. Піндера М. В. Контроль та управління безпечністю харчових продуктів. Актуальні проблеми та перспективи розвитку агропродовольчої сфери, індустрії гостинності та торгівлі : тези доповідей IV міжнар. наук. практ. конф., 4 листопада 2025 р. / Державний біотехнологічний ун-т. Харків, 2025. С. 428-430. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22771.

2. Іваненко В. О. Моніторинг небезпечних факторів виробничого середовища. Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України : матеріали XI Всеукраїнської заочної наук.-практ. конф., м. Київ, 25 квітня 2025 р. Київ : УДУ імені Михайла Драгоманова, 2025. С. 66-67. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21289.

3. Іваненко В. С., Курепін В. М. Оцінка ризиків щодо виникнення виробничого травматизму на підприємствах. Проблеми та перспективи розвитку охорони праці: збірник наук. праць V Всеукраїнської науково–практичної конференції викладачів та фахівців–практиків та XV Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів (м. Львів. 15 травня 2025 р.). Львів : ЛДУБЖД, 2025. С. 149-151. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21886.

4. Колесник Д., Курепін В. Безпека експлуатації обладнання та його обслуговування на свинофермі ТОВ «Золотий колос» Миколаївський області. Інновації в агроінженерії : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 7-9 квітня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 248-253. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25483.

5. Іваненко В. С. Роль емоційно-вольових якостей та комунікативних навичок підприємця в забезпеченні безпеки об'єктів господарювання під час воєнного стану. Інноваційне підприємництво: стан та перспективи розвитку : збірник матеріалів XI міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 27 березня 2026 р.). Київ : КНЕУ, 2026. С. 549-553.https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26637.

6. Курепін В. М., Курепін Д. В., Іваненко В. С. Цивільний захист: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2025. 491 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20130.

7. Курепін В. М., Іваненко В. С. Застосування цифрових технологій у сільському господарстві для досягнення цілей сталого розвитку. Modern Economics. 2024. № 47(2024). С. 62-69. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V47(2024)-09.

8. Іваненко В. С., Курепін В. М. Наближення національного законодавства до міжнародних норм з питань безпеки праці // OSHAgro – 2023: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 3 жовтня 2023 р.). Київ : НУБіП України, 2023. С. 66-69. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15934.

9. Орешко К. Ф. Концепції та передові методи моделювання управлінських рішень якості продукції на підприємствах харчових продуктів. Екологічні та соціальні аспекти розвитку економіки в умовах євроінтеграції : матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 23-25 жовтня 2024 р.). Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 311-314. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18927.

10. Соколюк-Орел Д. Роль обліково-аналітичної інформації для оцінки сталого розвитку підприємства. Актуальні проблеми та перспективи розвитку обліку, аналізу та контролю в соціально-орієнтованій системі управління підприємством : матеріали VIII всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Полтава, 25 березня 2025 р.). Полтава : Полтавський державний аграрний університет, 2025. Ч. 2. С. 298-300. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21110.

11. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

12. Курепін В. М. Інтеграція енергоефективних технологій у систему забезпечення екологічної безпеки. Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку : збірник наукових праць VIII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, Ломжа – Малин, 26.03.2026 / ред. : Анджей Борусєвіч, Пьотр Поніхтера, Ігор Іванюк. Частина 1, 2. Ломж а: Міжнародна Академія Прикладних Наук в Ломжі, Республіка Польща ; Малин : Малинський Фаховий Коледж, Україна : MANS в Ломжі, 2026. С. 357-364. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26094.

13. Ivanenko V. Technological load on the natural environment of the Mykolaiv region: problems, solution ways. Науково-практична конференція, присвячена Всесвітньому метеорологічному дню «На варті кліматичних дій» та Всесвітньому дню водних ресурсів «Вода для миру» (м. Київ, 22-23 березня 2024 р.). Київ, 2024. С. 146-148. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18868.

УДК 331.45:004.8:639.3

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОФЕСІЙНИМИ РИЗИКАМИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ РИБОГОСПОДАРСЬКИХ СТАВКІВ

Олександр Дацюк

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. М. Курепін,
канд.екон.наук, доцент кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Під час експлуатації рибогосподарських ставків у ФМ «Союз-Агро-Юг» працівники зазнають впливу комплексу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на стан здоров'я, працездатність та рівні виробничої безпеки. Специфіка рибницького господарства пов'язана з виконанням робіт у відкритому середовищі, експлуатацією гідротехнічних споруд, використанням електрообладнання, механізмів та транспортних засобів, присутній постійний контакт із водним середовищем. Все це формує підвищений рівень виробничого ризику та потребує належної організації системи охорони праці.

Одним із найбільш небезпечних факторів є підвищений ризик травмування працівників під час виконання робіт поблизу водойм та на гідротехнічних спорудах [1, с. 308]. Очищення шлюзів, ремонт дамб, контроль рівня води або вилов риби часто здійснюються на слизових та вологих поверхнях, що створює небезпеку падіння працівників у воду.

Особливо небезпечними є роботи в період несприятливих погодних умов, коли сильний вітер, дощ чи ожеледиця значно ускладнюють пересування територією ставків. Під час сезонного вилову риби працівники використовують човни, сітки та насосне обладнання, що потребує постійної координації дій та дотримання правил безпеки для запобігання нещасним випадкам.

По-перше, шкідливим фактором є вплив несприятливих метеорологічних умов [2, с. 33]. Працівники рибогосподарського підприємства значну частину робочого часу перебувають на відкритому повітрі, зазнаючи дії високих температур у літній період та переохолодження в осінньо-зимовий сезон. Тривале перебування під прямим сонячним випромінюванням може призводити до теплового перевантаження організму, зневоднення та погіршення самопочуття. У холодний період року виникає ризик переохолодження та розвитку професійно зумовлених захворювань. Працівники, які здійснюють вилов риби ранньою весною чи осінню, часто працюють у вологому одязі при низьких температурах, що негативно впливає на їхній фізичний стан.

По-друге, під час експлуатації ставків значну небезпеку становить використання електрообладнання та механізованих засобів. Насоси для перекачування води, системи аерації, електродвигуни та освітлювальне обладнання працюють в умовах підвищеної вологості, що підвищує ризик ураження електричним струмом [3, с. 304].

Недостатній технічний стан електромережі, пошкодження ізоляції кабелів або відсутність заземлення можуть стати причиною аварійних ситуацій. Під час експлуатації переносних електронасосів у прибережній зоні можливе попадання води на електричні елементи обладнання, що створює реальну загрозу для працівників.

По-третє, серед шкідливих факторів суттєве значення мають біологічні ризики. Працівники рибного господарства контактують із водою, водоростями, мікроорганізмами та рибною продукцією, що може спричиняти алергічні реакції, шкірні захворювання або інфекційні ураження. У літній період додатковою проблемою є велика кількість насекомих, зокрема комарів та кліщів, які можуть бути переносниками небезпечних захворювань. Небезпеку становить контакт із хімічними речовинами, що використовують для очищення водойм, дезінфекції обладнання або обробки риби [4, с. 43].

По-четверте, окрема увага - психофізіологічним факторам [5, с. 77]. Робота в рибогосподарському виробництві характеризується значними фізичними навантаженнями, нерівномірним режимом праці та підвищеним емоційним напруженням. Під час сезонних робіт

працівники можуть виконувати завдання у наднормовий час, що сприяє розвитку втоми, зниження концентрації уваги та підвищення ризику виробничого травматизму. Тривале виконання робіт із ручного вилову риби або переміщення важких сіток і контейнерів спричиняє значне навантаження на опорно-руховий апарат працівників.

Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів у ФМ «Союз-Агро-Юг» свідчить про необхідність комплексного підходу до забезпечення безпечних умов праці, що передбачає удосконалення технічного стану обладнання, дотримання вимог виробничої санітарії [6, с. 327], використання засобів індивідуального захисту, проведення систематичних інструктажів та підвищення рівня професійної підготовки працівників.

Забезпечення безпечних умов праці під час виконання рибогосподарських робіт у ФМ «Союз-Агро-Південь» є важливою складовою ефективного функціонування підприємства та збереження здоров'я працівників. Особливу увагу в господарстві необхідно приділяти безпеці працівників під час виконання робіт поблизу водойм та на гідротехнічних спорудах. Працівники, які здійснюють контроль рівня води, очищення шлюзів, ремонт дамб чи вилов риби [7, с. 198], повинні бути забезпечені спеціальним водонепроникним одягом, рятувальними жилетами та взуттям із неслизькою підошвою. Під час сезонного вилову риби використання захисних жилетів є обов'язковим для працівників, які працюють із човнів або перебувають безпосередньо у воді. Для зниження ризику падіння на слизьких поверхнях доцільно обладнувати дерев'яні настили, поручні та безпечні переходи через канали та греблі.

Важливим напрямом забезпечення безпеки є належний технічний стан обладнання та механізмів [8, с. 94]. Насосні станції, системи аерації, електродвигуни та інше обладнання повинні проходити регулярний технічний огляд та профілактичне обслуговування. У виробничих умовах рибного господарства підвищена вологість створює значний ризик ураження електричним струмом, тому всі електроустановки мають бути обладнані заземленням та захисними автоматичними пристроями. Під час експлуатації переносних насосів у прибережній зоні необхідно використовувати кабелі з посиленою ізоляцією та захищати електричні з'єднання від потрапляння води.

Для забезпечення безпечних умов праці важливе значення має дотримання санітарно-гігієнічних вимог. Працівники повинні бути забезпечені чистою водою, місцями для відпочинку та приміщеннями для сушіння спецодягу. У літній період необхідно організовувати режим праці з урахуванням високих температур повітря та обмежувати тривалість робіт під прямими сонячними променями. В періоди підвищеної температури найбільш фізично важкі роботи доцільно виконувати у ранкові або вечірні часи, що дозволяє знизити ризик перегрівання організму працівників.

Під час виконання рибогосподарських робіт важливу роль відіграє навчання персоналу та проведення систематичних інструктажів з охорони праці. Працівники повинні знати правила безпечної експлуатації обладнання [9, с. 112], порядок дій у разі аварійної ситуації та способи надання домедичної допомоги. У разі падіння працівника у воду персонал повинен володіти навичками швидкого реагування, використання рятувальних засобів та проведення первинних реанімаційних заходів до прибуття медичної допомоги.

Не менш важливим є впровадження заходів щодо зменшення фізичного навантаження на працівників. Для цього необхідно використовувати механізовані пристрої для переміщення контейнерів із рибою, автоматизовані системи подачі кормів та сучасне обладнання для очищення водойм. Застосування механічних лебідок під час витягування риболовецьких сіток дозволяє значно знизити навантаження на працівників та зменшити ризик травмування опорно-рухового апарату [10, с. 35].

Розроблення рекомендацій щодо підвищення рівня охорони праці у ФМ «Союз-Агро-Юг» спрямоване на створення безпечних та комфортних умов праці для працівників рибогосподарського підприємства. Важливим напрямком є модернізація технічного обладнання та забезпечення його своєчасного технічного обслуговування з метою зниження ризику виробничого травматизму. Значну увагу необхідно приділяти систематичному проведенню інструктажів, професійного навчання та перевірки знань працівників з питань охорони праці. Доцільним є впровадження сучасних засобів індивідуальної захисту та удосконалення санітарно-гігієнічних умов праці на виробничих об'єктах

господарства. Важливе значення має посилення контролю за дотриманням вимог електричної та екологічної безпеки під час виконання рибогосподарських робіт. Реалізація запропонованих рекомендацій сприятиме підвищенню рівня виробничої безпеки, зниженню професійних ризиків та покращенню ефективності діяльності підприємства.

Список використаних джерел

1. Мулява М. Оптимізація умов праці у рибопереробній галузі на основі європейських практик. Інновації в агроінженерії : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 7-9 квітня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 304-310. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25494.

2.. Петровських А. Д. Відновлення водних шляхів в Україні // Захист водних ресурсів - Глобальні виклики, загрози опустелювання територій, міжнародні зобов‘язання держав світу : тези доповідей здобувачів вищої освіти та інших учасників освітнього процесу за результатами проведеного тематичного «круглого столу» на обліково-фінансовому факультеті, м. Миколаїв, 22 березня 2023 року. Миколаїв : МНАУ, 2023. С. 31-33. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12984.

3. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

4. Курепін В. М., Іваненко В.С. Використання озоноруйнивних речовин та їх вплив на довкілля // Обліково-аналітичне і фінансове забезпечення діяльності суб’єктів господарювання: національні, глобалізаційні, євроінтеграційні аспекти : матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 16-17 листопада 2022 р., Миколаїв. Миколаїв : МНАУ, 2022. – С. 42 – 45. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11954.

5. Лотарєва Д. Використання інноваційних технологій та методів управління виробничими процесами за допомогою штучного інтелекту // Молодь, наука, бізнес : матеріали Всеукр. інтер.-конф. здоб.вищ.освіти і мол.учених, 5-6 жовтня 2022 р., м. Миколаїв. Миколаїв : МНАУ, 2022. С. 77-80. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11860.

6. Іваненко В. С., Курепін В. М. Вплив активних бойових дій на стан довкілля // Green Construction Зелене будівництво : міжнар. наук.-практ. конф.. 13-14 квітня 2023, м. Київ, Київський національний університет будівництва і архітектури. 2023. С. 325-329. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13210.

7. Загляда А. Агроінженерне забезпечення зимівлі риби та безпека праці на рибогосподарських підприємствах. Інновації в агроінженерії : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 7-9 квітня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 197-201. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25440.

8. Іваненко В.С. Екологічні проблеми використання та охорона річок басейну Прип'яті // Transboundary Dniester River Basin Management and EU Integration – Step by Step : Proceedings of the International Conference Chisinau, October 27-28 2022 / editor: Ilya Trombitsky; editorial and scientific conference committee: Gheorghe Duca [et al.]. Chişinău: Eco-TIRAS, 2022 (Arconteh). С. 92-96. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11848.

9. Пряслова Н. М. Ефективності використання земельно-ресурсного потенціалу сільськогосподарського призначення в Україні // Проблеми використання, збереження та відтворення ґрунтів в умовах сталого розвитку агросфери : збірник тез міжнародної наукової конференції “Soils, where food begins”, присвяченої всесвітньому дню ґрунтів (5 грудня 2022 року, м. Кам’янець-Подільський). Кам’янець-Подільський : Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», 2023. С. 111 – 114. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12881.

10. Дідняк А. Стратегії оптимального використання природних ресурсів на підприємствах Миколаївської області // Збереження планети - глобальні виклики, загрози, можливості на засадах

результативного партнерства : тези доповідей тематичного круглого столу з питань екологічної безпеки до Всесвітнього Дня Землі - Earth Day, м. Миколаїв, 20 квітня 2023 року / Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв : МНАУ, 2023. С. 33-36. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13244.

УДК 636.4:331.45

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДОРОЩУВАННЯ ТА ВІДГОДІВЛІ СВИНЕЙ В УМОВАХ СГПП «ТЕХМЕТ-ЮГ» З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ВИРОБНИЧОЇ БЕЗПЕКИ

Іван Дітковський

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. М. Курепін,
канд.екон.наук, доцент кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Охорона праці на сучасних підприємствах аграрного сектору є важливою складовою виробничої діяльності, оскільки безпечні та здорові умови праці безпосередньо впливають на продуктивність працівників, якість продукції та ефективність функціонування господарства. У СГПП «Техмет-Юг», яке спеціалізується на дорощуванні та відгодівлі свиней, питанням охорони праці приділяється значна увага, оскільки виробничий процес пов'язаний із впливом різноманітних небезпечних та шкідливих факторів.

Система управління охороною праці на підприємстві організована відповідно до вимог чинного законодавства України [1, с. 66]. Основними напрямками діяльності є створення безпечних умов праці, профілактика виробничого травматизму, попередження професійних захворювань та забезпечення належного санітарно-гігієнічного стану виробничих поміщень. На підприємстві проводяться інструктажі з питань охорони праці, а працівники які виконують роботи підвищеної небезпеки проходять спеціальне навчання та перевірку знань з питань безпеки праці.

Особливістю виробництва є постійний контакт працівників із тваринами, кормами, технологічним обладнанням та продуктами життєдіяльності свиней. У процесі виконання виробничих операцій працівники можуть зазнавати впливу біологічних факторів [2, с. 142], зокрема патогенних мікроорганізмів, алергенів та збудників інфекційних захворювань. Під час прибирання приміщень або контакту з хворими тваринами існує ризик зараження зоонозними інфекціями, що вимагає суворого дотримання ветеринарно-санітарних правил та використання засобів особистого захисту.

У свинарських приміщеннях значну небезпеку можуть становити шкідливі гази, які утворюються внаслідок розкладання органічних відходів. До них належать аміак, сірководень, вуглекислий газ та метан. При недостатній роботі вентиляційної системи концентрація аміаку може перевищувати допустимі норми, що негативно впливає на органи дихання працівників та спричиняє подразнення слизових оболонок [3, с. 59]. З метою попередження таких випадків на підприємстві здійснюється контроль мікроклімату та забезпечується належне функціонування вентиляційного обладнання.

Під час експлуатації технологічного обладнання існує небезпека отримання механічних травм. До таких механізмів належать кормороздавачі, транспортери, системи видалення гною, насосне обладнання та інші установки. Порушення правил безпечної експлуатації транспортера може призвести до затягування одягу працівника рухомими частинами механізму. Для запобігання таким випадках обладнання оснащується захисними кожухами, а працівники проходять спеціальне навчання щодо правил його використання [4, с. 364].

Важливим питанням на підприємстві є забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Працівникам надаються спеціальний одяг, гумові сапоги, рукавички, захисні окуляри та респіратори [5, с. 201]. Під час проведення дезінфекції свинарських поміщень працівники

використовують захисні костюми та фільтрувальні респіратори для запобігання впливу хімічних речовин на організм.

Особлива увага приділяється питанням пожежної безпеки. На території підприємства встановлено первинні засоби пожежогасіння, розроблено плани евакуації та порядок дій персоналу у разі виникнення пожежі. Потенційними джерелами займання можуть бути електрообладнання, нагрівальні прилади, а також легкозаймисті матеріали, що використовуються у виробничому процесі. З метою мінімізації ризиків проводяться регулярні перевірки технічного стану електромереж та обладнання.

Пожежна безпека в умовах СГПП «Техмет-Юг» є одним із напрямів охорони праці, оскільки виникнення пожежі може призвести до значних матеріальних втрат, загибелі тварин, пошкодження обладнання та створення загрози життю та здоров'ю працівників. Питання пожежної безпеки мають особливе значення через наявність виробничих приміщень [6, с. 162], складів кормів, електротехнічного обладнання та інших об'єктів підвищеної пожежної небезпеки. На підприємстві впроваджено комплекс організаційних, технічних та превентивних заходів, спрямованих на попередження виникнення пожеж та забезпечення готовності персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях.

Основними причинами виникнення пожеж у тваринницькому господарстві можуть бути несправність електромереж та електрообладнання, порушення правил експлуатації електроприладів, короткі замикання, самозаймання кормів та підстилки, необережне поводження з відкритим вогнем, порушення технологічної дисципліни. У разі пошкодження ізоляції електропроводки у свинарнику може виникнути коротке замикання, яке стане джерелом займання пилки, підстилки або інших горючих матеріалів. Іншим прикладом може бути перегрів електродвигуна вентиляційної системи через несвоєчасне технічне обслуговування, що також може спричинити пожежу.

Для запобігання таким випадкам на підприємстві здійснюється постійний контроль за технічним станом електромереж [7, с. 147], розподільчих щитів, освітлювальних приладів та електрообладнання. Регулярно проводяться профілактичні огляди та випробування електроустановок, а виявлені несправності усуваються у найкоротші терміни. У виробничих приміщеннях забороняється використання несправного обладнання, саморобних електронагрівальних пристроїв та відкритого вогню.

Важливою складовою пожежної безпеки є забезпечення підприємства первинними засобами пожежогасіння [8, с. 106]. У свинарських приміщеннях, адміністративних будівлях, кормоцехах та складських приміщеннях встановлюються вогнегасники відповідного типу, пожежні щити, ящики з піском, лопати та інший необхідний інвентар. При загорянні електрощита працівники можуть використати вуглекислотний або порошковий вогнегасник, що дозволяє швидко локалізувати осередок займання без пошкодження електрообладнання.

Особлива увага приділяється навчанню персоналу [9, с. 8]. Кожен працівник повинен знати порядок дій у разі виникнення пожежі, місця розташування засобів пожежогасіння, евакуаційні виходи та способи виклику аварійно-рятувальних служб. Для цього на підприємстві проводяться протипожежні вступні та повторні інструктажі, практичні тренування та навчальні евакуації. Під час тренувань працівники відпрацьовують дії щодо швидкого повідомлення керівництва, евакуації людей та тварин, а також використання вогнегасників для ліквідації умовного осередку займання. У разі виявлення пожежі або ознак горіння працівник повинен негайно повідомити про подію керівника робіт та викликати пожежно-рятувальну службу за номером 101.

Крім пожеж, на підприємстві можуть виникати й інші аварійні ситуації, пов'язані з аварійними відключеннями електроенергії, виходом з ладу вентиляційного обладнання, витоком газу, руйнуванням технологічних конструкцій або виникненням небезпечних інфекційних захворювань серед тварин. У таких випадках персонал повинен діяти відповідно до затверджених інструкцій та планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій. При раптовому припиненні роботи вентиляції у свинарнику необхідно терміново вжити заходів для забезпечення природного провітрювання приміщення, оскільки накопичення аміаку та інших газів може становити небезпеку як для працівників, так і для тварин.

Ефективна система пожежної безпеки та чітко відпрацьовані дії персоналу в аварійних ситуаціях [10, с. 64] є необхідною умовою безпечного функціонування СГПП «Техмет-Юг». Виконання вимог пожежної безпеки, регулярне навчання працівників, належне технічне обслуговування обладнання та постійний контроль за виробничими процесами дозволяють значно знизити ризик виникнення надзвичайних ситуацій та мінімізувати їх можливі наслідки.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що забезпечення належного рівня охорони праці є важливою умовою ефективного функціонування свинарського господарства та збереження здоров'я працівників. Виробничі процеси, пов'язані з дорощуванням та відгодівлею свиней, супроводжуються впливом біологічних, хімічних, фізичних та психофізіологічних факторів, які можуть негативно впливати на безпеку праці. Дослідження показало, що дотримання вимог виробничої санітарії, підтримання оптимального мікроклімату та належного технічного стану обладнання сприяють зниженню рівня професійних ризиків.

Важливе значення для попередження виробничого травматизму має своєчасне проведення інструктажів, навчання працівників [11, с. 21] та контроль за виконанням правил охорони праці та пожежної безпеки. Значну роль в забезпеченні безпеки виробництва відіграє використання засобів індивідуального захисту, які дозволяють мінімізувати вплив небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Проведений аналіз пожежної безпеки засвідчив необхідність постійного контролю за станом електрообладнання, наявністю засобів пожежогасіння та готовністю персоналу до дій в аварійних ситуаціях. Запропоновані заходи щодо удосконалення умов праці, автоматизації окремих виробничих процесів та підвищення рівня безпеки будуть сприяти зниженню виробничих ризиків та підвищенню ефективності діяльності СГПП «Техмет-Юг».

Список використаних джерел

1. Іваненко В. С., Курепін В. М. Наближення національного законодавства до міжнародних норм з питань безпеки праці // OSHAgro – 2023: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 3 жовтня 2023 р.). Київ : НУБіП України, 2023. С. 66-69. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15934.

2. Іваненко В. С. Інновації у сфері безпеки: захист різних сфер діяльності місцевих громад. Розвиток територіальних громад: правові, економічні та соціальні аспекти : матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф., (м. Миколаїв, 9 грудня 2024 р. Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 141-144. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20102.

3. Pospelov, B., Bezuhla, Y., Kozar, Y., Krainiukov, O., Chubko, L., Yashchenko, O., ... Kurepin, V. (2023). Features of the coefficient of variation of parameters of the gas environment in fire in the premises. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (10 (126)), 58–64. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.293279. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/16393.

4. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

5. Лотарєва Д. В. Культура праці: спосіб життя та досягнення успіху на роботі. Проблеми та перспективи розвитку охорони праці : збірник наукових праць XIV всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів. Львів : Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2024. С. 200-202. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18275.

6. Skorodumova, O., Sharshanov, A., Chebotaryova, O., Kurepin, V., & Sotiriadis, K. (2023). Fire-Resistant Coatings, Obtained by Layer-by-Layer Assembly, in the System of Silicic Acid Gel –

Diammonium Hydrogen Phosphate – Urea. Key Engineering Materials, 954, 157–165. https://doi.org/10.4028/p-s5rvla.

URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15144.

7. Ivanenko V. Technological load on the natural environment of the Mykolaiv region: problems, solution ways. Науково-практична конференція, присвячена Всесвітньому метеорологічному дню «На варті кліматичних дій» та Всесвітньому дню водних ресурсів «Вода для миру» (м. Київ, 22-23 березня 2024 р.). Київ, 2024. С. 146-148. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18868.

8. Lysak, N., Skorodumova, O., Chernukha, A., & Kurepin, V. (2024). Effect of h3po4 and phenol additives on gel formation in silica fire retardant coatings for building materials. Defect and Diffusion Forum, 437, 103-113. https://doi.org/10.4028/p-uvjat0. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18864.

9. Batsurovska, I. V., Dotsenko, N. A., Gorbenko, O. A., Haleeva, A. P., & Kurepin, V. M. (2024). Online control of educational results of the unit “Electricity” in the conditions of blended learning. Journal of Physics: Conference Series, 2871(1), 012013. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2871/1/012013. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/19001.

10. Курепін В. М., Іваненко В. С. Застосування цифрових технологій у сільському господарстві для досягнення цілей сталого розвитку. Modern Economics. 2024. № 47(2024). С. 62-69. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V47(2024)-09.

11. Іваненко В. С., Бризгалов М. В. Розробка та впровадження інструкцій з охорони праці на підприємствах аграрного профілю // Інформаційно-психологічна та техногенна безпека: історичні аспекти, особливості захисту суспільства та особистості : тези доповідей за результатами тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 9 грудня 2022 р. Миколаїв : МНАУ, 2022. С. 20-23. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12067.

УДК 331.45:004.8:637.3

ТЕХНІЧНИЙ ПРОЦЕС – ВИРОБНИЧИЙ РИЗИК – БЕЗПЕКА: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ВИРОБНИЦТВА ПЛАВЛЕНИХ СИРІВ

Марина Дробуш

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. М. Курепін,
канд.екон.наук, доцент кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Виробництво плавлених сирів на підприємствах молочної промисловості характеризується наявністю комплексу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на здоров'я працівників, їх працездатність та безпеку праці. Особливості технологічного процесу виготовлення плавлених сирів пов'язані з використанням теплового обладнання, механізованих ліній, мийних та дезінфекційних засобів, а також роботою у приміщеннях із підвищеною вологістю. На ПрАТ «Лакталіс-Миколаїв» основними небезпечними факторами є фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні фактори.

Під час виробництва плавлених сирів значне вплив на працівників мають фізичні фактори. Одним із найпоширеніших є підвищена температура повітря та нагрітих поверхонь обладнання [1, с. 268]. У процесі плавлення сирної маси використовують плавильні котли, теплообмінники та парові системи, температура яких може перевищувати 70-90 ^{0}С. Працівники, які обслуговують це обладнання, перебувають у зоні дії теплового випромінювання, що може призводити до перегрівання організму, швидкої втомлюваності та ризику отримання термічних опіків. Під час завантаження сирної сировини до плавильного котла працівник-оператор може випадково контактувати з гарячими поверхнями або парою, що створює загрозу травмування.

Одним з шкідливих факторів є підвищена вологість повітря у виробничих приміщеннях. Вона виникає внаслідок використання гарячої води, пари та регулярного миття обладнання [2, с. 77]. У сироробному цеху відносна вологість часто перевищує нормативні значення, що погіршує мікроклімат робочої зони та створює дискомфорт для працівників. Крім того, через конденсацію вологи на підлозі утворюються слизові поверхні, які підвищують ризик падіння та травмування персоналу. Працівники під час транспортування контейнерів із сирною масою можуть посковзнутися на мокрій підлозі та отримати забій або перелом.

У процесі роботи технологічного обладнання виникає шум та вібрація. Джерелами шуму є насоси, компресори, фасувальні автомати, електродвигуни та вентиляційні установки. Тривалий вплив підвищеного рівня шуму негативно впливає на нервову систему працівників [3, с. 19], що викликає зниження концентрації уваги, втоми та погіршення слуху. Оператор фасувальної лінії протягом зміни перебуває під постійним впливом шуму від роботи автоматизованого обладнання, що може спричинити головний біль і професійне виснаження.

На виробництві плавлених сирів значну небезпеку становить хімічні чинники. Для миття та дезінфекції обладнання використовуються лужні та кислотні мийні засоби, які можуть подразнювати шкіру, слизові оболонки та органи дихання. Під час приготування дезінфекційних розчинів або очищення резервуарів можливе попадання хімічних речовин на відкриті ділянки тіла працівників [4, с. 86]. При недотриманні правил безпеки працівник може отримати хімічний опік шкіри внаслідок контакту з концентрованим лужним розчином. Небезпеку становить пари дезінфекційних речовин, які при недостатній вентиляції можуть накопичуватися в приміщенні та викликати подразнення дихальних шляхів.

Біологічні фактори в молочній промисловості пов'язані з використанням натуральної молочної сировини, яка може містити мікроорганізми. У разі порушення санітарно-гігієнічних вимог існує ризик розвитку бактеріального забруднення обладнання та виробничих поверхонь. Працівники лабораторії або виробничого цеху можуть контактувати з мікрофлорою молока та сирної маси, що за певних умов становить небезпеку для здоров'я. Особливо це стосується випадків несвоєчасного проведення санітарної обробки обладнання або порушення правил особистої гігієни [5, с. 381].

Психофізіологічні фактори також мають важливе значення у виробництві плавлених сирів. Робота на виробничій лінії характеризується монотонністю та повторюваністю операцій. Працівники фасувальних і пакувальних дільниць виконують однотипні рухи протягом усієї зміни, що спричиняє втому, перенапруження м'язів та зниження уваги. Крім того, на підприємстві може застосовуватися змінний режим роботи, включаючи нічні зміни, що негативно впливає на біологічні ритми організму та загальний стан працівників. Оператор, який працює в нічну зміну, швидше втомлюється та має вищий ризик помилки під час керування обладнанням.

Умови праці працівників виробництва плавлених сирів на ПрАТ «Лакталіс-Миколаїв» характеризуються значним фізичним та нервно-емоційним навантаженням, що обумовлено специфікою технологічного процесу, особливостями організації праці та впливом виробничої середовища. Оцінка важкості та напруженості праці має важливе значення для визначення рівня професійного ризику [6, с. 49], профілактики виробничої втоми та забезпечення безпечних умов праці.

На виробництві плавлених сирів значна частина робіт пов'язана з ручним переміщенням сировини, обслуговуванням обладнання, транспортуванням тари та контролем технологічних процесів. Працівники змушені тривалий час перебувати у положенні стоячи, здійснювати нахилі корпусу, повторювати рухи руками та переміщуватися по виробничих дільницях. Працівники під час завантаження сирної маси до плавильного котла виконують фізичну роботу, яка супроводжується підніманням та переміщенням ємностей із сировиною. Такі дії створюють навантаження на опорно-руховий апарат, особливо на хребет, плечовий пояс та суглоби.

У виробничих цехах працівники часто працюють у несприятливих мікрокліматичних умовах [7, с. 110]. Підвищена температура повітря біля плавильного обладнання у поєднанні з високою вологістю сприяє швидкому розвитку фізичної втоми. Організм витрачає додаткову енергію на терморегуляцію, що призводить до зниження працездатності наприкінці зміни. Працівники дільниці

плавлення сирної маси протягом робочого дня перебувають поблизу гарячих котлів та паропроводів, через що відчувають значне теплове навантаження та підвищене потовиділення. За відсутності достатньої вентиляції та регламентованих перерв це може негативно вплинути на стан серцево-судинної системи працівників.

Важкість праці також зумовлюється монотонністю виробничих операцій. На фасувальних та пакувальних лініях працівники виконують одноманітні рухи з високою частотою повторення. Працівник пакувальної дільниці протягом зміни контролює подачу упаковки, укладання продукції та сортування готових виробів. Постійне повторення однакових дій викликає перенапруження м'язів кистей рук, передпліччя та шийного відділу хребта. Тривале статичне навантаження може призводити до розвитку професійних захворювань опорно-рухового апарату та хронічної втоми [8, с. 64].

Напруженість праці визначається рівнем психоемоційного та інтелектуального навантаження на працівника під час виконання виробничих завдань. У виробництві плавлених сирів працівники повинні постійно контролювати параметри технологічного процесу, дотримуватися санітарно-гігієнічних вимог та оперативно реагувати на можливі відхилення у роботі обладнання. Оператор автоматизованої лінії зобов'язаний контролювати температуру плавлення, консистенцію сирної маси, швидкість фасування та герметичність упаковки. Висока відповідальність за якість готової продукції вимагає постійної концентрації уваги та швидкого прийняття рішень [9, с. 160].

Додатковим фактором напруженості праці є високий темп роботи виробничих ліній. На сучасних молокопереробних підприємствах більшість процесів автоматизована, однак працівники повинні постійно підтримувати безперервність виробництва та контролювати справність обладнання. У разі виникнення несправності необхідно швидко усунути проблему, щоб уникнути простої лінії та втрати продукції [10, с. 98]. При порушенні роботи фасувального автомата працівник повинен оперативно зупинити обладнання, усунути дефект і відновити технологічний процес, що супроводжується значним нервовим напруженням.

Особливістю роботи на ПрАТ «Лакталіс-Миколаїв» є також змінний режим праці. Робота у нічні зміни порушує природні біоритми організму, знижує концентрацію уваги та підвищує ризик помилок та виробничого травматизму. У нічний час працівники швидко втомлюються, а реакція на аварійні ситуації може бути сповільненою [11, с. 927]. Це особливо небезпечно під час роботи з тепловим та механічним обладнанням.

На рівень напруженості праці впливає також необхідність суворого дотримання санітарних вимог. Працівники молочного виробництва повинні постійно контролювати чистоту обладнання, використовувати спеціальний одяг та засоби особистого захисту, дотримуватися правил особистої гігієни. Високий рівень відповідальності за безпечність харчової продукції формує додаткове психоемоційне навантаження, особливо під час проходження виробничих перевірок або контролю якості [12, с. 21].

Умови праці працівників виробництва плавлених сирів характеризуються фізичним та психоемоційним навантаженням. Основними факторами тяжкості праці є ручне переміщення сировини, тривале перебування в положенні стоячи та вплив підвищеної температури та вологості. Напруженість праці обумовлюється необхідністю постійного контролю технологічних процесів, високим темпом роботи та відповідальністю за якість готової продукції. Додатковий негативний вплив на працівників має змінний режим роботи та монотонність окремих виробничих операцій. Для покращення умов праці необхідно впроваджувати сучасні засоби автоматизації [13, с. 63], удосконалювати вентиляційні системи та оптимізувати режими праці та відпочинку. Реалізація комплексу заходів з охорони праці сприятиме зниженню професійних ризиків, підвищенню працездатності персоналу та забезпеченню безпечних умов праці на ПрАТ «Лакталіс-Миколаїв».

Список використаних джерел

1. Охорона праці в галузі : навчальний посібник / В. М. Курепін, Д. Д. Марченко, Д. В. Курепін. Миколаїв : МНАУ, 2023. 586 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13157.

2. Іваненко В. М. Практичні аспекти адаптації законодавства ЕС у сфері безпеки і гігієни праці в Україні // Участь молоді у розбудові агропромислового комплексу країни : матеріали 35-ої студ. наук.-теорет. конф., 22-24 березня 2023 року, м. Миколаїв. Миколаїв : МНАУ, 2023. С. 74-78. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13346.

3. Іваненко В. С. Стресостійкість, як вид психологічної особистості // Інформаційно-психологічна та техногенна безпека: історичні аспекти, особливості захисту суспільства та особистості : тези доповідей за результатами тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 9 грудня 2022 р. Миколаїв : МНАУ, 2022. С. 18-20. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12066.

4. Лотарєва Д. В. Основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці на підприємстві // Сучасні підходи до охорони праці в закладах професійної освіти : матеріали Усеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, Біла Церква, 26 жовтня 2022 р. Біла Церква : БІНПО ДЗВО «УМО» НАПН УКРАЇНИ, 2022. С. 86-90. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12475.

5. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

6. Курепін В. М., Лимар О. О. Оцінка стану кадрової безпеки аграрних підприємств за допомогою відповідних індикаторів діяльності (in English). Modern Economics. 2024. № 43(2024). С. 41-50. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V43(2024)-06.

7. Курепін В. М., Лимар О. О. Управління людською складовою бізнесу як чинник промислового менеджменту в умовах цифрової трансформації. Modern Economics. 2026. № 57(2026). С. 107-115. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V57(2026)-14. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26709.

8. Ivanenko V.S., Kurepin V.M. Security dimension of development of Ukrainian villages in the context of modern challenges. Розвиток українського села - основа аграрної реформи в Україні : матеріали Причорноморської регіональної науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу (м. Миколаїв, 15-16 квітня 2026 р.) / Інженерно-енергетичний факультет. Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 64-66. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25504.

9. Курепін В. М. Механізм фінансування та громадської участі в забезпеченні заходів безпеки на локальному та регіональному рівнях. Modern Economics. 2026. № 55(2026). С. 153-161. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V55(2026)-21.

10. Курепін В. М., Зубєхіна-Хайят О. В. Механізми антикризового управління як основа адаптації бізнесу до турбулентного середовища. Modern Economics. 2025. № 54(2025). С. 95-103. DOI:https://doi.org/10.31521/modecon.V54(2025)-13.

11. Іваненко В., Курепін В. Впровадження інноваційних систем безпеки на підприємства під час війни на прикладі міста Миколаїв. Актуальні проблеми та перспективи розвитку обліку, аналізу та контролю в соціально-орієнтованій системі управління підприємством : матеріали IX всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Полтава, 26 березня 2026 р.). Полтава : Полтавський державний аграрний університет, 2026. С. 926-928.

12. Бризгалов М. В. Розробка та впровадження інструкцій з охорони праці на підприємствах аграрного профілю // Інформаційно-психологічна та техногенна безпека: історичні аспекти, особливості захисту суспільства та особистості : тези доповідей за результатами тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 9 грудня 2022 р. Миколаїв : МНАУ, 2022. С. 20-23. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12067.

13. Курепін В. М., Іваненко В. С. Застосування цифрових технологій у сільському господарстві для досягнення цілей сталого розвитку. Modern Economics. 2024. № 47(2024). С. 62-69. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V47(2024)-09.

УДК 331.45:004.8:636.4

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМИ РИЗИКАМИ У СВИНАРСТВІ

Вячеслав Курепін

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Умови праці на свинофермі СГПП «Техмет-Юг» характеризуються комплексним впливом виробничих, санітарно-гігієнічних та організаційних факторів, що визначають рівень безпеки працівників та ефективність виробничого процесу. Робота у тваринницьких приміщеннях належить до категорії фізично напружених видів діяльності, оскільки персонал щоденно виконує значний обсяг робіт, пов'язаних з доглядом за тваринами, підготовкою кормів, прибиранням поміщень, контролем технологічного обладнання та підтриманням належного санітарного стану виробничих зон. Особливістю праці на свинофермі є постійне перебування працівників у середовищі, де на організм людини впливають несприятливі фактори мікроклімату, підвищена вологість, специфічні запахи, шум та біологічні фактори.

Виробничі приміщення свиноферми включають свинарники для різних вікових груп тварин, кормоцех, складські приміщення, вентиляційні та допоміжні зони. Умови праці значною мірою залежать від технології утримання свиней, рівня механізації виробничих процесів та стану систем вентиляції. У холодний період року в окремих приміщеннях може спостерігатися недостатній рівень температури повітря, особливо поблизу входів або в зонах з неналежною теплоізоляцією. У літній період, навпаки, виникає проблема перегрівання повітря та підвищення відносної вологості, що негативно впливає як на працівників, так і на продуктивність тварин. Під час роботи у свинарниках для відгодівлі температура повітря влітку може перевищувати нормативні значення, що викликає швидку втому працівників, підвищене потовиділення та зниження працездатності.

Важливим фактором виробничого середовища є стан повітря в приміщеннях [1, с. 99]. У процесі життєдіяльності тварин та накопичення органічних відходів у повітрі можуть утворюватися шкідливі гази, зокрема аміак, сірководень та вуглекислий газ. Їх концентрація особливо підвищується за недостатньо ефективної роботи вентиляційної системи. У зимовий період працівники нерідко змушені обмежувати провітрювання поміщень для збереження тепла, що призводить до накопичення газів та погіршення санітарно-гігієнічних умов праці. Тривалий вплив аміаку може спричиняти подразнення слизових оболонок очей та органів дихання, головний біль та загальне погіршення самопочуття працівників.

Значне місце серед шкідливих виробничих факторів займає пил органічного походження, що утворюється під час роздавання кормів, прибирання сухих відходів та переміщення тварин. У складі такого пилу можуть міститися частинки кормів, шерсті, мікроорганізми та продукти життєдіяльності тварин. За відсутності ефективної аспірації та регулярного вологого прибирання пилу негативно впливає на органи дихання працівників [2, с. 44], спричиняючи алергічні реакції або професійні захворювання.

Праця на свинофермі супроводжується впливом шуму, який створюється роботою вентиляційного обладнання, кормороздавачів, транспортерів та поведінкою самих тварин. Постійний шумовий фон може викликати нервове напруження, швидку втому та зниження концентрації уваги. Особливо це відчутно в приміщеннях із високою щільністю утримання тварин, де рівень шуму періодично перевищує допустимі санітарні норми.

Окрему увагу слід приділити біологічним факторам ризику. Працівники свиноферми контактують із тваринами, кормами та біологічними відходами, що створює ризик інфекційних захворювань та алергічних реакцій. Тому важливо дотримання правил особистої гігієни [3, с. 18], використання спеціального одягу, рукавиць, респіраторів та регулярне проходження медичних оглядів.

На підприємстві СГПП «Техмет-Юг» значна частина виробничих процесів механізована, що сприяє зменшенню фізичного навантаження на працівників. Застосовуються автоматизовані системи подачі кормів, механізоване видалення гною та вентиляційне обладнання. Проте окремі види робіт,

пов'язані з доглядом за тваринами, санітарною обробкою приміщень та ремонтними роботами, все ще виконуються вручну, що потребує додаткових заходів безпеки та раціональної організації праці.

Нормативно-правові вимоги до параметрів мікроклімату в тваринницьких приміщеннях є важливою складовою системи охорони праці [4, с. 102] та забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов виробництва. Дотримання встановлених нормативів спрямоване не лише на створення безпечних умов праці для персоналу, а й на забезпечення оптимального фізичного стану тварин, підвищення їх продуктивності та запобігання виникненню захворювань. Регулювання параметрів мікроклімату в виробничих та тваринницьких приміщеннях СГПП «Техмет-Юг» здійснюється на основі законодавчих актів, державних санітарних норм, будівельних норм та галузевих рекомендацій.

Основним законодавчим документом у сфері охорони праці є Закон України «Про охорону праці», який визначає обов'язок роботодавця забезпечувати працівникам безпечні та нешкідливі умови праці. Відповідно до цього закону, на підприємстві створюються умови, які повинні відповідати вимогам санітарного законодавства [5, с. 21] та не перевищувати допустимих рівнів шкідливих виробничих факторів. Для свиноферм особливого значення набувають вимоги щодо температури, вологості, швидкості руху повітря, концентрації шкідливих газів та запиленості повітря.

Санітарно-гігієнічні параметри мікроклімату регламентуються Державними санітарними нормами та правилами, а також ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». У цих нормах визначено оптимальні та допустимі показники температури повітря, відносної вологості та швидкості руху повітря залежно від категорії робіт та періоду року. Для працівників тваринницьких поміщень, які виконують роботи середньої тяжкості, в холодний період року оптимальна температура повітря має становити приблизно 16-18 ^{0}С, а в теплий період – 18-22 ^{0}С. Відносна вологість повітря має перебувати в межах 40-60%, а швидкість руху повітря - не перевищувати 0,3 м/с у зимовий період. У разі перевищення вологості до 80-90% у свинарниках створюються несприятливі умови для працівників, що може сприяти переохолодженню організму, розвитку простудних захворювань та погіршенню самопочуття.

Важливим нормативним аспектом є контроль вмісту шкідливих газів у повітрі тваринницьких приміщень. Під час утримання свиней у повітря виділяються аміак, сірководень, метан та вуглекислий газ. Їх допустимі концентрації визначаються санітарними нормами та правилами безпеки. Концентрація аміаку в робочій зоні не повинна перевищувати 20 мг/м³, оскільки більш високі показники викликають подразнення слизових оболонок, кашель, сльозотечу та негативно впливають на органи дихання. Перевищення рівня аміаку часто спостерігається у приміщеннях із недостатнім повітрообміном або при несвоєчасному видаленні гною [6, с. 148].

Вимоги до вентиляції та повітряобміну встановлюються державними будівельними нормами та технологічними стандартами для тваринницьких поміщень. Система вентиляції повинна забезпечувати постійне надходження свіжого повітря та видалення надлишкового тепла, вологи та шкідливих газів. У свинарниках для відгодівлі тварин у літній період застосовуються припливно-витяжні вентиляційні системи, які підтримують допустиму температуру та запобігають перегріванню повітря. Якщо вентиляція працює недостатньо ефективно, у приміщеннях виникає задуха, підвищується вологість і збільшується ризик поширення патогенних мікроорганізмів.

Особливе значення мають вимоги щодо контролю параметрів мікроклімату. В умовах СГПП «Техмет-Юг» здійснюються регулярні вимірювання температури, вологості, швидкості руху повітря та концентрації шкідливих речовин. Для цього використовують термометри, психрометри, анемометри та газоаналізатори. У зимовий період контроль температури у свинарниках дозволяє своєчасно виявити недостатню ефективність системи опалення та попередити переохолодження приміщень.

Параметри мікроклімату в тваринницьких приміщеннях мають безпосередній вплив як на умови праці персоналу [7, с. 114], так і на фізіологічний стан та продуктивність тварин. Одним із найважливіших факторів є температура повітря в приміщеннях свиноферми. Для працівників надмірно висока температура створює значне теплове навантаження на організм, особливо в літній

період. У приміщеннях із недостатньою вентиляцією температура може перевищувати допустимі норми, що викликає швидку втому, сонливість, підвищене потовиділення та зниження концентрації уваги. Працівники, які виконують фізичну роботу з прибирання приміщень або догляду за тваринами за температури понад 28 ^{0}C, швидше виснажуються та частіше допускають помилки під час виконання виробничих операцій. Низька температура в холодний період року сприяє переохолодженню організму, виникнення простудних захворювань та зниження імунітету працівників. Особливо це виявляється в приміщеннях із неналежною теплоізоляцією або під час роботи біля воріт і вентиляційних отворах.

Температурний режим істотно впливає і на продуктивність свиней. За надмірно високої температури у тварин погіршується апетит, зменшується споживання корму та уповільнюється приріст живої маси. У літній період при температурі вище 30 ^{0}C свині можуть втрачати активність, більше часу лежати та споживати значно менше корму, що негативно впливає на економічні показники господарства. Низька температура також є несприятливою, особливо для молодняку, оскільки підвищуються витрати енергії на підтримання теплового балансу організму, що знижує ефективність відгодівлі та підвищує ризик захворювань.

Ще одним важливим показником мікроклімату є відносна вологість повітря. Підвищена вологість у поєднанні з низькою температурою створює дискомфортні умови для працівників і посилює відчуття холоду. У таких умовах зростає ризик захворювань органів дихання, ревматичних уражень та загального погіршення самопочуття [8, с. 447]. У приміщеннях із недостатнім повітрообміном та несвоєчасним видаленням гною рівень вологості може перевищувати 80%, що призводить до утворення конденсату на стінах та обладнанні. Для тварин надмірна вологість є небезпечною, оскільки сприяє розвитку патогенних мікроорганізмів, грибків та поширенню інфекційних захворювань. Вологе повітря погіршує теплообмін організму свиней і негативно впливає на їхній фізіологічний стан.

Рух повітря також має значення для підтримання комфортних умов у тваринницьких приміщеннях. Недостатній рух сприяє застою тепла, вологи та шкідливих газів, тоді як надмірна швидкість повітряних потоків викликає протяги. Для працівників постійна дія протягів може стати причиною застудних захворювань, болю у м'язах та зниження працездатності. У зимовий період надмірна інтенсивність вентиляції поблизу робочих місць створює локальне переохолодження працівників. Для тварин протяги особливо небезпечні в зонах утримання поросят, де навіть незначне зниження температури та рух холодного повітря можуть спричинити масові респіраторні захворювання.

Суттєвий вплив на умови праці та продуктивність тварин має хімічний склад повітряної середовища. У приміщеннях свиноферм накопичуються аміак, сірководень, вуглекислий газ та інші шкідливі речовини, що утворюються внаслідок життєдіяльності тварин та розкладання органічних відходів. Навіть незначне перевищення допустимих концентрацій аміаку викликає подразнення слизових оболонок очей та дихальних шляхів працівників. Працівники свинарників із недостатньою вентиляцією можуть скаржитися на кашель, сльозотечу та головний біль після тривалого перебування у помешканні. Для тварин високі концентрації аміаку призводять до пригнічення імунної системи, розвитку респіраторних захворювань та зниження приростів маси тіла.

Покращення мікроклімату в приміщеннях свиноферми СГПП «Техмет-Юг» є важливим напрямом забезпечення безпечних умов праці персоналу та підвищення ефективності тваринницького виробництва. Необхідність удосконалення мікрокліматичних умов обумовлюється тим, що відхилення температури, вологості, швидкості руху повітря та концентрації шкідливих речовин від нормативних значень негативно впливають на здоров'я працівників, фізіологічний стан тварин та загальні економічні показники підприємства. Саме тому впровадження комплексу організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів є необхідною умовою стабільного функціонування свиноферми.

Важливим заходом є нормалізація температурного режиму у приміщеннях свиноферми. Для зменшення тепловитрат доцільно використовувати сучасні теплоізоляційні матеріали, герметизувати віконні та дверні прорізи, а також обладнувати тамбури при входах до поміщень. У літній період

особливого значення набуває захист від перегрівання. Для цього можуть застосовуватися вентиляційні системи з охолодженням повітря, сонцезахисні екрани або системи водяного розпилення, які сприяють зниженню температури у свинарниках.

Ефективним заходом покращення мікроклімату є контроль та регулювання вологості повітря. Для зниження вологості необхідно забезпечити регулярне видалення гною, справну роботу систем водовідведення та достатню ефективність вентиляції. Також доцільним є використання вологостійких оздоблювальних матеріалів, які легко очищуються та дезінфікуються.

Суттєве значення має зменшення концентрації пилу та шкідливих газів у повітрі робочої зони. Для зниження запиленості доцільно використовувати герметизовані системи подачі кормів, зволоження повітря та регулярне вологе прибирання виробничих поміщень. Крім того, працівники повинні забезпечуватися засобами індивідуального захисту органів дихання, зокрема респіраторами.

Одним із перспективних напрямів покращення мікроклімату є впровадження автоматизованих систем контролю параметрів повітряної середовища [9, с. 35]. Сучасні датчики температури, вологості та концентрації шкідливих газів дозволяють в режимі реального часу контролювати стан мікроклімату та автоматично регулювати роботу вентиляційного та опалювального обладнання. У разі підвищення температури у свинарнику система автоматично збільшує інтенсивність вентиляції, а при зниженні температури активує систему обігріву. Такі технології сприяють підтриманню стабільних умов утримання тварин і зменшують вплив людського фактора на ефективність управління виробничими процесами.

Важливим організаційним заходом є дотримання санітарно-гігієнічного режиму в приміщеннях свиноферми [10, с. 156]. Регулярне очищення та дезінфекція приміщень дозволяють знизити рівень мікробного загрязнення повітря та попередити поширення інфекційних захворювань. Систематичне очищення вентиляційних каналів від пилу та органічних відкладень покращує ефективність повітряобміну та зменшує ризик накопичення шкідливих речовин у поміщенні. Важливим є проведення періодичного контролю стану мікроклімату з використанням вимірювальних приладів та лабораторних досліджень.

В результаті проведеного дослідження встановлено, що умови праці в приміщеннях свиноферми СГПП «Техмет-Юг» характеризуються впливом комплексу виробничих факторів, серед яких найбільше значення мають параметри мікроклімату, рівень вологості повітря, концентрація шкідливих газів, запиленість та ефективність вентиляції. Визначено, що відхилення мікрокліматичних показників від нормативних значень негативно впливають як на здоров'я та працездатність працівників, так і на фізіологічний стан та продуктивність тварин.

У ході аналізу нормативно-правових вимог встановлено, що організація мікроклімату в тваринницьких приміщеннях повинна відповідати вимогам санітарного законодавства, державних стандартів та норм охорони праці. Дотримання нормативних параметрів температури, відносної вологості, швидкості руху повітря та концентрації шкідливих речовин є необхідною умовою створення безпечної виробничої середовища та профілактики професійних захворювань.

Проведена гігієнічна оцінка показала, що основними проблемами мікроклімату в приміщеннях свиноферми є недостатня ефективність повітряобміну, підвищена вологість, можливе накопичення аміаку та органічного пилу, а також сезонні коливання температурного режиму. Встановлено, що несприятливі мікрокліматичні умови спричиняють погіршення самопочуття працівників, підвищують ризик захворювань органів дихання та знижують рівень продуктивності праці. Одночасно порушення оптимальних умов утримання негативно впливає на ріст, розвиток та продуктивність свиней [11, с. 483].

Обґрунтовано доцільність впровадження комплексу заходів щодо покращення мікроклімату, зокрема модернізації систем вентиляції, підвищення теплоізоляції приміщень, автоматизації контролю параметрів повітряного середовища, регулярного санітарного очищення та зменшення рівня запиленості. Реалізація запропонованих заходів сприятиме підтриманню нормативних параметрів мікроклімату, покращенню умов праці персоналу, зниження професійних ризиків та підвищення ефективності виробничої діяльності підприємства.

Отже, забезпечення оптимального мікроклімату в приміщеннях свиноферми є елементом системи охорони праці СГПП «Техмет-Юг» та необхідною умовою стабільного функціонування тваринницького підприємства. Комплексний підхід до організації безпечних та санітарно-сприятливих умов праці дозволяє підвищити рівень захисту працівників, покращити продуктивність тварин та забезпечити економічну ефективність господарства.

Список використаних джерел

1. Іваненко В. С., Курепін В. М. Управління професійними ризиками на вітчизняних підприємствах // Проблеми та перспективи розвитку охорони праці : матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів, м. Львів, 12 травня 2022 р. Львів : ЛДУ БЖД, 2022. С. 97-99. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11713.

2. Вознюк О. Комплексний підхід та добровільна ініціатива бізнес-компаній щодо сталого розвитку. Сучасні парадигми соціально-гуманітарного розвитку : матеріали всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції (м. Миколаїв, 18 листопада 2025 р.). Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 43-45. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22832.

3. Іваненко В. С. Порівняльна характеристика кваліфікаційних вимог та стандартів до фахівців у галузі охорони праці на підприємствах аграрного профілю. Участь молоді у розбудові агропромислового комплексу України : збірник тез наук.-теорет. 36-ї студентської конф. (м. Миколаїв, 20-22 березня 2024 р.). Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 17-20. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/17834.

4. Курепін В. М., Зубєхіна-Хайят О. В. Механізми антикризового управління як основа адаптації бізнесу до турбулентного середовища. Modern Economics. 2025. № 54(2025). С. 95-103. DOI:https://doi.org/10.31521/modecon.V54(2025)-13.

5. Іваненко В. С., Бризгалов М. В. Розробка та впровадження інструкцій з охорони праці на підприємствах аграрного профілю // Інформаційно-психологічна та техногенна безпека: історичні аспекти, особливості захисту суспільства та особистості : тези доповідей за результатами тематичного «круглого столу», м. Миколаїв, 9 грудня 2022 р. Миколаїв : МНАУ, 2022. С. 20-23. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12067.

6. Ivanenko V. Technological load on the natural environment of the Mykolaiv region: problems, solution ways. Науково-практична конференція, присвячена Всесвітньому метеорологічному дню «На варті кліматичних дій» та Всесвітньому дню водних ресурсів «Вода для миру» (м. Київ, 22-23 березня 2024 р.). Київ, 2024. С. 146-148. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18868.

7. Курепін В. М., Лимар О. О. Управління людською складовою бізнесу як чинник промислового менеджменту в умовах цифрової трансформації. Modern Economics. 2026. № 57(2026). С. 107-115. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V57(2026)-14.

8. Іваненко В. С. Вплив блекаутів на ментальне здоров'я та механізми адаптації. Проблеми надзвичайних ситуацій : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Черкаси, 21 травня 2026 року). Черкаси : НУЦЗ України, 2026. С. 447-448. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25631.

9. Лотарєва Д. В. Розвиток агробізнесу на основі цифрових технологій та інновацій. Інноваційно-інвестиційний розвиток бізнесу в умовах економічних збурень : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених до 210-ліття Львівської політехніки (м. Львів, 26-27 березня 2026 р.). Львів : Львівська політехніка, 2026. С 34-36. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24796.

10. Курепін В. М. Механізм фінансування та громадської участі в забезпеченні заходів безпеки на локальному та регіональному рівнях. Modern Economics. 2026. № 55(2026). С. 153-161. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V55(2026)-21.

11. Пеліхатий А. В. Роль професійної ідентичності та відданості землі у формуванні мотивації аграріїв під час війни. Проблеми надзвичайних ситуацій : матеріали міжнародної науково-практичної

конференції (м. Черкаси, 21 травня 2026 року). Черкаси : НУЦЗ України, 2026. С. 483-484. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25635.

УДК 331.45:004.8:628.9

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ

Вячеслав Курепін

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Освітлення робочих місць є одним із найважливіших факторів виробничого середовища, що безпосередньо впливає на безпеку праці, працездатність працівників та якість виконання виробничих операцій. В умовах НДВ перепелиної ферми ІПО МНАУ належне освітлення має особливе значення, оскільки значна частина робіт пов'язана з постійним візуальним контролем стану птиці, обладнання, кормів та готової продукції. Недостатня або неправильно організована освітленість може призводити до швидкої втоми органів зору [1, с. 108], зниження концентрації уваги, збільшення кількості помилок та підвищення ризику виробничого травматизму.

У виробничих приміщеннях перепелиної ферми використовують як природне, так і штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується через вікна та світлові прорізи, які дозволяють максимально використовувати денне світло. У приміщеннях для сортування та пакування перепелиних яєць природне освітлення сприяє кращому розрізненню дефектів продукції, таких як тріщини шкаралупи, загрязнення чи деформації. Водночас лише природного освітлення недостатньо для забезпечення необхідних умов праці протягом усього робочого дня, особливо в осінньо-зимовий період або під час роботи у вечірні зміни.

Штучне освітлення на фермі повинно забезпечувати рівномірне освітлення робочих зон без різких тіней та відблисків. Для цього застосовують сучасні світлодіодні світильники, які відзначаються високою енергоефективністю та стабільністю світлового потоку [2, с. 427]. На дільниці збору та сортування яєць працівники виконують точні візуальні операції, тому недостатня освітленість може призвести до пропуску дефектних яєць або помилок під час сортування продукції за категоріями.

Особливу увагу приділяють освітленню проходів між клітковими батареями та допоміжними приміщеннями. Працівники щоденно пересуваються між рядами клітин, виконуючи огляд птиці, поповнення запасів корму та контроль роботи обладнання. Недостатньо освітлений прохід може стати причиною спотикання, падіння або зіткнення з конструктивними елементами кліткових батарей. Тому рівень освітленості повинен забезпечувати чітке бачення всіх елементів робочої зони та можливих перешкод [3, с. 276].

Важливе значення має освітлення під час виконання ветеринарно-профілактичних заходів. Працівники повинні мати можливість своєчасно виявляти ознаки захворювань птиці, зміни її поведінки або стану оперення. Недостатня освітленість у приміщенні може ускладнювати виявлення хворих перепелів, що негативно впливає як на здоров'я поголів'я, так і на ефективність виробництва.

Негативний вплив на працівників може мати не лише недостатнє, а й надмірне освітлення. Надто яскраве світло або наявність відблисків від металевих поверхонь обладнання викликають дискомфорт, подразнення очей та швидке зорове стомлення. Відблиски від оцинкованих елементів кліткових батарей або захисних екранів обладнання можуть змушувати працівника постійно напружувати зір під час роботи. Тому під час проєктування систем освітлення необхідно враховувати розташування світильників та особливості виробничого обладнання [4, с. 254].

Освітлення також впливає на психофізіологічний стан працівників. Недостатня освітленість сприяє розвитку сонливості, зниженню працездатності та погіршенню емоційного стану. Працівники, які тривалий час працюють у погано освітлених приміщеннях, частіше скаржаться на головний біль, тому очей та зниження продуктивності праці. Забезпечення оптимального рівня освітлення дозволяє підтримувати високу працездатність протягом усієї зміни та знижує ризик виникнення помилок.

Важливим елементом організації освітлення є регулярний контроль технічного стану освітлювальних приладів [5, с. 98]. Забруднення світильників пилом, характерним для птахівницьких поміщень, або несправність ламп можуть суттєво знижувати рівень освітленості робочих місць. Накопичення пилки на плафонах світильників поступово зменшує світловий потік і погіршує умови праці без очевидних зовнішніх ознак для персоналу.

Належне освітлення робочих місць у НДВ перепелиної ферми ІПО МНАУ є важливим фактором забезпечення безпечних та комфортних умов праці. Раціональне поєднання природного та штучного освітлення, підтримання нормативних показників освітленості та своєчасне обслуговування освітлювальних систем сприяють збереженню здоров'я працівників, підвищенню продуктивності праці та покращенню якості виробничих процесів.

Удосконалення організації робочих місць працівників є одним із найефективніших напрямів підвищення рівня безпеки праці [6, с. 345], збереження здоров'я персоналу та покращення виробничих показників у НДВ перепелиній фермі ІПО МНАУ. Сучасні підходи до організації праці передбачають створення таких умов, за яких працівник може виконувати свої обов'язки з мінімальними фізичними та психоемоційними навантаженнями, зберігаючи високу працездатність протягом усієї робочої зміни. Особливого значення це набуває у птахівництва, де значна частина робіт пов'язана з постійним доглядом за птицею, контролем виробничих процесів та виконанням повторюваних технологічних операцій.

Одним із напрямів удосконалення є раціональне планування робочого простору [7, с. 160]. Робочі місця повинні бути організовані таким чином, щоб працівник мав вільний доступ до обладнання, інструментів та матеріалів без виконання лишніх рухів. Під час збирання та сортування перепелиних яєць тара для продукції, сортувальні столи та пакувальні матеріали повинні розташовуватися в межах зручної досяжності. Це дозволяє зменшити фізичне навантаження на працівників та скоротити час виконання виробничих операцій.

Важливим заходом є модернізація робочих місць із використанням ергономічного обладнання [8, с. 597]. Встановлення регульованих за висотою столів для сортування яєць дозволяє адаптувати робоче місце до антропометричних особливостей працівника. Завдяки цьому зменшується навантаження на хребет, плечовий пояс та м'язи шиї, що особливо важливо під час тривалого виконання одноманітної роботи.

Суттєво покращити умови праці можна шляхом механізації окремих виробничих процесів. На перепелиній фермі частина операцій, пов'язаних із транспортуванням кормів, видаленням посліду або переміщенням готової продукції, може виконуватися за допомогою механізованих пристроїв. Використання автоматичних транспортерів для подачі корму дозволяє зменшити фізичне навантаження на працівників та знизити ризик розвитку захворювань опорно-рухового апарату, пов'язаних із підніманням та перенесенням вантажів.

Особливої уваги потребує покращення умов освітлення робочих зон. Для підвищення якості роботи працівників необхідно встановлювати сучасні світлодіодні системи освітлення з рівномірним розподілом світлового потоку. У зоні сортування яєць додаткове локальне освітлення дозволяє швидше виявляти дефекти продукції та зменшує напруження органів зору. Це позитивно впливає як на якість продукції, так і на самопочуття працівників.

Важливим напрямком удосконалення є покращення мікрокліматичних умов. У приміщеннях для утримання перепелів необхідно забезпечити ефективну роботу систем вентиляції та кондиціонування повітря. Модернізація вентиляційної системи дозволяє зменшити концентрацію пилу, аміаку та надлишкової вологи у повітрі, що сприяє покращенню умов праці та профілактиці захворювань органів дихання у працівників.

Підвищенню безпеки праці сприяє також удосконалення організації транспортних маршрутів усередині виробничих поміщень. Проходи між клітковими батареями повинні бути достатньо широкими, добре освітленими та вільними від сторонніх предметів. Встановлення спеціальних місць для зберігання інвентарю дозволяє уникнути захаращення робочих зон і знизити ризик падінь та травмування працівників.

Значного ефекту може бути досягнуто завдяки впровадженню цифрових технологій контролю виробничих процесів [9, с. 118]. Використання автоматизованих систем моніторингу температури, вологості, рівня освітленості та роботи обладнання дозволяє зменшити кількість ручних операцій та підвищити точність контролю параметрів виробничої середовища. Оператор може отримувати інформацію про стан систем утримання перепелів на комп'ютері або мобільному пристрої без необхідності постійного обходу всіх виробничих приміщень.

Важливим елементом удосконалення організації праці є створення комфортних санітарно-побутових умов для персоналу. Облаштування кімнат відпочинку, гардеробних, душових та приміщень для прийому їжі сприяє відновленню працездатності працівників та покращує їхнє самопочуття. Наявність спеціально обладнаної кімнати відпочинку дозволяє працівникам ефективніше відновлювати сили під час регламентованих перерв [10, с. 448].

Таким чином, удосконалення організації робочих місць працівників у НДВ перепелиної фермі ІПО МНАУ має здійснюватися комплексно та охоплювати технічні, організаційні, ергономічні та санітарно-гігієнічні заходи. Реалізація таких рішень сприяє зниженню виробничих ризиків, покращенню умов праці, підвищенню продуктивності персоналу та забезпеченню стабільного розвитку підприємства.

Список використаних джерел

1. Курепін В. М., Лимар О. О. Управління людською складовою бізнесу як чинник промислового менеджменту в умовах цифрової трансформації. Modern Economics. 2026. № 57(2026). С. 107-115. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V57(2026)-14.

2. Мельничук Д. В. Ключові елементи ефективного управління виробництвом: методи та підходи. Сучасні тренди соціально-економічних перетворень та інтелектуалізації суспільства в умовах сталого розвитку : тези доповідей міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 20-21 жовтня 2025 р.). Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2025. С. 426-428. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22813.

3. Коваленко А. С. Планування та управління ризиками у контексті масових енергетичних відключень. Проблеми надзвичайних ситуацій : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Черкаси, 21 травня 2026 року). Черкаси : НУЦЗ України, 2026. С. 275-276. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25629.

4. Іваненко В. С. HR-навички управління персоналом агропідприємств. Сучасні тренди соціально-економічних перетворень та інтелектуалізації суспільства в умовах сталого розвитку : тези доповідей міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 20-21 жовтня 2025 р.). Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2025. С. 253-255. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22807.

5. Курепін В. М., Зубєхіна-Хайят О. В. Механізми антикризового управління як основа адаптації бізнесу до турбулентного середовища. Modern Economics. 2025. № 54(2025). С. 95-103. DOI:https://doi.org/10.31521/modecon.V54(2025)-13.

6. Іваненко В. С. Специфіка розвитку підприємств у посткризових умовах : тези доповідей XII Всеукраїнської наук.-практ. конф. (м. Миколаїв, 29-31 жовтня 2025 р.). Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 344-346. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/23086.

7. Курепін В. М. Механізм фінансування та громадської участі в забезпеченні заходів безпеки на локальному та регіональному рівнях. Modern Economics. 2026. № 55(2026). С. 153-161. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V55(2026)-21.

8. Іваненко В. С. Шляхи виживання та розвитку українського бізнесу під час воєнного стану. Економіко-правові аспекти господарювання: сучасний стан, ефективність та перспективи : матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, ОНЕУ, 10-11 жовтня 2025 р.). Одеса, 2025. С 595-598. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/22542.

9. Іваненко В. С. Система управління надзвичайними ситуаціями в умовах воєнних викликів: муніципальний аспект. Інтеграція науки та практики управління в умовах соціокультурних трансформацій: зб. матеріалів IV Міжнар. наук.-практич. конф. (28 квітня 2026 року, м. Лубни).

Лубни : ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2026. С. 116-121. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26716.

10. Іваненко В. С. Вплив блекаутів на ментальне здоров'я та механізми адаптації. Проблеми надзвичайних ситуацій : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Черкаси, 21 травня 2026 року). Черкаси : НУЦЗ України, 2026. С. 447-448. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25631.

УДК 613.6:004.8:664.1

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ВОРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЗЕФІРУ

Тетяна Черноусова

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. М. Курепін,
канд.екон.наук, доцент кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Праця працівників зефірного виробництва має ряд специфічних особливостей, що обумовлені технологією виготовлення продукції, характером використовуваного обладнання та вимогами до якості харчових виробів. В умовах ТОВ «Терновський хлібзавод» виробництво зефіру включає підготовку сировини, приготування рецептурної суміші, збивання зефірної маси, формування виробів, сушіння, обсипання цукровою пудрою, пакування та зберігання готової продукції. Кожен із цих етапів супроводжується певними виробничими навантаженнями, що впливають на фізичний та психоемоційний стан працівників.

Однією з головних особливостей праці є необхідність постійного контролю за технологічними параметрами виробництва [1, с. 209]. Якість зефіру значною мірою залежить від правильного дотримання температурного режиму, часу збивання маси, співвідношення компонентів та умов сушіння готових виробів. Працівники повинні стежити за показниками обладнання та своєчасно реагувати на будь-які відхилення від установлених норм. Оператор збивальної машини контролює консистенцію зефірної маси та тривалість процесу збивання. Якщо маса буде недостатньо збитою або, навпаки, перезбитою, готова продукція може втратити потрібну структуру, обсяг та товарний вигляд.

Особливістю виробництва зефіру є використання теплових процесів, що супроводжуються підвищенням температури та вологості повітря у виробничих приміщеннях. Під час приготування сиропів, розчинення цукру та варення компонентів виділяється значна кількість тепла та водяної пари. Працівники, які обслуговують варильні котли та змішувальне обладнання, тривалий час перебувають у зоні впливу підвищеної температури. Працівник варильного відділення під час завантаження цукру та контролю процесу приготування сиропу піддається впливу гарячого повітря та теплового випромінювання від обладнання. Такі умови можуть спричиняти швидку втому, підвищене потовиділення та зниження працездатності [2, с. 99].

Важливою особливістю праці є вплив запиленості повітря. У процесі виробництва широко використовуються сипучі компоненти, зокрема цукор, сахарна пудра, крохмаль та інші інгредієнти. Під час їх завантаження, пересипання та обробки у повітря потрапляє дрібнодисперсна пилка. Під час обсипання готового зефіру цукровою пудрою у виробничому приміщенні утворюється пилове облако, яке може подразнювати слизові оболонки очей та органів дихання працівників. За тривалого впливу пилу можливе виникнення алергічних реакцій чи професійних захворювань дихальної системи [3, с. 56].

Робота на виробничих лініях характеризується певною монотонністю та повторюваністю трудових операцій. Працівники фасувальних та пакувальних дільниць протягом зміни виконують однотипні рухи, пов'язані з укладенням продукції, контролем її якості та формуванням упаковок.

Працівник пакувальної лінії протягом кількох годин здійснює сортування та укладання зефіру у транспортну тару. Постійне повторення однакових рухів може викликати перенапруження м'язів рук, плечового поясу та хребта, а також сприяти розвитку втоми та зниження концентрації уваги.

Особливістю праці на підприємстві є необхідність тривалого перебування в положенні стоячи. Більшість виробничих операцій виконується безпосередньо біля технологічного обладнання або конвеєрних ліній [4, с. 19], що потребує постійної присутності працівника на робочому місці. Працівник формувальної машини контролює процес відсаджування зефірної маси протягом усієї зміни, перебуваючи у вертикальному положенні. Таке навантаження негативно впливає на кровообіг нижніх кінцівок, спричиняє втому та може стати причиною розвитку захворювань опорно-рухового апарату.

Важливе місце в роботі працівників займає дотримання санітарно-гігієнічних вимог. Оскільки зефір належить до харчових продуктів, персонал зобов'язаний суворо дотримуватися правил особистої гігієни, використовувати спеціальний одяг, головні убори та підтримувати чистоту робочого місця. Перед початком роботи працівники проходять санітарну обробку рук та перевіряють стан спецодягу [5, с. 251]. Недотримання цих вимог може призвести до забруднення продукції та погіршення її якості.

На працівників впливає шум від роботи технологічного обладнання, зокрема змішувачів, компресорів, транспортерів та пакувальних машин. Постійний шумовий фон створює додаткове навантаження на нервову систему, що викликає втому та може знижувати ефективність праці. Працівник виробничої лінії, який протягом зміни перебуває поблизу працюючого обладнання, може відчувати головний біль, подразливість та зниження концентрації уваги.

Оцінка важкості та напруженості праці є важливим етапом аналізу умов праці на підприємствах харчової промисловості, оскільки дозволяє визначити рівень фізичного та психоемоційного навантаження на працівників, виявити фактори ризику для здоров'я та розробити заходи щодо покращення виробничого середовища. В умовах ТОВ «Терновський хлібзавод» працівники виконують широкий спектр виробничих операцій, пов'язаних із підготовкою сировини, виготовленням продукції, обслуговуванням технологічного обладнання та пакуванням готових виробів. Особливості технологічного процесу виробництва зефіру обумовлюють наявність як фізичних, так і нервно-емоційних навантажень [6, с. 203], що впливають на працездатність персоналу.

На підприємстві значна частина виробничих операцій пов'язана з переміщенням сировини, завантаженням компонентів у технологічне обладнання, транспортуванням напівфабрикатів та готової продукції. Працівники варильного відділення здійснюють завантаження цукру, патоки та інших компонентів у варильні котли, що потребує прикладання фізичних зусиль та виконання багаторазових рухів протягом зміни. Такі навантаження впливають на м'язи рук, плечового поясу та спини, а при тривалому виконанні можуть сприяти розвитку професійної втоми.

Значний вплив на тяжкість праці має необхідність тривалого перебування у вертикальному положенні. Більшість працівників виробничих дільниць виконують свої обов'язки стоячи біля технологічного обладнання або конвеєрних ліній [7, с. 225]. Працівники протягом робочої зміни контролюють процес відсаджування зефірної маси, практично не маючи можливості змінювати робочу позу. Тривале статичне навантаження призводить до погіршення кровообігу в нижніх кінцівках, виникнення відчуття тяжкості в ногах та загальної фізичної втоми.

На рівень тяжкості праці впливають параметри виробничої середовища. У варильних та технологічних цехах працівники піддаються впливу підвищеної температури та вологості повітря. Під час приготування сиропів та зефірної маси відбувається інтенсивне виділення тепла та водяної пари, що створює додаткове навантаження на систему терморегуляції організму. Працівники, які обслуговують варильне обладнання, протягом зміни перебувають в умовах підвищеної температури, що сприяє швидкому настанню втоми та зниженню працездатності.

Напруженість праці характеризується ступенем нервно-емоційного навантаження, що виникає у процесі виконання виробничих завдань. На ТОВ «Терновський хлібзавод» працівники постійно контролюють технологічні параметри виробництва, стежать за роботою обладнання та забезпечують

відповідність продукції встановленим вимогам якості. Працівники контролюють консистенцію зефірної маси, тривалість збивання та правильність роботи обладнання. Будь-яке відхилення від технологічних параметрів може призвести до браку продукції та матеріальних втрат на підприємстві, що підвищує рівень відповідальності та психоемоційного напруження працівника.

Важливим фактором напруженості праці є необхідність роботи у високому темпі. Виробничі лінії функціонують безперервно, тому працівники повинні своєчасно виконувати всі операції та підтримувати установлений ритм роботи [8, с. 318]. Працівники пакувальної дільниці повинні швидко здійснювати контроль якості, сортування та укладення готового зефіру в упаковку. Порушення темпу роботи навіть одним працівником може призвести до затримки всього виробничого процесу, що створює додаткове нервове навантаження.

Особливістю праці на підприємстві є також монотонність окремих виробничих операцій. Працівники фасувальних і пакувальних ліній протягом зміни багаторазово повторюють однакові рухи та виконують однотипні дії. Працівники пакувальної лінії протягом кількох годин здійснюють однакові операції з укладання продукції в коробки. Така монотонність знижує концентрацію уваги, сприяє розвитку психічної втоми та підвищує ризик виробничих помилок.

На рівень напруженості праці впливає також відповідальність за дотримання санітарно-гігієнічних вимог. Працівники харчового виробництва постійно контролюють чистоту робочого місця, стан обладнання та якість продукції. Під час виробництва зефіру працівник зобов'язаний своєчасно виявляти ознаки можливого забруднення продукції та негайно повідомляти про це керівництво. Усвідомлення відповідальності за безпечність харчових продуктів формує додаткове психоемоційне навантаження.

Суттєвий вплив на працездатність працівників має шум від роботи технологічного обладнання. Постійний шумовий фон створює додаткове навантаження на нервову систему, що ускладнює сприйняття інформації та може спричиняти швидку втому. Працівники, які працюють поблизу збивальних машин чи компресорного обладнання [9, с. 103], змушені постійно концентрувати увагу на сигналах та показниках обладнання в умовах підвищеного шуму.

Праця працівників ТОВ «Терновський хлібзавод» характеризується поєднанням значного фізичного навантаження та високої нервно-емоційної напруженості. Напруженість праці обумовлюється необхідністю постійного контролю технологічних процесів, високою відповідальністю за якість продукції, роботою в швидкому темпі та монотонністю окремих виробничих операцій. Урахування цих факторів є необхідною умовою для розроблення ефективних заходів з охорони праці, спрямованих на збереження здоров'я працівників та підвищення ефективності виробництва.

Отже, умови праці працівників ТОВ «Терновський хлібзавод» характеризуються поєднанням фізичних та нервно-емоційних навантажень, зумовлених особливостями технологічного процесу виробництва зефіру. Важкість праці пов'язана з ручним переміщенням сировини, тривалим перебуванням в положенні стоячи, виконанням однотипних рухів та впливом несприятливих параметрів мікроклімату. Напруженість праці обумовлена необхідністю постійного контролю за технологічними процесами, високою відповідальністю за якість продукції та дотримання санітарно-гігієнічних вимог. Додатковий вплив на працездатність працівників здійснюють виробничий шум, монотонність окремих операцій та робота в визначеному виробничому ритмі. Своєчасна оцінка важкості та напруженості праці дозволяє виявляти фактори ризику та розробляти ефективні заходи щодо покращення умов праці. Реалізація таких заходів сприятиме збереженню здоров'я працівників, підвищенню продуктивності праці та забезпеченню належного рівня безпеки виробництва.

Список використаних джерел

1. Іваненко В. С. Штучний інтелект у системах безпеки. Проблеми та перспективи розвитку охорони праці: збірник наук. праць V Всеукраїнської науково–практичної конференції викладачів та фахівців–практиків та XV Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад’юнктів (м. Львів. 15 травня 2025 р.). Львів : ЛДУБЖД, 2025. С. 207-209. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21887.

2. Іваненко В. С., Курепін В. М. Управління професійними ризиками на вітчизняних підприємствах // Проблеми та перспективи розвитку охорони праці : матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів, м. Львів, 12 травня 2022 р. Львів : ЛДУ БЖД, 2022. С. 97-99. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11713.

3. Пряслова Н. М. Оцінка ризиків на робочому місці – підхід для малих і середніх підприємств // OSHAgro – 2023 : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 3 жовтня 2023 р.). Київ : НУБіП України, 2023. С. 55-57. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15930.

4. Іваненко В. С. Порівняльна характеристика кваліфікаційних вимог та стандартів до фахівців у галузі охорони праці на підприємствах аграрного профілю. Участь молоді у розбудові агропромислового комплексу України : збірник тез наук.-теорет. 36-ї студентської конф. (м. Миколаїв, 20-22 березня 2024 р.). Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 17-20. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/17834.

5. Курепін В. М., Курепін Д. В., Іваненко В. С. Цивільний захист: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2025. 491 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20130.

6. Орешко А. Ф. Психологія праці як інструмент управління якістю праці : збірник наукових праць XIV всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів. Львів : Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2024. С. 202-203. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18276.

7. Іваненко В. С., Курепін В. М. Подолання кризових явищ у аграрній сфері за допомогою технології доповненої реальності. Урожайність та якість продукції рослинництва за сучасних технологій вирощування : матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., присв. 90-річчю з дня народження професора Г. П. Жемели (м. Полтава, 30 верес. 2023 р.). Полтава : ПДАУ, 2023. С. 224-226. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15512.

8. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

9. Мелашенко Ю. С. Використання енергетичних ресурсів: вплив на навколишнє середовище. Продовольча безпека України в умовах війни і післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум = Food security of Ukraine in the conditions of the war and post-war recovery: global and national dimensions. International forum : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 30-31 травня 2024 р.) / Міністерство освіти і науки України ; Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 102-104. DOI:https://doi.org/10.31521/978-617-7149-78-0-32.

УДК 331.45:004.8:639.3

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОФЕСІЙНИМИ РИЗИКАМИ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКО-РИБОВОДНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Олександр Андросов

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. М. Курепін,
канд.екон.наук, доцент кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Нормативно-правове забезпечення охорони праці в рибогосподарському виробництві ТОВ «Миколаївське сільськогосподарсько-рибоводне підприємство» є важливою складовою організації безпечних умов праці та функціонування системи виробничої безпеки. Діяльність підприємства у сфері вирощування риби та експлуатації рибогосподарських об'єктів здійснюється відповідно до вимог чинного законодавства України, що регламентує питання охорони праці, виробничої санітарії, пожежної, електричної та екологічної безпеки. Основу нормативно-правового забезпечення складатиме положення Закону України «Про охорону праці», який визначає права та обов'язки роботодавця та працівників щодо створення безпечних умов праці, запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням.

Важливе значення для організації охорони праці мають норми Кодексу законів про працю України, що регулюють режим праці та відпочинку працівників [1, с. 926], порядок проведення інструктажів, медичних оглядів та забезпечення засобами індивідуальної захисту. Під час виконання робіт у несприятливих погодних умовах або у середовищі з підвищеною вологістю роботодавець зобов'язаний забезпечити працівників спеціальним одягом, взуттям та засобами захисту відповідно до встановлених норм. Законодавством передбачено обов'язкове проведення попередніх та періодичних медичних оглядів працівників, які виконують роботи підвищеної небезпеки або постійно контактують із водним середовищем та біологічними матеріалами.

У рибогосподарському виробництві особливу роль відіграють нормативні документи з електробезпеки та безпечної експлуатації обладнання [2, с. 307]. На підприємстві використовуються насосні станції, аераційні системи, електродвигуни та інше обладнання, що функціонує в умовах підвищеної вологості. Тому діяльність підприємства повинна відповідати вимогам Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів та державних стандартів у сфері електробезпеки. Експлуатація насосного обладнання без належного заземлення або використання пошкоджених електрокабелів може створювати реальну загрозу життю та здоров'ю працівників, тому нормативні документи передбачають регулярний контроль технічного стану електрообладнання та проведення відповідних перевірок.

Суттєве значення для забезпечення безпечних умов праці мають нормативно-правові акти у сфері пожежної безпеки [3, с. 326]. На території рибогосподарського підприємства здійснюється зберігання паливно-мастильних матеріалів, експлуатація електрообладнання та використання транспортних засобів, що підвищує ризик виникнення пожеж. Відповідно до вимог пожежної безпеки, виробничі приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння, евакуаційними виходами та системами оповіщення про пожежу. Працівники підприємства зобов'язані проходити протипожежні інструктажі та знати порядок дій у разі виникнення аварійної ситуації.

Окрему увагу у нормативно-правовому забезпеченні охорони праці приділено питанням виробничої санітарії та гігієни праці. Державні санітарні норми регламентують вимоги до мікроклімату виробничих поміщень, рівня освітлення, вентиляції, чистоти робочих місць та умов зберігання рибної продукції. У приміщеннях первинної переробки риби необхідно забезпечувати належний температурний режим та ефективну вентиляцію для запобігання поширенню шкідливих мікроорганізмів та підтримання безпечних умов праці [4, с. 28].

Нормативно-правове забезпечення також охоплює питання екологічної безпеки та охорони навколишнього середовища. Рибогосподарське виробництво пов'язане з використанням водних ресурсів [5, с. 200], кормів, хімічних речовин та утворенням органічних відходів, тому діяльність підприємства повинна відповідати вимогам природоохоронного законодавства. Контроль якості води у ставках та дотримання правил утилізації виробничих відходів сприяють не лише збереженню довкілля, а й покращенню умов праці працівників підприємства.

Нормативно-правове забезпечення охорони праці в рибогосподарському виробництві є основою створення безпечного виробничого середовища в ТОВ «Миколаївське сільськогосподарсько-рибоводне підприємство». Дотримання вимог законодавства, впровадження сучасних стандартів безпеки та систематичний контроль за умовами праці сприяють зниженню рівня виробничих ризиків, профілактиці професійних захворювань та забезпеченню стабільної діяльності підприємства.

Оцінка ефективності впроваджених заходів з охорони праці у ТОВ «Миколаївське сільськогосподарсько-рибоводне підприємство» свідчить про їх важливе вплив на покращення умов праці, зниження рівня виробничого травматизму та підвищення безпеки виробничих процесів. Реалізація організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів дозволила створити більш безпечне виробниче середовище для працівників [6, с. 457], діяльність яких пов'язана з експлуатацією водойм, використанням механізованого обладнання та виконанням робіт у складних природно-кліматичних умовах. Важливим результатом стало зниження ризику виникнення нещасних випадків під час виконання рибогосподарських робіт завдяки впровадженню систематичних інструктажів, контролю за технічним станом обладнання та забезпечення працівників засобами індивідуального захисту.

Суттєву ефективність продемонстрували заходи, пов'язані з модернізацією виробничого обладнання та удосконаленням технічного стану гідротехнічних споруд [7, с. 24]. Встановлення автоматичних систем захисту електрообладнання, проведення регулярної перевірки насосних станцій та використання кабелів із підвищеним рівнем ізоляції дозволили значно знизити ризик ураження працівників електричним струмом.

Позитивні результати також спостерігаються у сфері виробничої санітарії та гігієни праці [8, с. 119]. Забезпечення працівників спеціальним одягом, гумовими чоботами, водонепроникними рукавичками та організація місць для відпочинку та обігріву дозволили покращити умови праці та зменшити рівень професійних захворювань. Використання утепленого спецодягу в холодний період року сприяло зниженню випадків переохолодження організму та захворювань дихальної системи серед працівників, які виконують роботи безпосередньо на водоймах.

Важливим показником ефективності заходів з охорони праці є підвищення рівня професійної підготовки персоналу. Регулярне проведення інструктажів, навчань та практичних тренувань сприяло формуванню у працівників навичок безпечного виконання робіт та правильного реагування у разі виникнення аварійних ситуацій [9, с. 302]. Проведення навчань із надання домедичної допомоги та використання рятувальних засобів підвищило готовність працівників до оперативних дій у випадках травмування або падіння людини у воду.

Ефективність заходів впливає на покращення організації праці та зниженні фізичного навантаження на працівників. Використання механізованих засобів для транспортування кормів, витягування риболовецьких сіток та переміщення контейнерів із рибною продукцією дозволило скоротити обсяги важкої ручної праці. Застосування механічних лебідок під час сезонного вилову риби сприяло зменшенню перевтоми працівників та зниженню ризику травмування опорно-рухового апарату.

Разом із позитивними результатами оцінка ефективності заходів з охорони праці свідчить про необхідність подальшого удосконалення системи виробничої безпеки на підприємстві [10, с. 345]. Потребують розвитку заходи щодо автоматизації окремих виробничих процесів, удосконалення системи контролю за дотриманням вимог охорони праці та впровадження сучасних технологій моніторингу виробничих ризиків. Комплексне впровадження заходів з охорони праці у ТОВ «Миколаївське сільськогосподарсько-рибоводне підприємство» позитивно впливає на умови праці

працівників, забезпечує збереження їхнього здоров'я та створює передумови для стабільного та безпечного функціонування підприємства.

В результаті проведеного дослідження встановлено, що ефективна система охорони праці є важливою складовою безпечного функціонування ТОВ «Миколаївське сільськогосподарсько-рибоводне підприємство» та забезпечення належних умов праці працівників. Аналіз виробничих процесів дозволив визначити основні небезпечні й шкідливі фактори, що виникають під час виконання рибогосподарських робіт та можуть негативно впливати на здоров'я та працездатність персоналу [11, с. 132].

Встановлено, що впровадження організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів сприяє зниженню рівня виробничого травматизму та професійних захворювань. Важливе значення для підвищення рівня виробничої безпеки має модернізація обладнання, забезпечення працівників засобами особистого захисту та проведення систематичного навчання з питань охорони праці. Оцінка ефективності впроваджених заходів підтвердила їх позитивний вплив на покращення умов праці, підвищення працездатності працівників та стабільність виробничих процесів. Реалізація запропонованих рекомендацій сприятиме подальшому удосконаленню системи охорони праці, забезпеченню безпечного виробничого середовища та підвищення ефективності діяльності підприємства.

Список використаних джерел

1. Іваненко В., Курепін В. Впровадження інноваційних систем безпеки на підприємства під час війни на прикладі міста Миколаїв. Актуальні проблеми та перспективи розвитку обліку, аналізу та контролю в соціально-орієнтованій системі управління підприємством : матеріали IX всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Полтава, 26 березня 2026 р.). Полтава : Полтавський державний аграрний університет, 2026. С. 926-928.

2. Мулява М., Курепін В. Оптимізація умов праці у рибопереробній галузі на основі європейських практик. Інновації в агроінженерії : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 7-9 квітня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 304-310. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25494.

3. Курепін В. М. Основи охорони праці : навчальний посібник для студентів закладів вищої освіти аграрної галузі. Миколаїв : МНАУ, 2022. 347 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12462.

4. Іваненко В. С. Макроекономічні аспекти економічної безпеки підприємств аграрного профілю. Управління механізмами гарантування фінансово-економічної безпеки соціально-економічних систем різних рівнів функціонування : матеріали IV всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Миколаїв; 26–28 листопада 2025 р.). Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 27-28. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/23929.

5. Загляда А., Курепін В. Агроінженерне забезпечення зимівлі риби та безпека праці на рибогосподарських підприємствах. Інновації в агроінженерії : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 7-9 квітня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 197-201. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25440.

6. Сиворотка Н. М. Адаптація промисловості півдня України до водного дефіциту через рециркуляцію води. . Гірничі, будівельні, природоохоронні технології та екологія. : тези Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки (м. Житомир, 11-14 травня 2026 р.). Житомир : Житомирська політехніка, 2026. С 457-458. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26225.

7. Дідняк А. В. Цифрові технології у системі безпеки та гігієни праці як фактор сталого розвитку бізнесу. Інноваційно-інвестиційний розвиток бізнесу в умовах економічних збурень : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених до 210-ліття Львівської політехніки (м. Львів, 26-27 березня 2026 р.). Львів : Львівська політехніка, 2026. С 23-25. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24794.

8. Іваненко В. С. Система управління надзвичайними ситуаціями в умовах воєнних викликів: муніципальний аспект. Інтеграція науки та практики управління в умовах соціокультурних трансформацій: зб. матеріалів IV Міжнар. наук.-практич. конф. (28 квітня 2026 року, м. Лубни). Лубни : ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2026. С. 116-121. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/26716.

9. Курепін В. М., Курепін Д. В., Іваненко В. С. Цивільний захист: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2025. 491 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20130.

10. Іваненко В. С. Специфіка розвитку підприємств у посткризових умовах : тези доповідей XII Всеукраїнської наук.-практ. конф. (м. Миколаїв, 29-31 жовтня 2025 р.). Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 344-346. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/23086.

11. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

УДК 331.45:613.6:636.4

МІКРОКЛІМАТ ЯК ФАКТОР БЕЗПЕКИ: ОЦІНЮВАННЯ УМІВ ПРАЦІ У СВІНАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Антоніна Галєєва

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Забезпечення безпечних і здорових умов праці є одним із ключових обов'язків роботодавця та важливою складовою ефективної діяльності СГПП «ТехМет-Юг». Відповідно до законодавства України про охорону праці, роботодавець несе безпосередню відповідальність за створення належних умов праці, організацію безпечного виробничого процесу, впровадження профілактичних заходів щодо запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням. Його обов'язком є забезпечення функціонування системи управління охороною праці, проведення інструктажів, навчання та перевірки знань працівників [1, с. 70], організація медичних оглядів, забезпечення працівників засобами особистого та колективного захисту, а також контроль за дотриманням вимог безпеки під час виконання виробничих завдань.

Відповідальність роботодавця набуває особливого значення через наявність значної кількості небезпечних та шкідливих виробничих факторів. У свинарських приміщеннях працівники можуть піддаватися впливу несприятливого мікроклімату, підвищеної вологості, концентрацій аміаку, сірководню та пилки, які перевищують допустимі норми. У такому разі роботодавець зобов'язаний забезпечити ефективну роботу вентиляційних систем, здійснювати постійний контроль параметрів повітряного середовища та своєчасно вживати заходи щодо усунення виявлених недоліків.

Якщо керівництво підприємства не забезпечує належного контролю за станом виробничої середовища, що призводить до погіршення здоров'я працівників [2, с. 162] або виникнення професійних захворювань, воно може бути притягнуте до дисциплінарної, адміністративної чи кримінальної відповідальності.

Разом із роботодавцем важливу роль у забезпеченні безпеки праці відіграють самі працівники [3, с. 157]. Законодавство покладає на них обов'язок піклуватися про особисту безпеку та здоров'я, а також про безпеку оточуючих під час виконання трудових обов'язків. Працівники повинні знати та виконувати вимоги інструкцій з охорони праці, правильно використовувати обладнання, засоби особистого захисту, проходити навчання, інструктажі та медичні огляди. Вони також зобов'язані повідомляти керівництво про будь-які несправності обладнання, аварійні ситуації чи загрози для життя та здоров'я працівників.

Практика свідчить, що значна частина нещасних випадків на виробництві пов'язана не лише з технічними недоліками, а й із порушенням працівниками встановлених правил безпеки. Працівник свиноферми може самовільно відключити систему вентиляції для зменшення шуму чи протягів у приміщенні [4, с. 251]. Такі дії здатні призвести до накопичення шкідливих газів у повітрі та створити небезпечні умови праці як для самого працівника, так і для його колег. Іншим прикладом є ігнорування використання засобів індивідуального захисту під час проведення дезінфекції приміщень, що може стати причиною отруєння чи виникнення професійних захворювань.

Ефективна система охорони праці можлива лише за умови взаємної відповідальності роботодавця та працівників. Роботодавець повинен створити безпечні умови праці та забезпечити належний контроль за їх дотриманням, а працівники сумлінно виконувати встановлені вимоги безпеки та не допускати дій, які можуть створити загрозу для життя та здоров'я. Лише спільна відповідальна поведінка всіх учасників трудового процесу сприяє зниженню виробничого травматизму [5, с. 143], попередженню професійних захворювань та підвищенню рівня безпеки на підприємстві.

Мікроклімат виробничих приміщень є одним із найважливіших факторів, що визначають умови праці, працездатність працівників та рівень їхнього здоров'я в умовах СГПП «ТехМет-Юг». До основних параметрів мікроклімату належать температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря та інтенсивність теплового випромінювання. Відхилення цих показників від нормативних значень негативно впливає на організм людини [6, с. 19], викликає фізіологічне напруження, прискорює розвиток втоми, знижує продуктивність праці та може стати причиною виникнення професійних захворювань. Особливо актуальною ця проблема є для працівників свинарських комплексів, де параметри мікроклімату можуть суттєво змінюватися залежно від сезону року, технології утримання тварин та ефективності роботи вентиляційних систем.

Підвищена температура повітря у виробничих приміщеннях призводить до порушення процесів терморегуляції організму. У спекотних умовах працівник швидше втрачає рідину через потовиділення, що супроводжується зневодненням, порушенням водно-сольового балансу та зниженням фізичної витривалості. У працівників можуть виникати головний біль, запаморочення, прискорене серцебиття, сонливість та загальна слабкість [7, с. 286]. Під час літнього періоду в приміщеннях для вирощування молодняку свиней температура може перевищувати рекомендовані показники через недостатню вентиляцію та тепловиділення від тварин. У таких умовах працівники швидше втомлюються, частіше допускають помилки під час виконання технологічних операцій та мають підвищений ризик виникнення теплового виснаження.

Не менш небезпечним є вплив знижених температур. Тривале перебування у холодному середовищі викликає переохолодження організму, знижує швидкість реакції, погіршує координацію рухів та зменшує чутливість кінцівок. Це може стати причиною травмування під час роботи з обладнанням або інструментами [8, с. 280]. Регулярний вплив низьких температур сприяє розвитку простудних захворювань, запальних процесів органів дихання та захворювань опорно-рухового апарату. У зимовий період працівники можуть виконувати роботи у неопалюваних господарських приміщеннях або на відкритих майданчиках ферми, що створює додаткове навантаження на організм.

Важливе значення має і вологість повітря. Надмірно висока вологість у поєднанні з підвищеною температурою ускладнює теплообмін між організмом та навколишнім середовищем, що посилює ризик перегрівання. У свинарських приміщеннях підвищена вологість часто виникає через випаровування води, виділення вологи тваринами та недостатню ефективність вентиляційних систем [9, с. 147]. Такі умови сприяють розвитку грибків та мікроорганізмів, які можуть викликати алергічні реакції та захворювання органів дихання. Натомість надто низька вологість призводить до пересихання слизових оболонок очей та дихальних шляхів, підвищуючи ризик інфекційних захворювань.

Суттєвий вплив на самопочуття працівників має швидкість руху повітря. Недостатній повітрообмін сприяє накопиченню тепла, вологи, пилу та шкідливих газів, тоді як надмірна швидкість руху повітря викликає відчуття протягів, переохолодження окремих ділянок тіла та

підвищує ризик виникнення простудних захворювань. На свинарських фермах нераціональна робота вентиляційного обладнання може призводити як до застою повітря [10, с. 268], так і до надмірного охолодження робочих зон.

Особливу небезпеку становить поєднання несприятливого мікроклімату із забрудненим повітрям виробничих приміщень шкідливими газами. У процесі вирощування молодняку свиней у повітрі можуть накопичуватися аміак, сірководень, вуглекислий газ та органічний пил. За умов недостатньої вентиляції їх концентрація зростає, що негативно впливає на органи дихання та загальний стан працівників. Навіть за відносно невеликих концентрацій аміаку працівники можуть відчувати подразнення слизових оболонок очей, носа та горла, кашель, головний біль та швидку втому. Тривалий вплив таких факторів здатний спричинити хронічні захворювання дихальної системи та зниження працездатності.

Несприятливий мікроклімат негативно впливає на психофізіологічний стан людини. Постійний дискомфорт, викликаний перегріванням, переохолодженням або підвищеною вологістю, знижує концентрацію уваги, погіршує пам'ять, гальмує швидкість прийняття рішень та збільшує ймовірність помилкових дій. В результаті підвищується ризик виробничого травматизму, особливо під час роботи з механізмами, транспортними засобами або електрообладнанням. Дослідження свідчать, що навіть незначне відхилення параметрів мікроклімату від оптимальних значень може призвести до зниження продуктивності праці на 10-20 %, а в окремих випадках і більше. Саме тому підтримання нормативних параметрів мікроклімату у приміщеннях для вирощування молодняку свиней є необхідною умовою забезпечення безпечних та здорових умов праці на підприємстві СГПП «ТехМет-Юг».

В результаті проведеного аналізу встановлено, що мікроклімат виробничих поміщень є одним із найважливіших факторів, які впливають на умови праці працівників свиноферми. Відхилення температури, вологості та швидкості руху повітря від нормативних значень негативно впливають на самопочуття, здоров'я та працездатність персоналу [11, с. 208]. Особливу небезпеку становить поєднання несприятливих параметрів мікроклімату з підвищеним вмістом шкідливих газів та пилу у повітрі робочої зони. Тривалий вплив таких факторів може спричиняти професійні захворювання органів дихання, серцево-судинної системи та зниження працездатності працівників.

Проведений аналіз показав необхідність постійного контролю параметрів виробничого середовища у приміщеннях для вирощування молодняку свиней. Важливим напрямом підвищення безпеки праці є удосконалення систем вентиляції та підтримання нормативних показників мікроклімату. Запропоновані організаційні та технічні заходи сприятимуть покращенню умов праці та зменшення професійних ризиків. Реалізація цих заходів дозволить підвищити рівень охорони праці, зберегти здоров'я працівників та забезпечити ефективну діяльність СГПП «ТехМет-Юг».

Список використаних джерел

1. Іваненко В.С. Залучення фахівців сторонніх служб для проведення оцінки ризиків на робочому місці // OSHAgro – 2023 : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 3 жовтня 2023 р.). Київ : НУБіП України, 2023. С. 69-71. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15935.

2. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

3. Курепін В. М. Механізм фінансування та громадської участі в забезпеченні заходів безпеки на локальному та регіональному рівнях. Modern Economics. 2026. № 55(2026). С. 153-161. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V55(2026)-21.

4. Колесник Д. Безпека експлуатації обладнання та його обслуговування на свинофермі ТОВ «Золотий колос» Миколаївський області. Інновації в агроінженерії : матеріали міжнародної науково-

практичної конференції (м. Миколаїв, 7-9 квітня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 248-253. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25483.

5. Іваненко В. С. Інновації у сфері безпеки: захист різних сфер діяльності місцевих громад. Розвиток територіальних громад: правові, економічні та соціальні аспекти : матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф., (м. Миколаїв, 9 грудня 2024 р. Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 141-144. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/20102.

6. Іваненко В. С. Порівняльна характеристика кваліфікаційних вимог та стандартів до фахівців у галузі охорони праці на підприємствах аграрного профілю. Участь молоді у розбудові агропромислового комплексу України : збірник тез наук.-теорет. 36-ї студентської конф. (м. Миколаїв, 20-22 березня 2024 р.). Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 17-20. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/17834.

7. Іванова А. Роль людського фактора у забезпеченні безпеки праці в свинарстві. Інновації в агроінженерії : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 7-9 квітня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 282-287. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25489.

8. Шутова О. Формування безпечного виробничого середовища у свинарських комплексах в умовах ННПЦ МНАУ. Інновації в агроінженерії : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 7-9 квітня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 276-281. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25488.

9. Ivanenko V. Technological load on the natural environment of the Mykolaiv region: problems, solution ways. Науково-практична конференція, присвячена Всесвітньому метеорологічному дню «На варті кліматичних дій» та Всесвітньому дню водних ресурсів «Вода для миру» (м. Київ, 22-23 березня 2024 р.). Київ, 2024. С. 146-148. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18868.

10. Кулєшов Д. Особливості забезпечення безпеки у свинарських комплексах навчально-наукових центрів. Інновації в агроінженерії : матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 7-9 квітня 2026 р.). Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 265-270. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25486.

11. Іваненко В. С. Штучний інтелект у системах безпеки. Проблеми та перспективи розвитку охорони праці: збірник наук. праць V Всеукраїнської науково–практичної конференції викладачів та фахівців–практиків та XV Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів (м. Львів. 15 травня 2025 р.). Львів : ЛДУБЖД, 2025. С. 207-209. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/21887.

УДК 159.923.2:159.9.072:614.8

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ПОВЕДІНКОВИХ РИЗИКІВ ЧОЛОВІКА У НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЯХ

Єлизавета Добровольська

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: В. М. Курепін,
канд.екон.наук, доцент кафедри методики професійного навчання
Миколаївський національний аграрний університет

Сучасне життя українців відбувається в умовах підвищеної небезпеки: воєнні дії, повітряні тривоги, аварії на інфраструктурі, природні катастрофи, насильство, ДТП. У таких ситуаціях людина має дефіцит часу, неповну інформацію та сильний стрес. Чому в однаковій загрозі одна людина діє чітко і рятує інших, друга – завмирає , а третя – панікує і заважає? Одне з пояснень – самооцінка. Як базовий компонент Я-концепції вона визначає: як людина оцінює загрозу, чи вірить у власні сили, яку стратегію обере – боротися, тікати, завмерти чи підкоритися.Тому тема є актуальною як для теорії психології стресу та кризи, так і для практики — підготовки населення, військових, рятувальників, волонтерів.

Самооцінка є важливим компонентом самосвідомості особистості, що характеризує ставлення людини до власних якостей, можливостей і результатів діяльності. Вона пов’язана із саморегуляцією, рівнем упевненості у власних силах, прийняттям рішень та особливостями поведінки. У психологічній літературі самооцінку розглядають як суб’єктивне утворення, яке формується під впливом власного досвіду, соціального оточення та системи цінностей особистості [1; 2].

Особливого значення самооцінка набуває в ситуаціях небезпеки, невизначеності та ризику. У таких умовах людина повинна швидко оцінити ситуацію, визначити власні можливості, передбачити можливі наслідки та обрати відповідну модель поведінки. Дослідження ризику особистості показують, що поведінка в небезпечній ситуації залежить не лише від об’єктивних характеристик загрози, а й від суб’єктивної оцінки ситуації, готовності до ризику, процесів прийняття рішення та емоційно-регулятивних чинників [3]. Засобом забезпечення психологічної безпеки може виступати загальна задоволеність характеристиками середовища, до яких можна віднести соціальнопсихологічну активність суб'єктів освітнього простору та можливість мати свою власну позицію, ініціативу, а саме: можливість зберігати особисту гідність і право на повагу, результатом котрого є збереження психічного здоров'я викладачів та студентів[6].

Рівень самооцінки може позначатися на тому, як людина сприймає власні можливості в умовах небезпеки. Адекватна самооцінка сприяє більш реалістичному співвіднесенню вимог ситуації з власними ресурсами. Людина здатна враховувати ризики, оцінювати можливі наслідки своїх дій та коригувати поведінку відповідно до ситуації. Натомість нестійка або неадекватна самооцінка може впливати на сприйняття власних можливостей і характер прийняття рішень.

Важливим є взаємозв’язок самооцінки зі схильністю до ризику. Експериментальне дослідження Н. Теслик та А. Солдатенко було спрямоване на визначення взаємозв’язку між зовнішніми емоційними стимулами, самооцінкою та схильністю до ризику в осіб юнацького віку. Автори розглядали самооцінку та схильність до ризику як психологічні характеристики, що можуть змінюватися під впливом зовнішніх чинників [4].

Водночас не можна ототожнювати високий рівень самооцінки з безпечною поведінкою, а низький — з небезпечною. Поведінка в умовах ризику є багатофакторною та залежить від досвіду людини, рівня стресу, емоційного стану, мотивації, здатності прогнозувати наслідки, особливостей ситуації та соціального контексту. Дослідження ризикованої поведінки підкреслюють роль прогностичної компетентності та здатності людини оцінювати можливі наслідки власних дій [5].

Самооцінка також пов’язана із саморегуляцією поведінки. Усвідомлення власних сильних і слабких сторін допомагає людині реалістично оцінювати власні ресурси та визначати межі можливого. У цьому контексті важливим є поняття адекватної самооцінки, яка передбачає відносно реалістичне співвідношення між уявленнями людини про себе та її реальними можливостями. Самооцінка при цьому виступає одним із чинників регуляції поведінки та ставлення людини до успіхів і невдач [1].

Проблема набуває особливої актуальності в умовах соціальної нестабільності та воєнних загроз, коли людина може опинятися в ситуаціях, що потребують швидкого реагування. Сучасні дослідження самосвідомості наголошують на значенні самооцінки, самоставлення та саморегуляції для адаптації особистості до складних життєвих обставин.

Отже, самооцінка є :

- важливим предиктором поведінки людини в небезпечних ситуаціях: вона визначає оцінку власних ресурсів і вибір стратегії — діяти, чекати чи уникати;

- у поєднанні з інтернальним локусом контролю, розвиненою самоефективністю та реальними навичками дій у НС;

- занижена самооцінка веде до пасивності, завмирання і підвищує ризик ПТСР; завищена — до ігнорування безпеки та ризикованих дій;

Її значення проявляється передусім через оцінювання власних можливостей, регуляцію впевненості у своїх діях, сприйняття ризику та прийняття рішень. Водночас безпечна поведінка не визначається лише рівнем самооцінки, а формується в результаті взаємодії особистісних, емоційних, когнітивних і ситуаційних чинників. Перспективним напрямом подальшого дослідження є емпіричне

вивчення взаємозв'язку між рівнем самооцінки, схильністю до ризику, емоційною саморегуляцією та вибором поведінкової стратегії в небезпечних ситуаціях.

Список використаних джерел

1. Пенькова О. І. Самовдосконалення особистості і її самооцінка**.** Психологічний часопис**.** 2015. № 1 (1). С. 74–78.

2. Прищак М. Д., Мацко Л. А. Психологія. Частина І. Вінниця : ВНТУ. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/icgn/23pryschak%2Cmatsko_psyhologia_%28stud-zaoch%29_ch1/p8.html

3. Вдовіченко О. Концептуальні основи ризику особистості: циклічна структурно-процесуальна модель**.** Вісник Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди. Психологія**.** URL: https://journals.hnpu.edu.ua/index.php/psychology/article/view/3099

4. Теслик Н. М., Солдатенко А. В. Експериментальне дослідження схильності до ризику та самооцінки осіб юнацького віку. Вісник Національного університету оборони України. 2020. № 57 (4). С. 111–118. DOI: https://doi.org/10.33099/2617-6858-2020-57-4-111-118.

5. Бунас А. А. Прогностична компетентність як соціально значуща властивість особистості при прояві схильності до ризикованої поведінки. Вісник Одеського національного університету. Психологія. 2014. Т. 19, № 2 (32). DOI: https://doi.org/10.18524/2304-1609.2014.2(32).135082.

6. Гула Л. В. Психологічна безпека освітнього середовища як чинник збереження психічного здоров'я // Актуальні проблеми безпеки життєдіяльності людини в сучасному суспільстві : матеріали Всеукраїнської науково-теоретичної інтернет-конференції, м. Миколаїв, 24 листопада 2021 р. Миколаїв : МНАУ, 2021. С. 214-216.

УДК 614.8:004.9

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ РИЗИКІВ У СИСТЕМІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Надія Власова

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Виклики з якими стикається населення України мають комплексний та взаємопов'язаний характер. Вони характеризуються зростанням кількості та складності загроз, що безпосередньо впливає на систему цивільної захисту населення. Ключовою особливістю небезпек є їх джерело: природне, техногенні, соціальне [1, с. 267]. На сучасному етап розвитку суспільства значний вплив мають воєнні загрози, які ускладнюють процеси прогнозування та реагування.

Сучасні конфлікти супроводжуються застосуванням високоточної зброї, інформаційно-психологічними операціями та кібератаками [2, с. 2531]. Воєнні технології направлені проти людства руйнують критичну інфраструктуру, порушують системи життєзабезпечення населення та підвищують рівні небезпек для цивільних осіб. Невід'ємною складовою сучасних ризиків є кіберзагрози, які суттєво впливають на інформаційні системи, що забезпечують функціонування органів управління та служб реагування.

Водночас актуальними залишаються техногенні ризики, які пов'язані з високим рівнем зношеності інфраструктури [3, с. 134], порушенням правил експлуатації об'єктів підвищеної небезпеки та аваріями на промислових підприємствах. Не менш небезпечні природні фактори. Зростання частоти та інтенсивності стихійних явищ, таких як повені, посухи, буревії та пожежі вимагає адаптації систем цивільної захисту до нових умов та підвищення рівня готовності до реагування.

Сучасні визови передбачають модернізацію існуючих систем цивільного захисту [4, с. 95], потребують впровадження інноваційних технологій, підвищення рівня підготовки як фахівців, так і населення. Трансформація систем цивільного захисту за рахунок цифровізації дозволить в єдиній системі моніторингу, аналізу та прогнозування загроз інтегрувати різноманітні інформаційні ресурси.

Оперативне виявлення потенційно небезпечних зон, моделювання розвитку надзвичайних ситуацій можливо при використанні геоінформаційних систем та технологій обробки великих даних [5, с. 241]. Значно скоротити час реагування та підвищити точність прогнозів автоматизованих процесів аналізу інформації дозволяє штучний інтелект. Своєчасне інформування населення про загрози та необхідні дії в кризових ситуаціях забезпечить впровадження автоматизованих систем оповіщення [6, с. 157].

Умови воєнного стану вимагають дедалі активніше застосовувати безпілотні літальні апарати [7, с. 927]. Такі технології дозволяють проводити аеророзвідку, оцінювати масштаби руйнувань, шукати потерпілих та координувати рятувальні операції. Поряд з цим своєчасно отримують актуальну інформацію у реальному часі без ризику для життя рятувальників. Перспективним напрямком є розробка мобільних додатків та цифрових платформ, які забезпечать двосторонню комунікацію між службами цивільної захисту та населенням.

Отже, впровадження інноваційних технологій моніторингу, прогнозування та попередження ризиків є важливою передумовою підвищення ефективності системи цивільної захисту в умовах сучасних загроз. Використання цифрових платформ, інтелектуального аналізу даних та математичного моделювання дає змогу своєчасно виявляти потенційні небезпеки, оцінювати можливі наслідки надзвичайних ситуацій та обґрунтовувати управлінські рішення. Комплексне застосування цих технологій сприяє підвищенню оперативності реагування, зменшення ризиків для населення та забезпечення стійкості системи цивільної захисту.

Список використаних джерел

1. Іваненко В. С. Реалізація заходів цивільного захисту у реформах місцевого самоврядування // Екологічні та соціальні аспекти розвитку економіки в умовах євроінтеграції : матеріали X всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 25-27 жовтня 2023 року). Миколаїв : МНАУ, 2023. С. 265-268. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15758.

2. Бацуровська І. В., Курепін В. М. Кібербезпека як складник цифрової компетентності здобувачів професійної освіти в умовах змішаного навчання. Вісник науки та освіти. 2026. Вип. 5 (47). С. 2519-2537. URL: https://doi.org/10.52058/2786-6165-2026-5(47)-2519-2537

3. Kurepin V. M. The eu black sea strategy as a tool for shaping regional securhty: analysis of approaches to containing russia. Maritime security of the Baltic-Black Sea region: challenges and threats: V International scientific conference : conference proceedings (November 26, 2025, Odesa, Ukraine). Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2025. С. 132-135. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24225.

4. Курепін В. М., Іваненко В. С., Марченко Д. Д. Цивільний захист: надзвичайні ситуації мирного та воєнного часу. Частина 2 Надзвичайні ситуації техногенного характеру: дії населення при загрозі та у разі виникнення надзвичайних ситуацій : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2026. 397 с. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24226.

5. Іваненко В.С., Курепін В.М. Розвиток комунікативної компетентності фахівців цивільного захисту в умовах цифрової трансформації освіти. Українська мова та культура в сучасному гуманітарному часопросторі: аспекти міжмовної комунікації та формування комунікативної компетентності сучасного фахівця : збірник матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конференції пам'яті філолога, журналіста та захисника України Володимира Мукана (м. Ірпінь – Ломжа, 20 лютого 2026 року). Ломжа : MANS w Łomży, 2026 С 232-242. URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/24764.

6. Курепін В. М. Механізм фінансування та громадської участі в забезпеченні заходів безпеки на локальному та регіональному рівнях. Modern Economics. 2026. № 55(2026). С. 153-161. DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V55(2026)-21.

7. Іваненко В., Курепін В. Впровадження інноваційних систем безпеки на підприємства під час війни на прикладі міста Миколаїв. Актуальні проблеми та перспективи розвитку обліку, аналізу та

контролю в соціально-орієнтованій системі управління підприємством : матеріали IX всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Полтава, 26 березня 2026 р.). Полтава : Полтавський державний аграрний університет, 2026. С. 926-928. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/25169.

Наукове видання

Прикладна математика, моделювання та інтелектуальні технології в науці, освіті та інженерії

Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції

21-23 жовтня 2026 року

м. Миколаїв

Відповідальний за випуск	**Курепін** Вячеслав Миколайович
Головний редактор	**Курепін** Вячеслав Миколайович
Комп'ютерна верстка	**Курепін** Вячеслав Миколайович

Формат 60х84/16 Ум. друк. арк. _
Тираж _. Зам. №__

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.