УДК 625.70 **DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-014-023**
УДК 625.70

ЩОДО РОЗВИТКУ КОМПЮТЕРНОГО ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

ON THE DEVELOPMENT OF COMPUTER-AID ROAD DESIGN



Гамеляк Ігор Павлович, *доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри системного проєктування об'єктів транспортної інфраструктури та геодезії ,*
e-mail: gip65n@gmail.com., +380503524124

https://orcid.org/0000-0001-9246-7561



Хом'як Анна Ярославівна*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри системного проєктування об'єктів транспортної інфраструктури та геодезії, Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: akhomjak@gmail.com, тел.: +380673990164

https://orcid.org/0000-0002-2483-8153

Анотація. Кафедрі проєктування доріг КАДІ (зараз кафедра системного проєктування об'єктів транспортної інфраструктури та геодезії) належить пріоритет у впровадженні електронних обчислювальних машин для проєктування автомобільних доріг. Створено новий науковий напрям — автоматизація проєктних робіт (системне комп'ютерне проєктування). Використовуючи накопичений досвід з автоматизації проектування, для спеціальності «Автомобільні дороги» було розроблено і запроваджено в навчальний процес нову дисципліну - «Основи автоматизації проєктування автомобільних доріг» (зараз «Комп'ютерні технології в транспортному будівництві»).

Проаналізовані етапи створення та розвитку автоматизованого проєктування автомобільних доріг на кафедрі проєктування доріг Київського автомобільно-дорожнього інституту в 70 - 80 роки минулого століття, які є підґрунтям для успішного подальшого розвитку даного напрямку в НТУ.

Ключові слова: комп'ютерні технології, автоматизоване (комп'ютерне) проєктування, автомобільні дороги, поздовжній профіль, програмне забезпечення проєктування автомобільних доріг

Вступ. Важко сьогодні уявити наше життя без ІТ-технологій. А починалося все за участі й України.

У 1951 році перший в континентальній Європі комп'ютер був створений в Україні. Називалася перша ЕОМ Малою електронною лічильною машиною – «МЭСМ», налічувала 6000 електронних ламп і ледь вмістилася в лівому крилі будівлі гуртожитку колишнього монастирського селища Феофанія в

10 км від Києва. Машина була створена в лабораторії обчислювальної техніки Інституту електротехніки АН УРСР під керівництвом академіка Сергія Олексійовича Лебедєва. [1]

У 1962 на базі Обчислювального центру академік Віктор Михайлович Глушков створив Інститут кібернетики АН УРСР, де під його науковим керівництвом було розроблено ЕОМ «Киев» і першу в Україні та колишньому СРСР напівпровідникову керуючу машину широкого призначення «Днепр». Попередниками персональних комп'ютерів стали машини для інженерних розрахунків «Промінь» (1963), «Мир-1» (1966), «Мир-2» (1969), у яких було реалізовано запропоновану В. М. Глушковим ідею ступеневого мікропрограмного управління [2] .

Першою у світі мову програмування для комп'ютера створила українка Катерина Ющенко. Саме її розробка з назвою "Адресна мова програмування" випередила мову «Фортран» на 2 роки, «Кобол» - на 3 і «Алгол» на 5 років [3].

Знаменитий Стівен Джобс починав свою зіркову кар'єру, створюючи "Apple", не сам, а разом з вихідцем з України - Стівеном Возняком [3] .

При кожному вмиканні комп'ютера, починає працювати сім патентів Любомира Романківа - українського науковця, який придумав, як записувати інформацію на жорсткі диски - розробив революційну технологію (має 65 патентів) чим, фактично, започаткував еру персональних комп'ютерів: без його винаходів не існувало б ні "Apple", ні "Google". Коли вистукуємо на клавіатурі літери, що потім слухняно вибудовуються у речення на моніторі, також завдячуємо Любомиру Романківу. Ім'я винахідника занесено до Зали національної слави США [3].

Завдяки видатній американській актрисі та винахідниці, яка народилася у Львові, Хеді Ламарр, людство може користуватися технологією бездротового зв'язку Wi-Fi. Вона стала людиною, якій вдалось розробити принципи шифрування інформації для постійних незакритих каналів зв'язку [3].

А як же відбувалося впровадження комп'ютерних технологій в нашому університеті?

У 2023 році минуло 100 років з дня народження професора Хом'яка Ярослава Васильвича, яке, однак, у зв'язку із воєнним станом не було відзначено. А саме він , будучи завідуючим кафедрою проєктування доріг, проректором з наукової роботи КАДІ був ініціатором впровадження новітніх технологій як в науковий, так і в учбовий процеси в Київському автомобільно-дорожньому інституті.

Мета і методи. Київський автомобільно-дорожній інститут (КАДІ) став піонером серед київських ВНЗ по створенню комп'ютерного обчислювального центру, де проводилися як наукові дослідження, так і вдосконалювався навчальних процес. Тож видавалося доцільним прослідкувати становлення в КАДІ, зокрема, на кафедрі проєктування доріг, нових підходів до отримання знань, започаткування автоматизованого проєктування, що супроводжувалося науковими дослідженнями та практичним забезпеченням виконання й подальшої обробки вишукувальних й проєктних робіт.

Результати і пояснення. В 1961 р. на кафедрі проєктування доріг було організовано лабораторію автоматизації проєктно-розвідувальних робіт з використанням ЕОМ.

Завідувачем кафедрою проєктування доріг був на той час к.т.н., доцент Хом'як Ярослав Васильович. Очолив науково-дослідну лабораторію к. т. н., доцент Климент Аронович Хавкін.

До роботи в лабораторії були залучені молоді фахівці — випускники Київського державного університету ім. Т. Г. Шевченка Людмила Федорівна Вальчук та Інна Михайлівна Зиміна. Згодом до них приєдналися Юрій Антонович Цибенко, Людмила Костянтинівна Тищенко-Тишковець, Тамара Леонідівна Шабаліна.

Проєктування автомобільних доріг з використанням можливостей ЕОМ дозволяє автоматизувати виконання проєктних робіт, знизити витрати часу на їх виконання, надає можливість розглядати велику кількість варіантів та знаходити оптимальні рішення.

Особливістю розв'язання багатьох задач при проєктуванні доріг є значна кількість змінних, багаточисельні обмеження, пов'язані з великими об'ємами вихідної інформації.

Аналіз стану питань вимагав глибокого теоретичного вивчення, осмислення та аналізу, які передували складанню відповідних алгоритмів. Ретельно вивчалися фізичні процеси, що визначали об'єми та інструменти для проведення натурних досліджень, дозволяли розробляти методику та визначати, а переважно – розробляти необхідні для цього інструменти.

У лабораторії були розроблені алгоритми проєктування поздовжнього профілю, підрахунку об'ємів земляних робіт та площ укріплення укосів, водоперепускних труб, моделювання швидкостей руху автомобілів на підїздах та спусках автомобільних доріг тощо. Програми були написані для ЕОМ «Мир-1» та були запропоновані проєктним організаціям. Подальше удосконалення програмного продукту відбувалося відповідно розвитку та появи більш досконалих ЕОМ.

1964 р. було створено Галузеву науково-дослідну лабораторію обліку та дослідження руху на автомобільних дорогах при кафедрі проектування доріг Київського автомобільно-дорожнього інституту. Науковим керівником зазначеної лабораторії був Хом'як Ярослав Васильович. В період з 1985 по 1987 рр. очолював Галузеву науково-дослідну лабораторію обліку та дослідження руху на автомобільних дорогах к.т.н. Федір Петрович Гончаренко.

На початковому періоді функціонування лабораторії дослідження параметрів руху транспортних потоків виконувалися переважно в ручному режимі. Особливо складно це було виконувати в складних дорожніх умовах та при значних інтенсивностях руху транспортних потоків.

В лабораторії була створена апаратура для обліку та дослідження режимів й характеристик руху на автомобільних дорогах. Розроблена апаратура - як переносний лічильник руху ПДС-1 (рис. 1), комплект КАДІ-2 РКС (рис. 2) тощо -дозволяла автоматизовувати отримані характеристики у значних об'ємах . При цьому не лише скорочувалися непродуктивні витрати часу та праці, а й значно підвищувалася точність отриманих результатів. Була розроблена технічна документація на виготовлену апаратуру та оформлені авторські свідоцтва (рис. 3).



Рисунок 1 - Переносний лічильник руху ПДС-1
Figure 1 - Portable traffic counter PDS-1

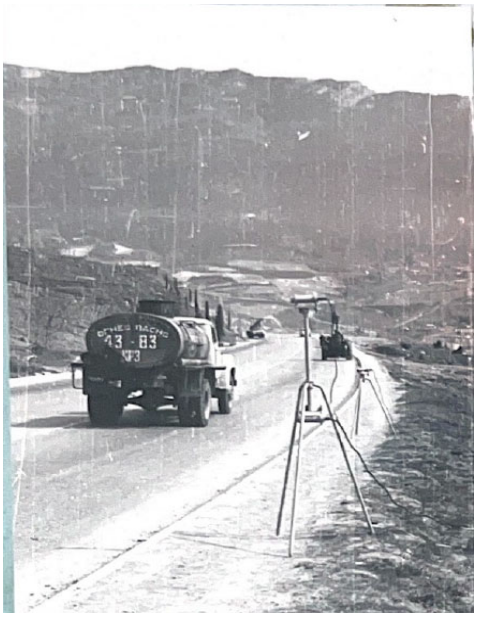


Рисунок 2 - Комплект КАДІ-2 РКС
Figure 2 - KADI-2 RKS kit

Апаратура КАДІ-2 РКС дозволяла одночасно визначати інтенсивність, швидкість, склад руху, розділяти та визначати усі характеристики транспортних потоків за напрямками руху (рис. 4).



Рисунок 3 – Робота з апаратурою для вивчення інтенсивності руху на автомобільних дорогах
Figure 3 – Working with equipment for studying traffic intensity on highways

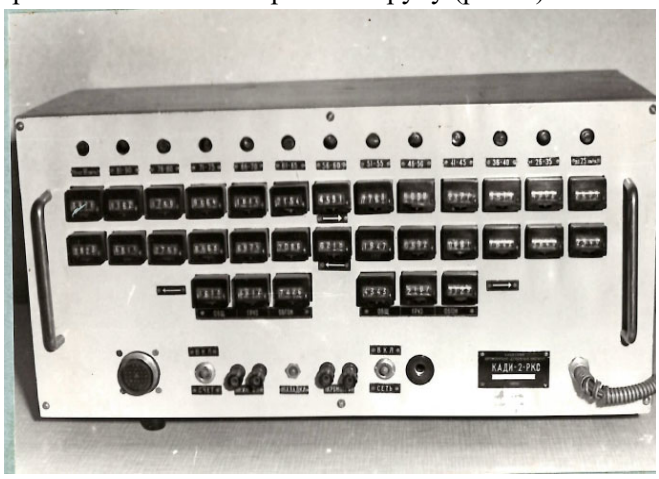


Рисунок 4 – Апаратура КАДІ-2 РКС для одночасного визначати інтенсивності, швидкості та склад руху
Figure 4 – KADI-2 RKS equipment for simultaneously determining traffic intensity, speed and composition

Вивчення руху транспортних потоків на перетинах, примиканнях доріг, на з'їздах дорожніх розв'язок часто потребувало неодноразового, повторного дослідження взаємодії транспортних потоків на певних ділянках. Для цього використовувався кінематометричний метод вивчення руху транспортних потоків – за допомогою кінокамери «Київ-16с», блока електроніки для по кадрового знімання з діапазоном регулювання часу 0,5-20 сек та блоком живлення 12 в (рис. 5). В лабораторії проводилися дослідження погодних умов на характер руху транспортних потоків, був розроблений прилад для визначення метеорологічної видимості (рис. 6).

Отримувана інформація про стан системи «дорожні умови-транспортні потоки» оброблялася на ЕОМ. Для обробки незначних за об'ємами натурних даних та визначення розрахункових характеристик системи «дорожні умови – транспортні потоки», для їх аналізу застосовувалися малі ЕОМ МИР-1 та МИР-2 (рис. 7). При моделюванні руху транспортних потоків, необхідності обробки великих масивів даних натурних спостережень, прогнозуванні стану системи «дорожні умови-транспортні потоки» та інших складних економіко-математичних роботах використовувались ЕОМ ЕС - 1022.

Виникла об'єктивна необхідність в переході до вищого рівня автоматизації та створенні САПР АД, що стало однією з найважливіших задач технічного прогресу в проєктуванні автомобільних доріг.

У КАДІ розроблені комплекси програм, що входять до складу САПР АД. Серед них проєктування поздовжнього профілю, економічне трасування мереж автомобільних доріг, оцінка умов руху, гідравлічні розрахунки тощо. Комплекс програм по автоматизації проєктування поздовжнього профілю включає програми підрахунку об'ємів земляних робіт, підрахунок швидкостей руху автомобіля по запроєктованому поздовжньому профілю, визначення координат перспективних зображень точок трансі. Основою комплексу є програма проєктування проєктної лінії. Створений також комплекс програм по оцінюванню умов руху, який включає оцінку аварійності та безпеки руху,

визначення розрахункових показників системи «дорожні умови – транспортні потоки», статистичну обробку результатів натурних спостережень.



Рисунок 5 – Кінокамера «Київ-16с» з блоком для кінематометричного методу вивчення руху транспортних потоків

Figure 5 – Cinema camera "Kyiv-16s" with a unit for the kinematometric method of studying traffic flow

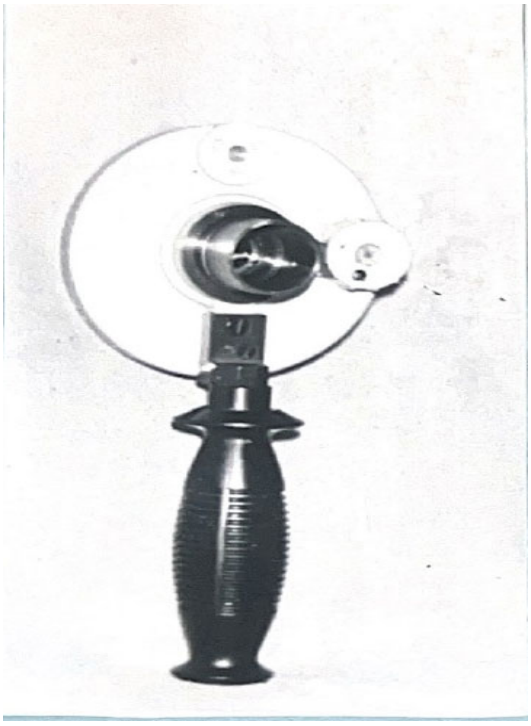


Рисунок 6 – Прилад для визначення метеорологічної видимості

Figure 6 – Device for determining meteorological visibility

У комплекс програм по економічному трасуванню включені програми побудови оптимальної мережі автомобільних доріг, визначення вантажонапруженості та інтенсивності руху на перегонах мережі, програма оцінки економічної ефективності капіталовкладень в дорожнє будівництво.

Під керівництвом професора Хом'яка Ярослава Васильовича була виконана ґрунтовна робота по розробці методики та виконання проєктів мереж автомобільних доріг. У результаті проведених досліджень отримана економіко - математична модель взаємодії автомобільного транспорту та шляхів сполучення, на основі якої сформульовані вимоги до оптимальних мереж автомобільних доріг. Відповідно, розроблений обчислювальний метод проєктування таких мереж [5].

На кафедрах проєктування доріг та гідравліки КАДІ створений комплекс програм по розрахунку отворів водоперепускних труб із врахуванням та без врахування акумуляції, а також ряд інших програм по гідравлічних розрахунках дорожнього водовідведення.

Процес проєктування автомобільних доріг із допомогою ЕОМ є найбільш ефективним у випадку, коли входи та виходи усіх програє узгоджені між собою, вихідні дані для всього комплексу програм збережені в пам'яті ЕОМ у вигляді банку вихідних даних, створення якого було важливим завданням (рис. 8).



Рисунок 7 – Визначення розрахункових характеристик системи «дорожні умови – транспортні потоки» із застосуванням малих ЕОМ МИР-1 та МИР-2
Figure 7 – Determination of the calculated characteristics of the “road conditions – traffic flows” system using small computers MIR-1 and MIR-2



Рисунок 8 – Підготовлення даних про роботу системи «дорожні умови – транспортні потоки» для статистичної обробки на ЕОМ
Figure 8 – Preparation of data on the operation of the “road conditions – traffic flows” system for statistical processing on a computer

Розробки по автоматизації окремих питань проєктування автомобільних доріг виконувались також в проєктних організаціях - «Укрдіпродор», «Укрремдорпроєкт», Українській філії «Союздорпроєкту». У цих організаціях вирішувалися питання автоматизації поздовжнього профілю, земляних робіт, розрахунку елементів дорожнього одягу.

У створенні першої черги САПР АД УРСР брали участь «Укрдіпродор», КАДІ, ХАДІ. «ДерждорНДІ», «Укрремдорпроєкт» та інші.

Бурхлива автомобілізація, зростання завантаженості доріг та аварійності автомобільних перевезень вимагали розробки заходів по підвищенню безпеки та комфортності автомобільних перевезень, усуненню негативних наслідків забруднення довкілля. Доктором технічних наук, професором Хом'яком Ярославом Васильовичем була науково обґрунтована концепція системи «дорожні умови – транспортні потоки» (ДУ-ТП). Організацію руху пропонувалося розглядати як окрему галузь техніки по управлінню транспортними потоками в заданих дорожніх умовах [6]. Оптимальне управління передбачає вибір та реалізацію рішення, що забезпечує усі можливі перевезення при мінімумі дорожньо-транспортних витрат, належних безпеці й комфортності руху. До заходів оптимізації системи ДУ-ТП пропонувалося відносити заходи, реалізація яких визначала стан системи на тривалий період – оптимальне розміщення мережі автомобільних доріг, оптимізація геометрії доріг та стану проїзної частини, а також заходи, реалізація яких забезпечувала стан системи в будь-який час залежно від характеристик руху транспортних потоків – тобто, решта заходів (забезпечення належної рівності та шорсткості проїзної частини, регулювання, маршрутизація руху, контроль за правилами дорожнього руху, раціональна обстановка дороги тощо). В лабораторії обліку та дослідження руху виконувалися відповідні дослідження [7].

Удосконалення системи ДУ-ТП займався д.т.н Поліщук Володимир Петрович [7, 8].

Починаючи з 1961 р., понад 20 років завідувач кафедри проєктування доріг професор Я.В. Хом'як обіймав посаду проректора інституту з наукової роботи [7]. У цей час в КАДІ був створений обчислювальний центр та проводилася не лише науково-дослідницька робота, а й були здійснені цікаві розробки щодо автоматизації навчального процесу, вивченню можливостей постійного моніторингу рівня засвоюваності знань студентами. На базі лабораторії кафедри проєктування доріг був створений прилад «КАДІ-ТЕПМ», який згодом був рекомендований для використання у всіх ВНЗ колишнього СРСР. Програма була створена на кафедрі проєктування доріг для ЕОМ «Мінськ» (рис. 7).

Авторський колектив по створенню «КАДІ-ТЕПМ» – професор Вериженко Євген Петрович (на той час ректор КАДІ), професор, завідуючий кафедрою проєктування доріг та лабораторією Хом'як Ярослав Васильович, асистент кафедри проєктування доріг Ліліцький Георгій Олександрович - ерудит-дорожник, працював радником з дорожніх питань при ООН, а також інженер кафедри проєктування доріг, винахідник та раціоналізатор Ворончук Геннадій Андрійович.

Комплекс «КАДІ-ТЕПМ» дозволяє протягом години обробити результати опитування 200 студентів (враховується час на сортування карточок по групах з порядковим номером студента, кодування правильних відповідей, безпосередньо контроль та роздруківка результатів) (рис. 9). До складу пристрою входили комплекти індентифікаційних карток – носіїв інформації; електронний пристрій зчитування та розшифрування, транскриптор, цифродрукуючий пристрій Ф 5033 К. Картка розміром 105 х 65 мм - носій інформації із кодованими відповідями на питання, які поставлені у програмованому завданні - від моменту нанесення на неї відповідей в аудиторії до часу очищення від цієї інформації. У цьому проміжку часу картка мала поступити на пункт обробки з метою знімання з неї інформації за допомогою електронного пристрою зчитування, розшифрування та автоматизованої обробки.

Пристрій міг працювати в автономному режимі (без транскриптора та цифродрукуючого пристрою). У цьому випадку інформація, що відносилась до результатів опитування, виводилась на світлове табло, а також на лічильник введених у пристрій карток та правильних відповідей. Якщо прилад працював у комплексі з цифродрукуючим пристроєм, інформація виводилась через транскриптор на друк. Роздруківка виконувалася автоматично друкарською машинкою з електроуправлінням у заздалегідь підготованих відомостях. Для скорочення часу допоміжних

операцій інформація через транскриптор могла виводитися на перфоратор з подальшою обробкою на ЕОМ.



Рисунок 9 – Комплекс «КАДІ-ТЕПМ» для оброблення результатів опитування
Figure 9 – "KADI-TEPM" complex for processing survey results

Роздруківка відповідей фіксувала наступні дані: форма навчання, спеціальність, рік вступу, академічна група, порядковий номер за списком (змінний код), номер варіанта, номери питань, на які були дані правильні відповіді, оцінка чи кількість правильних відповідей (змінний код). Відповіді кодувалися шляхом перекреслення грифельним олівцем відповідного петлеподібного паза ідентифікаційної картки. Після обробки інформація з картки (змінний код) витиралася резинкою. Час на обробку інформації, включаючи час на кодування правильних відповідей, не перевищував 15 хв на 100 карток.

Оскільки прилад був рекомендований до використання з метою контролю якості знань, його виробництво було налагоджено у Дніпропетровському промисловому об'єднанні «Металіст».

Прилад був задуманий для можливості проведення експрес-опитувань в аудиторіях, оскільки це не викликало труднощів.

Попередньо авторами було задумано, що картка для з'ясування міри засвоєння знань студентами видаватиметься разом із студентським квитком . Експрес - опитування можна було б проводити після кожної лекції чи практичного заняття, перевіряючи, як зрозуміли студенти викладений матеріал. Була можливість також з'ясовувати відсоток засвоєння студентами кожного питання

Автоматизація контролю знань та зворотний зв'язок були метою розробки приладу.
І це працювало. Ті, хто були студентами дорожньо-будівельного факультету КАДІ у 70 роки минулого сторіччя, цей прилад та відповідні опитування пам'ятають.

Був задум авторів, щоб карточкою у студмістечку можна було користуватися у бібліотеці, в їдальні, в буфеті тощо. На жаль, цей задум не встигли реалізувати, але ж це мав бути прототип наших сьогоднішніх ID - карток…

Прилади «КАДІ-ТЕПМ» експонувалися на виставках - ВДНХ (золота, срібна, бронзова медалі), в Дамаску, в Німеччині - на Лецпцигзькій ярмарці, в Болгарії – на міжнародній ярмарці в Пловдеві.

Висновки та рекомендації. Кафедрі проєктування доріг КАДІ (зараз кафедра системного проєктування об'єктів транспортної інфраструктури та геодезії) належить пріоритет у впровадженні електронних обчислювальних машин для проєктування автомобільних доріг. Створено новий науковий напрям — автоматизація проєктних робіт (системне комп'ютерне проєктування). Використовуючи накопичений досвід з автоматизації проектування, для спеціальності «Автомобільні

дороги» було розроблено і запроваджено в навчальний процес нову дисципліну - «Основи автоматизації проєктування автомобільних доріг» (зараз «Комп'ютерні технології в транспортному будівництві»).

Накопичений досвід спонукає сучасних науковців продовжувати розвивати напрямки комп'ютерного проєктування автомобільних доріг українськими вченими та фірмами, щоб замінити практику використання іноземних програмних засобів. Для цього має бути сформований вітчизняний Замовник, патріотично налаштований на підтримку вітчизняного виробника.

Перелік посилань

1. https://uacomputing.com/stories/mesm/
2. https://uk.wikipedia.org/wiki/
3. https://komplogika.jimdofree.com/
4. Хом'як Я.В., Поліщук В.П., Вальчук Л.Ф., Зиміна І.М., Тищенко-Тишковець Л.К.. Автоматизація проєктування автомобільних доріг. Київ. Вища школа. 1987. 192 с.
5. Хом'як Я.В. Проєктування мереж автомобільних доріг. М: Транспорт,1983.- 206 с.
6. Хом'як Я.В. До питання про оптимальне управління системою «Дорожні умови-транспортні потоки». // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. ХУІ, Київ. Будівельник, 1975. С.46 - 50.
7. Гамеляк І.П., Павлюк Д.О, Хом'як А.Я. Історія кафедри системного проєктування об'єктів транспортної інфраструктури та геодезії. Частина 1. Основні етапи розвитку кафедри. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 116. Частина 1. Київ. НТУ. 2024. С.35 – 50.
8. Поліщук В.П. Проєктування автоматизованих систем управління рухом на автомобільних дорогах. Навчальний посібник, К.:КАДІ, 1983. 94 с.
9. Богатих В.М., Мансуров А.М., Попов В.М.. Технічні прилади для навчання. Довідник. К.: Вища школа, 1985. 303 с.
10. Хавкін В.А., Поліщук В.П., Вальчук Л.Ф., Шабаліна Т.Л., Тищенко-Тишковець Л.К., Зиміна І.М., Методичні вказівки до рпктичних занять до курсу "Основи автоматизації проєктування автомобільних доріг. Київ. КАДІ. 1975. 62 с.

ON THE DEVELOPMENT OF COMPUTER-AID ROAD DESIGN

Gameliak Igor Pavlovich, Doctor of Engineering Sciences, professor, Head of department «System design of transport infrastructure objects and geodesy», National Transport University, e-mail: gip65@gmail.com, +380503524124, https://orcid.org/0000-0001-9246-7561

Khomiak Anna Yaroslavivna., PhD (Candidate of Technical Science) , Associate Professor, Associate Professor of the department of system design of transport infrastructure objects and geodesy, National Transport University, Kyiv, Ukraine, akhomjak@gmail.com, +380673990164, https://orcid.org/0000-0002-2483-8153

Abstract. The Department of Road Design of KADI (now the Department of System Design of Transport Infrastructure Objects and Geodesy) has a priority in the introduction of electronic computers for road design. A new scientific direction was created - automation of design work (system computer-aided design). Using the accumulated experience in design automation, a new discipline was developed and introduced into the educational process for the specialty "Highways" - "Fundamentals of Automation of Highway Design" (now "Computer Technologies in Transport Construction").

The stages of creation and development of automated road design at the Department of Road Design of the Kyiv Automobile and Highway Institute in the 70s and 80s of the last century are analyzed, which are the basis for the successful further development of this area at NTU.

Keywords: computer technology, computer-aided design, highways, longitudinal profile, highway design software

Referents

1. https://uacomputing.com/stories/mesm/
2. https://uk.wikipedia.org/wiki/
3. https://komplogika.jimdofree.com/
4. Khomiak Ya.V., Polishchuk V.P., Valchuk L.F., Zymina I.M., Tyshchenko-Tyshkovets L.K.. Avtomatyzatsiia proiektuvannia avtomobilnykh dorih. Kyiv. Vyshcha shkola. 1987. 192 s.
5. Khomiak Ya.V. Proiektuvannia merezh avtomobilnykh dorih. M: Transport,1983. 206 s.
6. Khomiak Ya.V. Do pytannia pro optymalne upravlinnia systemoiu «Dorozhni umovy-transportni potoky». // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. Vyp. KhUI, Kyiv. Budivelnyk, 1975. S.46 - 50.
7. Hameliak I.P., Pavliuk D.O, Khomiak A.Ia. Istoriia kafedry systemnoho proiektuvannia obiektiv transportnoi infrastruktury ta heodezii. Chastyna 1. Osnovni etapy rozvytku kafedry. // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. Vyp. 116. Chastyna 1. Kyiv. NTU. 2024. S.35 – 50.
8. Polishchuk V.P. Proiektuvannia avtomatyzovanykh system upravlinnia rukhom na avtomobilnykh dorohakh. Navchalnyi posibnyk, K.:KADI, 1983. 94 s.
9. Bohatykh V.M., Mansurov A.M., Popov V.M.. Tekhnichni prylady dlia navchannia. Dovidnyk. K.: Vyshcha shkola, 1985. 303 s.
10. Khavkin V.A., Polishchuk V.P., Valchuk L.F., Shabalina T.L., Tyshchenko-Tyshkovets L.K., Zymina I.M., Metodychni vkazivky do rpktychnykh zaniat do kursu “Osnovy avtomatyzatsii proiektuvannia avtomobilnykh dorih. Kyiv. KADI. 1975. 62 s.

УДК 378+355.233.2:62 **DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-024-035**
UDC 378+355.233.2:62

МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПІДГОТОВКИ ТЕХНІЧНИХ ФАХІВЦІВ В СКОРОЧЕНІ ТЕРМІНИ В УМОВАХ ОСОБЛИВОГО ПЕРІОДУ

METHODOLOGICAL APPROACH TO INTENSIFYING THE TRAINING OF TECHNICAL SPECIALISTS IN A SHORT TERM IN THE CONDITIONS OF A SPECIAL PERIOD



***Грищук Олександр Казимирович*,** Заслужений працівник освіти України, *кандидат технічних наук, професор, ректор Національного транспортного університету, e- mail: gryshchuk@ntu.edu.ua, тел., +380442802014, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 330*

https://orcid.org/0000-0003-2993-5566



***Гандзюк Анатолій Петрович*,** *кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний університет оборони України, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу інституту логістики та підтримки військ (сил), e-mail: HAP270556@gmail.com, тел.:+380962280550, Україна, 03049, м. Київ, проспект Повітряних Сил, 28*

https://orcid.org/0009-0003-5413-7862



***Горбачова Яна Сергіївна*,** *доктор філософії, Національний університет оборони України, заступник начальника науково-дослідного відділу інституту логістики та підтримки військ (сил), e-mail: 2016drug@gmail.com, тел.:+380982365577, Україна, 03049, м. Київ, проспект Повітряних Сил, 28*

https://orcid.org/0000-0002-1652-2941

Анотація: У статті автори на основі аналізу кваліфікаційних вимог і програм підготовки фахівців для технічної галузі у вищих навчальних закладах, керуючись вимогами до кваліфікаційних характеристик, з урахуванням досвіду з інтенсифікації навчального процесу розробили методологічний підхід до підготовки фахівців в обґрунтовано скорочені терміни за умов воєнного стану в країні, пандемії та інших форс-мажорних ситуацій.

Необхідність в інтенсифікації процесу вивчення технічний дисциплін в умовах особливого періоду в країні полягає в прискореній підготовці фахівців технічного профілю, в основному з будови, експлуатації, ремонту зразків техніки, що залучатиметься для усунення негативних наслідків (руйнувань об'єктів інфраструктури). Це потребує швидкого комплектування фахівцями заново створюваних структур, задіяних на ліквідації негативних наслідків війни та збройних конфліктів, та швидкого освоєння новітньої техніки, яка поступатиме від країн-партнерів т.

Застосування методологічного підходу до підготовки фахівців технічного профілю, який пропонується авторами, в навчальних військових закладах різних рівнів військової освіти та в

цивільних вищих навчальних закладах забезпечить обґрунтоване скорочення термінів навчання фахівців відповідно до кваліфікаційних вимог “Замовника”. Зазначене вище стосується вивчення і освоєння як вітчизняних зразків військово-інженерного обладнання та техніки, так і зразків, що поставляються країнами - партнерами за програмою міжнародної технічної допомоги та співпраці з іноземними підприємствами.

Ключові слова: промислове обладнання, техніка, міжнародна технічна допомога, кваліфікаційні вимоги, рівні освіти, колоквіум, комплексне заняття, екстерн, форс-мажорна ситуація, озброєння і військова техніка, воєнний стан, особливий період.

Вступ. Характерною ознакою 21-го століття є, на жаль, наявність більше 60-ти військово-політичних конфліктів на різних континентах світу. Причинами виникнення таких конфліктів є посягання на територіальну цілісність суміжних держав з метою заволодіння природними ресурсами, які є вичерпними. Окрім конфліктів виникають ситуації, пов’язані з природними катаклізмами і техногенними катастрофами, епідемії світових масштабів, які наносять суттєву шкоду як природі, так і економікам країн. Для усунення наслідків зазначених подій керівництву потерпілих країн доводиться вводити надзвичайний стан функціонування суспільства в усіх сферах життєдіяльності. Такий стан прийнято називати особливим.

У нашій країні введений особливий стан у зв’язку з розв’язаною військовою агресією рф прийнято називати “воєнним станом”. Для протистояння розв’язаній військовій агресії рф, керівництвом нашої держави прийняті оперативно-стратегічні рішення по супротиву, що передбачають оперативну мобілізацію матеріально-технічних та людських ресурсів з метою забезпечення боєздатності підрозділів ЗС України. Відповідні постанови Кабінету Міністрів України (КМ України) відповідно до вимог військового стану [1–3] мають забезпечувати переорієнтацію до потреб ЗС України більшості галузей економіки країни. У галузі професійної військової освіти важливою має бути оптимізація об’єму навчальних програм з метою скорочення термінів навчання мобілізаційного людського ресурсу у вищих військових навчальних закладах та військових кафедрах цивільних вищих навчальних закладів для забезпечення оперативного комплектування штатів тактичної ланки підрозділів, що виконують бойові завдання, а також для комплектування заново сформованих підрозділів.

Вищезазначені заходи державного управління в особливий період воєнного стану в країні визначили напрями функціонування та першочергові завдання державних установ, підприємств, організацій, які в свою чергу мають спланувати та організувати діяльність відповідно до вимог законодавчих актів державного управління країною в цілому.

У частині освітньої галузі, в контексті вищезазначених прийнятих управлінських рішень, передбачається перехід від класичних освітніх програм мирного часу з підготовки фахівців військової справи до новітніх програм, реалізація яких передбачає підготовку фахівців в обґрунтовано скорочені терміни навчання у військових навчальних закладах різного рівня освіти. Дана вимога передбачає оперативну переробку та оптимізацію навчальних програм з узагальненням кваліфікаційних вимог, тематики і змісту занять без зниження водночас рівня фаховості підготовленого персоналу. Складність такої роботи полягає ще й в тому, що необхідно враховувати у навчальних програмах особливості конструкції та умови застосування зразків техніки, що поставляються країнами-партнерами за програмою міжнародної технічної допомоги (МТД). Особливості конструкції техніки іноземного походження полягають у застосуванні в їх конструкції сучасних “мехатронних” систем приводу і управління вузлами і механізмами, використання в системах керування блоків “штучного інтелекту” з контролю основних параметрів технічного стану зразків техніки. В процесі постачання такої техніки, необхідно передбачати в комплекті зразка наявність спеціальних діагностичних пристроїв і сканерів для зняття інформації по поточним експлуатаційним параметрам, а, в подальшому, розшифровка цієї інформації на комп’ютері для визначення порівняльних значень експлуатаційних параметрів, що характеризують технічний стан конкретної складової частини та зразка техніки в цілому. Така ситуація

вимагає наявності підготовлених фахівців-ремонтників з профілю технічної діагностики конструктивно складних систем і механізмів та об'єктивного і швидкого визначення об'єму відновлювальних робіт і необхідного матеріального ресурсу для ремонту техніки.

Аналіз результатів досліджень і публікацій. На сьогоднішній день відсутні результати публічних досліджень з підготовки фахівців технічного профілю в особливий період, наприклад, в умовах воєнного стану. Окремі дослідження проводились цивільними навчальними закладами по скороченню термінів навчання обдарованої молоді [4]. У оборонному секторі мали місце наукові дослідження в області розвитку науково-дослідницьких компетентностей у майбутніх офіцерів. Ці дослідження не стосувались питання інтенсифікації навчального процесу у галузі технічних наук [5]. Вивчаючи міжнародний досвід практичної підготовки обдарованої молоді, Міністерство освіти України було підготовлено Постанову № 340 від 08.12.1995 року "Положення про організацію екстерну у вищих навчальних закладах України". Тільки на основі прийнятої доктрини з вивчення та впровадження військового досвіду після першого року бойових дій в структурних підрозділах ЗС України почали створюватися штатні підрозділи та робочі групи з проблематики вивчення та корегування деяких положень в нормативних документах ЗС України і в навчальних програмах військових навчальних закладах. Сформовані підрозділи зі збору інформації з військового досвіду від військових частин займаються її систематизацією з відповідними напрямками застосування військ. У подальшому опрацьована інформація підлягає апробації на науково-технічних конференціях (семінарах, нарадах) як у родах військ, так і в цивільних споріднених за фахом навчальних закладах, результатом роботи яких є обґрунтування рекомендацій по удосконаленню нормативних документів і пропозицій по доопрацюванню навчальних програм у навчальних закладах Міністерства освіти і науки України (МОН).

Очевидно, що успіх у сучасних бойових діях залежить як від підготовки і тактики їх ведення, так і рівня професійної підготовки особового складу за фахом та технічного стану зразків техніки. Сучасні зразки техніки, особливо ті, які постачаються за програмою МТД країнами-партнерами, мають більш складну конструкцію та способи їх застосування у порівнянні з існуючими вітчизняними аналогами.

Важливо у даному процесі досліджень враховувати військовий досвід та мати розуміння того, що сучасна військова техніка – це мехатронна система і надійність її функціонування за призначенням залежить як від технічного стану машини, так і від рівня фахової підготовки персоналу, який нею керує, обслуговує та відновлює.

Таким чином, усвідомлюючи складність процесу підготовки фахівців, особливо в періоди форс-мажорних ситуацій в країні, необхідно приділяти значну увагу фаховій підготовці технічного персоналу в системі "машина-людина" в обґрунтовано скорочені терміни навчання.

Мета дослідження полягає в розробці методологічного підходу до процесу навчання фахівців з експлуатації техніки у скорочені терміни в умовах форс-мажорного стану в країні.

Основна частина. У 60 – 70 роки минулого століття в нашій країні був період активної відбудови народного господарства, особливо розвитку промислових підприємств у галузі машинобудування, що потребувало необхідної кількості виробничого, особливо інженерно-технічного персоналу. Для вирішення цієї проблеми створювались галузеві і відомчі навчальні заклади, а саме: професійно-технічні училища, технікуми, інститути та університети. З метою збільшення кількості персоналу, що навчається у вищих військових закладах запроваджувалась, окрім денної форми навчання, заочна та вечірня для студентів, зайнятих у трудовій діяльності на промислових підприємствах. Характерною особливістю вищих технічних навчальних закладів була практика інтенсифікації методів проведення занять, особливо для вечірньої форми навчання адже об'єм навчальних програм з дисциплін професійної підготовки був однаковий з об'ємом програм денної форми навчання. Як метод інтенсифікації навчального процесу часто застосовувався метод проведення колоквіумів наприклад для отримання комплексних занять зі споріднених дисциплін. Методика такого підходу до організації проведення заняття преявляла собою наступну послідовність:

– проведення базової лекції двома-трьома викладачами зі споріднених базових технічних дисциплін методом конференції;

– проведення групових занять двома викладачами зі споріднених прикладних технічних дисциплін методом розповіді-бесіди;

– проведення комплексного практичного заняття з залученням з окремих навчальних питань студентів, які мають відповідні знання і практичний досвід роботи на підприємстві;

– заключний семінар з теми колоквіуму (комплексного заняття);

– залік з оцінкою, або написання реферату (контрольної роботи).

Подібна практика з інтенсифікації навчального процесу частково мала місце у вищих військових училищах на початку 80-х років, коли на озброєння Збройних сил поступила новітня військова техніка. Це передбачало більш тривалий строк вивчення техніки з причини складності її конструкції, а строк навчання згідно навчальних програм залишався сталим, тобто не збільшувався в часі. Тому, єдиним виходом з такої ситуації було відповідне зменшення обсягу навчальних програм базових загальноосвітніх і прикладних технічних дисциплін, що в кінцевому результаті негативно впливало на якість отриманих знань персоналом, який навчався, а значить і на рівень фаховості.

У мирний час реалізація навчальних програм передбачає проведення основних класичних форм занять з персоналом, що навчається, таких як: лекції, лабораторні, практичні заняття, семінари відповідно до структурно-логічної схеми вивчення дисципліни з метою досягнення відповідності кваліфікаційним вимогам та компетентностям майбутніх фахівців військової справи. Такий підхід до організації навчального процесу триває від чотирьох до п’яти років, залежно від освітнього рівня навчального закладу.

У період особливого стану в країні (воєнного стану) надважливим є завдання підготовки фахівців, насамперед військово-інженерного спрямування, в скорочені строки навчання з метою своєчасного навчання мобілізаційного людського ресурсу для підрозділів ЗС України. Актуальність підготовки саме технічного персоналу полягає в тому, що у сучасних військових обставинах активно модернізуються старі зразки озброєння і військової техніки (ОВТ), розробляються нові перспективні зразки ОВТ, що в свою чергу потребує відповідного технічного супроводу під час їх експлуатації за призначенням. Підготовка такого персоналу має відбуватись як у відомчих навчальних закладах, так і в цивільних. Для виконання поставленого завдання необхідно, по-перше: визначитись “Замовнику” з основними кваліфікаційними вимогами, об’єднавши їх в групи за фаховим напрямком; по-друге: привести у відповідність до об’єднаної кваліфікаційної вимоги теми занять за навчальною програмою, форми і методи їх проведення; по-третє: визначити способи інтенсифікації проведення занять; по-четверте: розробити більш об’єктивний метод оцінювання набутих компетентностей персоналу, який навчається що дозволить в подальшому раціонально розподіляти фахівців на посади відповідно до рівня їх освіченості і результатів атестації по закінченню навчання.

У якості прикладу наведено структурно-логічну схему проведення комплексного заняття у формі колоквіуму (рис. 1) під час вивчення конструкції двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) базового шасі або конструктивно нескладного зразка техніки, наприклад переносної електростанції потужністю до 6 кВт.

Види занять та послідовність їх проведення методом колоквіума представлені на рис. 2.

Основною метою такого підходу до проведення занять з технічних дисциплін є забезпечення безперервного причинно-наслідкового зв’язку в процесі вивчення теоретичних дисциплін та набуття відповідних компетентностей.

У період військового стану в країні був би логічним підхід до організації всього навчального процесу вивчення з технічних дисциплін з заміною екзамену визначенням середнього балу за оцінками, отриманими під час проведення занять методом колоквіуму, що також сприятиме скороченню терміну навчання.



Рисунок 1 – Структурно-логічна схема навчального плану колоквіума (комплексного заняття), відповідно кваліфікаційних вимог до спеціаліста у галузі технічних наук.
Figure 1 – Structural and logical diagram of the curriculum of the colloquium (complex lesson), in accordance with the qualification requirements for a specialist in the field of technical sciences.

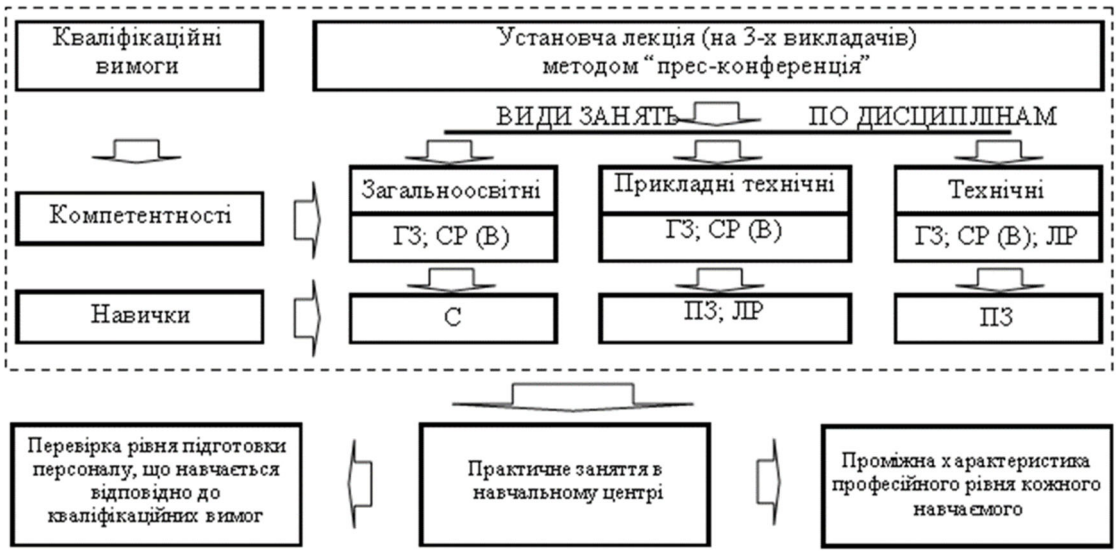


Рисунок 2 – Структура плану проведення занять методом колоквіума
(ГЗ – групове заняття, СР – самостійна робота під керівництвом викладача, ПЗ практичне заняття, ЛР – лабораторна робота, С – семінар).
Figure 2 – Structure of the plan for conducting classes using the colloquium method
(GZ – group class, SR – independent work under the guidance of a teacher, PZ – practical class, LR – laboratory work, S – seminar).

В основному, це класична схема вивчення технічних дисциплін, але характерною особливістю є комплексне оцінювання знань і здобутих практичних навичок, що являє собою загальну оцінку по 12-ти бальній шкалі. Комплексне оцінювання дає об'єктивну характеристику фаховості на основі отриманих знань особи, що навчається. Такий підхід до оцінювання дозволяє по завершенню навчального періоду отримати не тільки оцінки, як дискретні величини, але й опис спроможностей конкретної особи, як майбутнього фахівця в напрямі вибору та застосування за призначенням відповідного зразка техніки. Для отримання бажаної ефективності такого способу вивчення навчальної дисципліни, необхідно приділити особливу увагу на рівень підготовки викладачів, методичного і технічного забезпечення заняття та дотримання принципової схеми підготовки і проведення безпосередньо самого заняття (рис. 3).

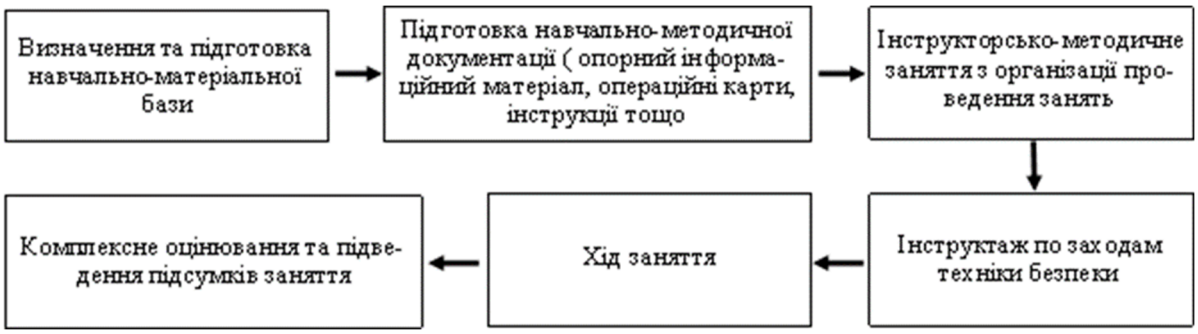


Рисунок 3 – Організація проведення комплексного заняття.
Figure 3 – Organization of a comprehensive lesson.

Для більш об'єктивного оцінювання отриманих компетентностей і навичок осіб, що навчаються, необхідно перейти на 12-ти бальну шкалу оцінювання знань, яка знімає внутрішню психологічну напруженість осіб, що навчаються і дозволяє визначити межі довірчого коридору, який характеризує задовільний рівень підготовки при попаданні в нього дискретних величин оцінок знань і навичок за 12-ти бальною шкалою.

Оцінка знань осіб, що навчаються за 5-ти бальною шкалою малооб'єктивна, тому що відсутня чітка межа між рівнями набуття знань і навичок. Окрім цього існує психологічний тиск на тих хто навчається, коли відчувається необ'єктивність з боку викладача і невдоволення осіб, що навчаються за отриманий бал. Така ситуація набула загострення після орієнтацій освітньої галузі на міжнародні стандарти. Так, школи перейшли на 12-ти бальну шкалу оцінювання знань [4]. Зміст 12-ти бальної шкали передбачає оцінювання знань за рівнями підготовки осіб, що навчаються, за наступними характеристиками:

1 рівень – початковий – (1-3 бали). Відповідь того, хто навчається елементарна, фрагментальна, зумовлюється початковими уявленнями про предмет вивчення.

2 рівень – середній – (4-6 балів). Учень відтворює основний навчальний матеріал, здатний розв'язувати завдання за зразком, володіє елементарними уміннями навчальної діяльності.

3 рівень – достатній – (7-9 балів). Учень знає істотні ознаки понять, явищ, закономірностей, володіє аналізом, абстрагуванням, узагальненням тощо. Вміє робити висновки та виправляти допущені помилки. Відповідь повна, правильна, логічна, обґрунтована.

4 рівень – високий – (10-12 балів). Знання учня є глибокими, стійкими, узагальненими, системними. Застосування знань учня мають дослідницький характер.

Аналогічні рівні оцінювання можуть бути застосовані під час підготовки фахівців технічного профілю з експлуатації та відновленню техніки.

У подальшому, під час вивчення окремої дисципліни отримується статистичний набір даних оцінювання знань з тем занять і опрацьовується, наприклад методом найменших квадратів для отримання закономірності, яка характеризує динаміку рівня освіченості осіб, що навчаються (рис.4) протягом всього терміну навчання. Застосування методу найменших квадратів дає змогу отримати прогноз підготовленості осіб, що навчаються на нетривалий відрізок часу, якщо немає фізичної змоги продовжувати навчальний процес.

Тобто, якщо оцінюються навички і знання конкретної особи по кожній темі занять з конкретної дисципліни за 12-ти бальною шкалою, то при закінченні вивчення дисципліни отримується поле стохастичних параметрів у вигляді величин балів, які в подальшому обробляються запропонованим методом найменших квадратів. У результаті, отримуємо апроксимаційну криву (закономірність), яка пролягає в i -му інтервалі балів 12-ти бальної шкали, що відповідають рівню оцінювання набутих компетентностей особи, яка навчається. Набір таких закономірностей, що можливо, розташовуватимуться в різних інтервалах оцінювання за 12-ти бальною шкалою, становитиме підґрунтя для визначення рівня набуття компетентностей по i -тим дисциплінам, а при кінцевій атестації особи-випускника – рекомендувати призначення його на посаду (спеціальність), яка за своїм змістом відповідає набутим компетентностям у найвищому (4-му) рівні оціночних балів 12-ти бальної шкали.

Важливою умовою методологічного підходу до навчання, що пропонується, є чітке дотримання структури планування проведення занять по схемі (рис. 2) реалізація якої забезпечує якісну підготовку осіб, що навчаються в скорочені терміни.

Розглянемо запропонований методологічний підхід на прикладі підготовки фахівців з технічної спеціальності, якість підготовки яких в значній мірі залежить від отриманих раніше знань по базових загальноосвітніх дисциплінах, що визначають професійну орієнтацію майбутнього фахівця.

Фахівці технічної спеціальності – це, в основному, спеціалісти з ремонту та відновленню зразків техніки. Складність конструкцій і робочих процесів в складових частинах сучасної військової техніки передбачає наявність теоретичних знань у технічних фахівців з ОВТ по суті фізико-хімічних і фізико-механічних процесів, які характерні під час експлуатації i-того зразка техніки. Такі знання є основою, особливо, для спеціаліста ремонтника під час діагностування технічного стану техніки та визначення способу і технології її відновлення.

Під час вивчення предмету, об’єм якого складається з певної кількості тем занять, а кожна тема з різних видів занять, можна отримати кількість балів оцінювання знань за 12-ти бальною шкалою, які за своїми діалектичними особливостясм процесу навчання будуть мати лінійний функціональний зв'язок (лінія регресії), яка представляється рівнянням прямої лінії в площині декартових координат [5]:

$$y = b_0 + b_1 x \ , \tag{1}$$

де y – бали шкали оцінювання;

x – кількість тем занять.

Коефіцієнти регресії b_0 і b_1 визначатимуться за формулами [6]:

$$b_0 = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum xy \sum x}{n\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2} \ , \tag{2}$$

$$b_1 = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2} \ , \tag{3}$$

де n – кількість тем занять з дисципліни.

Для зручності і наочності дані змінних величин в процесі обчислення коефіцієнтів регресії b_0, b_1 і b_2 заносяться в таблицю 1.

Таблиця 1

Вихідні дані для обчислення коефіцієнтів регресії

№ з/п	x	y	x^2	y^2	xy	$x+y$	$(x+y)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
…							
n							

Геометрична сутність коефіцієнтів регресії $в_0$ і $в_1$ полягає в визначенні кута напрямку лінії регресії до горизонтальної осі, на якій відкладена кількість тем занять. Це дає ймовірну змогу прогнозування оціночних балів при оцінюванні компетентностей в разі самостійного вивчення.

Але в реальних умовах навчального процесу є фактори, які мають стохастичний характер впливу на якість отриманих компетентностей, подібно на отримані бали оцінювання. До таких факторів відносяться: наряди, захворювання, психічний розлад та інше. Тому більш кориснішою буде стохастична (нелінійна) закономірність регресії набуття компетентностей з визначенням межі довірчого інтервалу закономірності оцінювання з дисперсійним інтервалом відхилення, яка буде мати криволінійну форму, (рис.4), що описується формулою [5].

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 \ , \tag{4}$$

Примітка:

$T_з\left(t^i\right)$ – теми занять з t_i -ої дисципліни $M\left(ф\right)$ оцінки за заняття теми $T_з$;

$P^{Ф}_{інт}$ – оцінювальні бали;

$M^i(ф)$ – регресивна закономірність, що характеризує рівень знань при вивченні i -тої дисципліни;

$D^i\left(y\right)$ – дисперсія регресійної закономірності;

t_i – тривалість проведення заняття;

8-12 – межі довірчого коридору, що характеризують рівень фаховості відповідно до кваліфікаційних вимог.

На рисунку 4 по осі ординат визначений довірчий інтервал (8-12) ймовірної оцінки за темою занять, межі якого мають відповідати основним вимогам кваліфікаційних характеристик програми навчання майбутніх фахівців.

Зміст кваліфікаційних характеристик на підготовленого фахівця відповідатиме повністю 4-му рівню і частково 3-му, як загальноосвітньої школи, тобто майбутній фахівець має мати глибокі, стійкі, узагальнені і системні компетентності та вміти застосовувати їх на практиці, робити висновки (при діагностуванні технічного стану зразків техніки, визначенню технологічного процесу відновлення та виправляти допущені помилки в процесі технічного контролю стану відновлюваного зразка техніки).

Застосування дисперсії $D\left(y\right)$ сприятиме визначенню більш широкого довірчого інтервалу врахування випадкових чинників, таких як фізична втома, пережитий стрес, погодні умови тощо, на оцінювання якості знань.

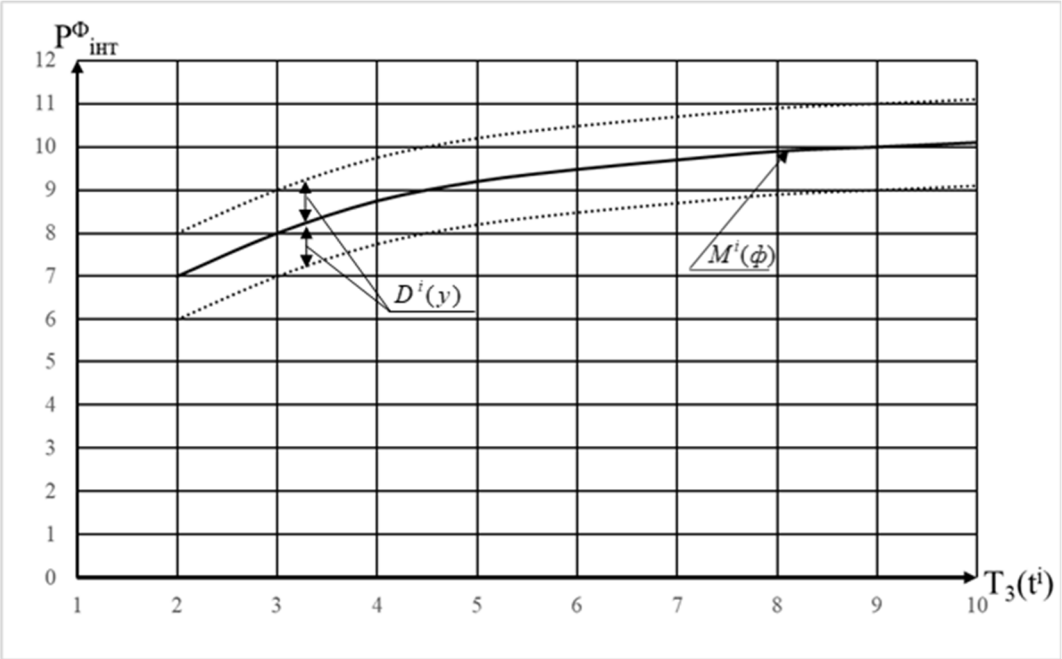


Рисунок 4 – Комплексна оцінка фаховості спеціаліста.
Figure 4 – Comprehensive assessment of a specialist's expertise.

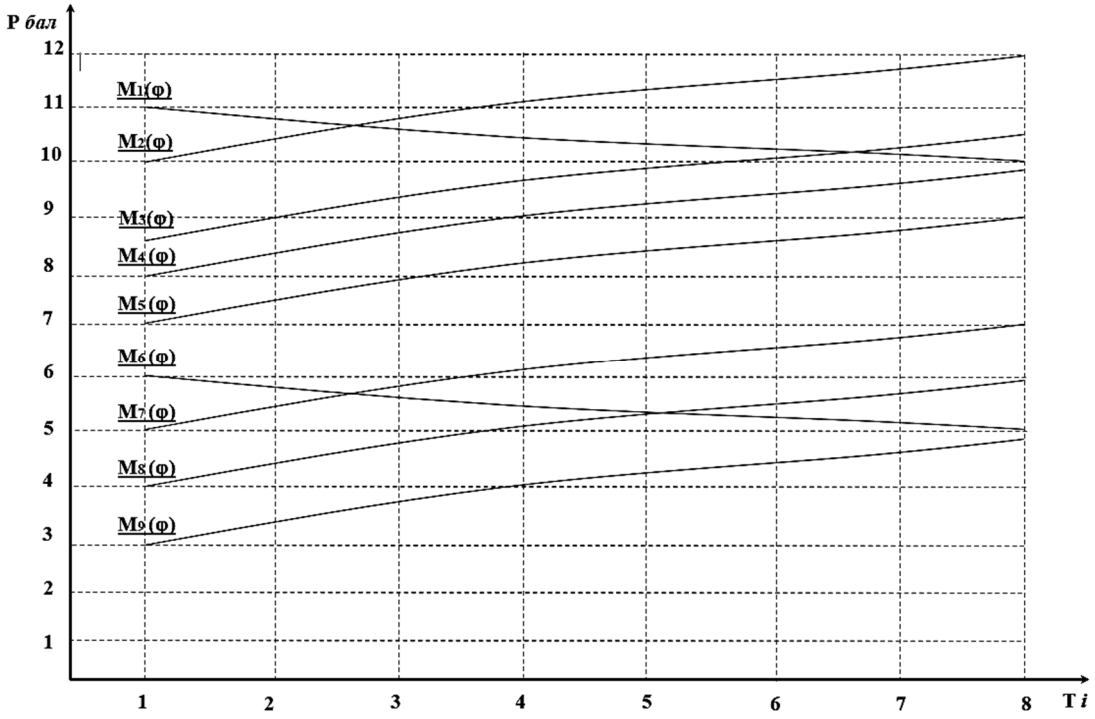


Рисунок 5 – Апроксимаційні характеристики результатів вивчення дисципліни.
Figure 5 – Approximate characteristics of the results of studying the discipline.

Наприклад, в процесі підготовки фахівців з організації ремонту техніки вивчались наступні дисципліни: конструкційні матеріали $M_1(\phi)$, двигуни внутрішнього згорання $M_2(\phi)$, електротехніка $M_3(\phi)$, технічна термодинаміка $M_4(\phi)$, деталі машин $M_5(\phi)$, експлуатація і ремонт машин $M_6(\phi)$, технічне забезпечення бою (операції) $M_7(\phi)$, метрологічне забезпечення експлуатації техніки $M_8(\phi)$, технічний опис та експлуатація техніки $M_9(\phi)$. По кожній темі (T_i) той, хто навчається отримував відповідні оціночні бали за отримані знання або практичні навички, які у подальшому вираховувалися методом найменших квадратів (рис. 4).

Такі дисципліни як конструктивні матеріали, двигуни внутрішнього згорання, технічна термодинаміка, деталі машин, електротехніка формують компетентності так би мовити "технічного інтелекту". Тобто, особа, яка навчається показує хороші знання матеріалу по цих дисциплінах з оціночними балами 4-го рівня (8-12 балів), то така ситуація може бути мотивом для рекомендації по призначенню випускника на посади, які мають місце безпосередньо в виробничо-технологічному процесі відновлення техніки у ремонтних базах, підприємствах.

Дисципліни, до яких відносяться експлуатація та ремонт техніки, технічне забезпечення бою (операції), метрологічне забезпечення експлуатації техніки, технічний опис та експлуатація зразків техніки, формують у тих, хто навчається компетентності більш організаційно-технічної орієнтації. Тоді, якщо той, хто навчається отримує оціночні бали 4-го рівня (8-12 балів) з цих дисциплін, то це може бути мотивом для рекомендації по призначенню випускника на адміністративно-управлінські посади в ремонтні бази, підприємства.

Довірчі коридори з дисперсії $D^n(y)$ для математичних очікувань $M^n(\phi)$ дають змогу прийняти рішення для формування висновку, за умови, що апроксимаційна залежність частково знаходиться у різних службових рівнях оцінювання за 12-ти бальною шкалою.

Такий методологічний підхід до оцінювання рівня набутих компетентностей слугуватиме більш об'єктивному і раціональному, з точки зору ефективності, функціонування випускника на запропонованій посаді.

Даний показник об'єктивно підтвердить аргументацію висновку щодо рівня освіченості здобувача освіти і її подальшого обґрунтованого призначення на відповідну посаду за фахом, наприклад, в ремонтний орган або орган управління, у навчальний заклад або в контролюючий орган.

Розглянутий вище приклад оцінювання компетентностей і навичок відноситься до вивчення технічних дисциплін у вищих навчальних закладах, але принципіальний підхід до розглянутої методики оцінювання та підготовки і проведення занять з технічної підготовки може і має застосовуватися у навчальних закладах різних рівнів освіти з метою скорочення термінів навчання та забезпечення рівня фаховості спеціалістів для технічної галузі.

Висновки та рекомендації

1. Запропонована методологія з інтенсифікації навчального процесу сприятиме скороченню строків навчання здобувачів освіти і більш об'єктивному розподілу випускників на посади відповідно до рівня фаховості після закінчення ними навчального закладу.

2. Враховуючи непередбачуваність розвитку політичних ситуацій у сучасному світі, а також виникнення широкомасштабних форс-мажорних ситуацій (природні катаклізми, епідемії і т. п.), бажано рекомендувати для всіх освітніх рівнів навчальних закладів в країні мати розроблену і затверджену програмну документацію з прискореної підготовки фахівців.

Перелік посилань

1. Про Ставку Верховного головнокомандуючого: Указ Президента України №72/2022 від 24.02.2022 р. // Президент України/ Офіційне інтернет-представництво URL: https://www.president.gov.ua/documents/722022-41421 (дата звернення: 27.03.2025)
2. Деякі питання забезпечення провадження господарської діяльності в умовах воєнного стану: Постанова Кабінету Міністрів України № 314 від 18.03.2022 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/314-2022-%D0%BF#Text (дата звернення: 27.03.2025)
3. Про затвердження Порядку організації та ведення військового обліку призовників, військовозобов'язаних та резервістів: Постанова Кабінету Міністрів України № 1487 від 30.12.22 // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1487-2022-%D0%BF#Text (дата звернення: 27.03.2025)
4. Рудик Я.М. Прискорення навчання обдарованої молоді. Науковий вісник Національного аграрного університету.Київ, 2003. Вип. 67. С. 137-144.
5. Літнарович Р.М. Побудова дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу: навч. посіб. Рівне, 2011. 140 с.

METHODOLOGICAL APPROACH TO INTENSIFYING THE TRAINING OF TECHNICAL SPECIALISTS IN A SHORT TERM IN THE CONDITIONS OF A SPECIAL PERIOD

Gryshchuk Oleksandr Kazymyrovych, Honored Education Worker of Ukraine, Candidate of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of Truism Department, e-mail: gryshchuk@ntu.edu.ua, tel. +380442802014, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 330, https//orcid.org/0000-0003-2993-5566

Handziuk Anatolii Petrovych, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, National Defense University of Ukraine, Leading Researcher of the Research Department of the Institute of Logistics and Support of Troops (Forces),e-mail: HAP270556@gmail.com, tel.:+380962280550, 03049, Ukraine, 03049, Kyiv, prospekt Povitryanykh Syl, 28, https://orcid.org/0009-0003-5413-7862

Horbachova Yana Serhiivna, Doctor of Philosophy, National Defense University of Ukraine, Deputy Head of the Research Department of the Institute of Logistics and Support of Troops (Forces),
e-mail: 2016drug@gmail.com, tel.:+380982365577, 03049, Ukraine, 03049, Kyiv, prospekt Povitryanykh Syl, 28, https://orcid.org/0000-0002-1652-2941

Summary. In this article, the authors, based on an analysis of the content of qualification requirements and training programs for specialists in the technical field in vocational and technical institutions, in higher educational institutions, guided by the requirements for qualification characteristics, and based on an analysis of experience in intensification of the educational process in the field of educational technical disciplines, have developed a methodological approach to training relevant specialists in a reasonably short time for conditions of martial law in the country, a pandemic, and other force majeure situations in the regional dimension.

The need to intensify the educational process in the technical field of sciences in the conditions of a special period in the country consists of: firstly, in the accelerated training of specialists in the technical field, mainly in the construction, operation, and repair of equipment samples that will be involved in eliminating negative consequences (destruction of infrastructure facilities) in a special period; secondly, in the rapid staffing of newly created structures involved in eliminating negative consequences with specialists; thirdly, in the need to quickly master the latest equipment that will come from partner countries and put it into operation.

The application of the methodological approach to training specialists in the technical profile proposed by the authors in military educational institutions of various levels of military education will ensure a reasonable reduction in the terms of training specialists in accordance with the qualification requirements of the "Customer" for the study and development of both domestic samples of industrial equipment and

technology, and samples supplied by partner countries under the program of international technical assistance and cooperation with foreign enterprises.

Keywords: industrial equipment, technology, international technical assistance, qualification requirements, education levels, colloquium, complex lesson, external, force majeure, weapons and military equipment, martial law, special period.

References

1. Pro Stavku Verkhovnoho holovnokomanduyuchoho: decree of the President of Ukraine No. 72/2022 dated 24.02.2022. URL: https://www.president.gov.ua/documents/722022-41421 (Last accessed: 27.03.2025) [in Ukrainian].

2. Deyaki pytannya zabezpechennya provadzhennya hospodars′koyi diyal′nosti v umovakh voyennoho stanu: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 314 of 18.03.2022// Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/314-2022-%D0%BF#Tex (Last accessed: 27.03.2025 [in Ukrainian].

3. Pro zatverdzhennya Poryadku orhanizatsiyi ta vedennya viys′kovoho obliku pryzovnykiv, viys′kovozobov″yazanykh ta rezervistiv: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1487 dated 30.12.22 // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1487-2022-%D0%BF#Text (Last accessed: 27.03.2025 [in Ukrainian]

4. Rudyk Ya.M. Pryskorennya navchannya obdarovanoyi molodi (Acceleration of training of gifted youth): Scientific Bulletin of the National Agrarian University. Kyiv, 2003 Vol. 67. S. 137-144. [in Ukrainian].

5. Litnarovych R.M. Pobudova doslidzhennya matematychnoyi modeli za dzherelamy eksperymentalnykh danykh metodamy rehresiynoho analizu (Construction of a mathematical model study based on experimental data sources using regression analysis methods): Tutorial. Rivne, 2011. 140 s. [in Ukrainian].

УДК 378:37.01
UDC 378:37.01
DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-036-043

SOFT SKILLS DEVELOPMENT IN ESP CLASSES: CRITICAL AND CREATIVE THINKING
РОЗВИТОК СОЦІАЛЬНО-КОМУНІКАТИВНИХ НАВИЧОК НА ЗАНЯТТЯХ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ ПРОФЕСІЙНОГО СПРЯМУВАННЯ: КРИТИЧНЕ І КРЕАТИВНЕ МИСЛЕННЯ



Dubrova Oksana M., *Doctor of Public Administration, Associate Professor, Head of Foreign Languages Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: roksi4791@meta.ua*

https://orcid.org/0000-0002-8150-1215



Harkusha Inna Yu., *Senior Lecturer, Foreign Languages Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: inna.maschinina@gmail.com*

https://orcid.org/0009-0006-9765-3711

Abstract. This article investigates the problem of soft skills development of students in technical higher education institutions, in particular the development of critical and creative thinking in ESP classes. Bloom's taxonomy, which presents the process of thinking formation, is considered. The concepts of critical and creative thinking are analyzed, and the properties of these types of thinking are described. Moreover, the effectiveness of interactive methods for solving the problem of critical and creative thinking development of modern students, who are representatives of technical progress generation, is proven. As a result, the process of the formation of critical and creative thinking in ESP classes with the application of non-standard approaches, forms, methods and teaching techniques, is described.

Key words: soft skills, ESP, critical thinking, creative thinking, interactive methods, online learning, non-standard teaching methods.

Introduction. The modern world appears as a global information space where knowledge and information are of paramount importance. The features of an information society include free access to any information for all individuals, a high level of development of information and communication technologies and well-developed information infrastructure of society. The information society represents a qualitatively new stage in human development, where everyone can receive, process and distribute information using information and communication technologies, while the state ensures a high level of uniformization across all sectors [1].

Life in the information society obliges a person to think critically and creatively and be able to generate new ideas. Today, the success is determined not by how much one knows, but how well one thinks, communicates, works in team, and engages in self-development and self-improvement. As a result, in the

educational process, accents are transferred to the development of soft skills, which are a complex of non-specialized, super-professional skills that have no direct connection to a person's professional abilities, for example, sociability, critical and creative thinking, flexibility of the mind, and stress resistance. “The new content of higher education development should be the creation of conditions for individuals to master previously unknown methods of activity and thinking models; to develop a critical, creative and innovative attitude to reality; and to acquire the ability to promote implement and apply innovations” [2, p. 396].

Objectives. The research objectives are to investigate the problem of soft skills development of students in technical higher education institutions, in particular, development of critical and creative thinking in ESP classes; to analyze the process of shaping human thinking; to consider the concepts of critical thinking and creative thinking; to explore the properties and process of forming specified types of thinking; to study the peculiarities of information perception by modern students, who are representatives of technical generation; to describe the work of formation of critical and creative thinking in ESP classes applying non-standard approaches, forms, methods and teaching techniques.

Background. The processes of thinking formation are described in the works of N. Dychka, O. Pavlenko, L. Anderson, D. Krathwohl. The study of various aspects of critical thinking is conducted by foreign scientists (A. Ghanizadeh, A. Al-Hoorie, S. Jahedizadeh), as well as Ukrainian researches (A.E. Konverskyi, M.I. Kruhliak, S.A. Terno, A.V. Yakovenko and others), who have examined definitions, properties, structure, stages and development of critical thinking. The development of creative thinking skills is explored by J. Guilford, R. Pavliuk, O. Mrykhina and the formation of a creative approach in the educational process is analyzed by A. Sadykova and O. Shelestova. The works of V. Redka, O. Pometun, Yu. Hladun and A. Kozakevych deal with high learning results achieved through interactive teaching methods. Additionally, the characteristics of educational technologies with a student-centered approach are highlighted by O. Piekhota.

Material and Methods. In our work, one of the main tasks in ESP classes at National Transport University is to develop soft skills, namely, the ability of critical and creative thinking.

Thinking skills are considered "basic survival skills" that are necessary for successful achievements in the personal, academic and social spheres of life. It is based on the level of development of thinking skills that students are divided into successful/unsuccessful, active/inactive, competent/incompetent [3, p. 2].

The process of thinking formation is presented in Bloom's taxonomy, which was proposed in 1956 by the American psychologist Benjamin Bloom. Differentiating between lower (LOTS) and higher (HOTS) levels of cognitive skills, Bloom associates such cognitive processes as knowledge, comprehension and application with lower-order thinking skills, and analysis, synthesis and evaluation with higher-order thinking skills [4]. In 2001, Lauryn Anderson introduced an updated version of Bloom's taxonomy, which also contains six levels of cognitive skills, where the first four levels are the same: remembering, understanding, applying, analyzing and the two highest are evaluating and creating [5]. The ability to evaluate is based on critical thinking, while the ability to create is rooted in creative thinking.

In our research, we understand **critical thinking** as a process of processing information, evaluating reality and the thinking process itself through analysis, reasoning, interpretation, deduction, proof and explanation. An important prerequisite for this process is subjecting the information to doubt, and the result is the formation of a new thought or course of action with the presentation of convincing arguments while simultaneously recognizing and accepting other alternatives.

The properties of critical thinking (according to S. Terno) are:

1) high degree of awareness of one’s own cognitive actions – the ability to interpret, classify and systematize knowledge and independently apply it in various situations.
2) independence – the ability to set new tasks and solve them;
3) reflexivity—the ability to reflex one’s own;
4) purposefulness—movement to the goal setting, where actions and thoughts are aligned and adjusted accordingly;
5) evaluation (the key point of critical thinking) consists of analyzing, interpreting and comparing information in order to adjust one’s action;

6) justification – identification of reliability [6, pp. 27-39].

The most important condition for the development of students' critical thinking in ESP classes is the creation of problem situations. The way to critical thinking involves meaningful learning, where information is gathered, selected, organized, and connection is established between existing knowledge and new knowledge to be acquired. In this way, new information is integrated into the existing knowledge. Then the process of acquiring new knowledge engages cognitive processes, which are key to successfully solving problems.

Interactive methods are best suited for the development of critical thinking, as they focus not only on memorization, but on the thoughtful, creative process of exploring the world, identifying problems and finding solutions. The application of interactive methods helps individuals develop the ability to define the problem to be solved, independently find, process and analyze information, structure their thoughts, and present persuasive arguments. At the same time, critical thinking requires flexibility, the ability to determine the most effective solution, openness to different perspectives, and a principled approach to justifying one's own position [7].

Interactive learning is a form of active interaction in which students are engaged in dialogues with their teachers or peers, actively participate in the learning process, and complete creative and problem-solving tasks in pairs or groups (V. Redko). The essence of interactive learning depends on interaction itself, as the learning process takes place through continuous and active engagement among all students (O. Pometun). Interactive learning is described as education "immersed" in communication (Yu. Hladun) and as co-learning, mutual learning, whether in groups or through collaboration (O. Kozakevych) [8, pp. 105-109].

For example, studying a particular topic in ESP classes, the first step involves becoming familiar with the information through reading or listening. This is followed by discussions in pairs or groups (e.g., *How do you understand…? Do you agree/disagree? Why?*). During such discussions, students interpret and analyze received information, exchanging opinions. Quite often, to support or refute the initial information, it is necessary to search for additional sources. Students use online resources, allowing them to explore ideas from multiple perspectives and evaluate both the original concept and its alternatives. This process leads to active research and learning through online resources.

The next stage involves presenting their conclusions, ideas, action, plans or problem-solving methods either orally or in written form. An oral presentation leads to further discussion, students compare their findings and conclusions. At this stage, active listening and openness to alternative viewpoints are crucial. This process fosters active, conscious knowledge acquisition and critical thinking development.

Creative thinking is defined as the cognitive process of the human brain aimed at solving problems in a new (creative), extraordinary way [9, p. 10]. "Creative thinking is a personal competency that enables individuals to engage in generating, evaluating and improving ideas, ultimately leading to original and effective solutions, progress in knowledge and productive expression of imagination" [10]. Creative thinking is the ability to notice the unusual in ordinary things, seek new solutions and connect completely incompatible things. Creative thinking is a non-standard, original type of thinking that can lead to unexpected solutions or new discoveries [11].

The properties of creative thinking (according to J. Guildford) are:

1) the ability to identify and formulate problems;
2) the ability to generate numerous ideas;
3) flexibility – the ability to produce diverse ideas;
4) originality – the ability to create distant associations, provide unusual responses and react to stimuli in a non-standard way;
5) the ability to improve the object by adding details;
6) the ability to analyze and synthesize [12, pp. 312-314].

In our research, we define creative thinking as a non-standard type of thinking based on an individual's creative abilities. It involves the ability to generate numerous ideas with imagination, critically evaluate these ideas, improve and combine them or their components in an unconventional way, ultimately leading to the development of a new, original and effective solution or way of action.

Theorists and practitioners are convinced that creative thinking can be taught. O. Mrykhina emphasizes that "creative thinking originates in the brain and is an essential type of cognitive behavior that we can develop. The brain is like a kind of radar that needs to be tuned to creativity. It is trained to respond to various life challenges with unconventional solutions. The emergence of creativity in the brain is a complex process, but it is fascinating and exiting*"* [9, p. 9]. The researcher considers the potential of creative thinking to include a combination of knowledge, skills, abilities, competencies and intellectual resources that enable an individual to generate effective creative solutions. Among the factors contributing to the successful development of creative thinking potential, O. Mrykhina highlights 1) degree of progressiveness of the environment; 2) competition; 3) high level of personal worldview development; 4) organizational efficiency among others [9, pp. 48-49].

Based on our own experience we can say that for the formation and development of creative thinking of students, it is necessary to use creative and non-standard approaches, forms, methods and teaching techniques.

We focus on student-centered learning, where the students with their interests, values, and goals are in the center of the educational process. According to the Law of Ukraine on Higher Education," student-centered learning is defined as an approach to organizing the educational process providing the promotion of higher education applicants to the role of autonomous and responsible participants of the educational process; It involves creating a learning environment that meets students' needs and interests, including opportunities to shape their individual educational trajectory [13]. The student-centered approach defines applicants of higher education as active participants in their education and places their needs in the center of the educational process [14, pp. 127-130]. Their interests, values, and needs to influence the selection of educational materials, such as texts for reading and listening, vocabulary and discussion topics.

As for the forms of studying, we prefer pair and group work as well as self-study. Working in pairs or groups places students in an active role, where each participant can speak, express their opinions, exchange ideas and discuss them. Advantages of the group work include the ability to receive feedback, support and assistance, as well as the opportunity to work at one's pace according to an individual's abilities. Pair and group work also develops communication skills such as the ability to express opinions, persuade, engage in dialogue and discussion, and define one's viewpoint. Additionally, this approach forms tolerance as students learn to acknowledge and respect the opinion, value sand needs of others [15, p. 21].

An important form of work is self-learning, which develops the ability to learn independently. New information is introduced in small parts, focusing primarily on basic concepts and facts, while details and additional information are explored independently. Students are given the freedom to choose what they need or find interesting, and to determine the depth of their learning. are interested in. This approach encourages autonomy, critical thinking and personalized learning experience.

We actively implement interactive teaching methods and use online resources. Modern students belong to the generation of technological progress, digital technologies and online resources. They rarely read printed texts, cannot imagine life without the internet, and were practically born with social media accounts. They navigate with GPS and seek answers by asking Siri or Google. This generation is characterized by individualism, valuing easy access to information and expecting instant feedback. They respond best to visual learning with YouTube that plays a significant role. It is not just an entertainment platform, but also an educational tool. Students frequently turn to YouTube to see a fact or concept, enhancing their understanding through visual representation. A recent Pearson study found 59% of this generation prefers learning by watching YouTube videos [16].

An excellent result in developing student's critical thinking skills in ESP classes is achieved by applying search-oriented tasks that encourage exploration and discovery of new knowledge, rather than simply familiarizing students with ready-made answers. Additionally, we apply non-standard teaching methods in our work:

1. "Word cloud" technique for studying vocabulary: a visual representation of a list of words and categories on a single shared image, such as drawings, photos, or schematic images.

2. "Scribing" and "Storytelling" techniques for discussing and consolidating read/listened information. Scribing is a method of storytelling or explanation that is accompanied by the simultaneous creation of schematic drawings that visually represents the key points of what is said. Storytelling is a creative form of story. Unlike factual story (retelling, description from memory), which is based on perception, memory, and reproductive imagination, creative storytelling is based on the work of creative imagination. Essential components of such a story must include independently created new images, situations and actions. Students use their acquired experience and knowledge but combine them in new ways.

3. "Mind map" technique for presenting and discussing ideas: an organizational method for information, where facts, thoughts or conclusions are presented in blocks, adding key words, graphics and arrows to show the connection between blocks.

4. "Lap book" – homemade interactive sheets (e.g., A3 format) that vividly present information to the topic being studied. The sheet contains movable parts – sticky notes with words, pictures, diagrams, etc. During explanations or presentations, students can change the order of the information by rearranging the notes.

Conclusions. Modern information society needs a "new personality" – critically thinking and creative one. A modern person should be able to independently acquire information, develop thinking, adequately assess the results of activity, and interact constructively with others.

The learning process begins with familiarization, memorization, comprehension and application of low-order thought operations and can progress through analysis, evaluation, creation fostering high-order thought operations. Accordingly, the goal of modern education should not be the accumulation of knowledge but the development of soft skills, particularly high-order thoughts, such as critical, logical creative thinking.

"Critical thinking elevates a person to the level of an individual who cannot be manipulated, who is not afraid to think, evaluate, and compare. Therefore, the development of critical thinking is necessary not only for the individual, but also for social progress [7]. For effective work in forming and developing critical thinking skills, it is essential to understand the features of students—their worldview, interests, goals and cognitive perception. These factors influence the choice of teaching methods, particularly the application of interactive techniques and online resources. Interactive methods facilitate independent knowledge acquisition and expansion through active interaction and dialogue, engaging cognitive processes such as interpretation, analysis, evaluation, inference and explanation, which are components of critical thinking.

Creative thinking is crucial for successful life, competitive business and scientific research, as it enables solving complex problems in the most effective way.

Thinking creatively means making unconventional decisions. Teaching creative thinking is only possible through the application of non-standard approaches, formats, methods and teaching techniques.

References

1. Petrukhno Yu.E. (2014). Informatsiyne suspil′stvo: ponyattya, osnovni skladovi, kharakterystyka (Information society: concept, main components, characteristics) *Visnyk Odes'koho natsional'noho universytetu — Bibliotekoznavstvo, bibliohrafoznavstvo, knyhoznavstvo*, 19, 1. S.127—133 [in Ukrainian]

2. Klimova G. P., Ivanov S. M. & Shevchenko L. S. (Eds.). (2015). *Kontseptual'ni zasady stanovlennya innovatsiynoho suspil'stva v Ukrayini (Conceptual principles of the formation of an innovative society in Ukraine).* Kh.: Pravo [in Ukrainian].

3. Ghanizadeh, A., Al-Hoorie, A. & Jahedizadeh, S. (2020). *Higher Order Thinking Skills in the Language Classroom*: A Concise Guide. Publisher: Springer Nature Switzerland AG. 195 p. [in English].

4. Dychka N. I., Pavlenko O. V. (2017). Taksonomiya B.Bluma v navchanni anhliys′koyi movy profesiynoho spryamuvannya v XXI stolitti (B. Bloom's Taxonomy in Teaching Professional English in the 21st Century) Molodyy vchenyy, 12, 370-373. — Rezhym dostupu: https://kamts1.kpi.ua/sites/default/files/files/dychka-pavlenko_%20taksonomiya(1).pdf (Last accessed: 10.02.2025). [in Ukrainian].

5. Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J., & Wittrock, M. C. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York: Longman, 336 p. [in English].

6. Terno S. (2012). Svit krytychnoho myslennya: obraz ta mimikriya (The world of critical thinking: image and mimicry) *Istoriya v suchasniy shkoli*, 7—8. S. 27—39. [in Ukrainian].

7. Formuvannya krytychnoho myslennya (Formation of critical thinking) *Osvitniy proekt «Na Urok»*. — Retrieved from https://naurok.com.ua/formuvannya-kritichnogo-mislennya-65468.html (Last accessed: 10.02.2025) [in Ukrainian].

8. Dubrova O.M. (2015). Vykorystannya interaktyvnykh metodiv navchannya pid chas vyvchennya hramatyky anhliys'koyi movy (Using interactive teaching methods while studying English grammar) *Naukovi zapysky — Pedahohichni nauky,* 135. S. 105—109. [in Ukrainian].

9. Mrykhina O. (2023). Kurs «Kreatyvne myslennya» (Course "Creative Thinking"), USAID, 136 S. https://decentralization.ua/uploads/library/file/845/%D0%9F%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%9A%D1%80%D0%B5%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B5_%D0%BC%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F.pdf [in Ukrainian]

10. Shumovoyi K., Vakulenko T., Tereshchenko V. (2022). PISA-2021: ramkovyy dokument shchodo otsinyuvannya kreatyvnoho myslennya (chornovyy variant, tretya redaktsiya) [PISA-2021: framework document for assessing creative thinking (draft version, third edition)] *Ukrayins'kyy tsentr otsinyuvannya yakosti osvity.* Kyiv. https://pisa.testportal.gov.ua/wp-content/uploads/2022/05/PISA-2021_ramkovyj-dokument.pdf (Last accessed: 10.02.2025) [in Ukrainian]

11. Kreatyvne myslennya: shcho tse take, chomu vono vazhlyve ta yak yoho rozvyvaty (Creative thinking: what it is, why it is important and how to develop it) *Tsentr profesiynoho rozvytku pedahohichnykh pratsivnykiv Hrebinkivs'koyi mis'koyi rady*. Retrieved from https://grcprpp.gov.ua/news/1682603660/ (Last accessed: 10.02.2025) [in Ukrainian].

12. Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York, NY: McGraw-Hill Book Company, 538 p. [in English].

13. Zakon Ukrainy Pro osvitu: pryiniatyi 05.09.2017, № 2145-VIII [Law of Ukraine On Education from September 5 2017, № 2145-VIII] (2025, January 1). Holos Ukrainy – Voice of Ukraine [in Ukrainian].

14. Shevchuk H.Y. (2023). Studentotsentrovane navchannya v umovakh suchasnykh osvitnikh vyklykiv (Student-centered learning in the context of modern educational challenges) *Innovatsiyna pedahohika*, 2, 63. S. 127—130. [in Ukrainian].

15. Pyekhota O.M., Kiktenko A.Z., Lyubars'ka O.M. (Eds.). (2002). *Osvitni tekhnolohiyi [Educational technologies]* . — K. : ASK [in Ukrainian]

16. Pokolinnya Z: yak yoho vchyty i yak vono bachyt' svoyu osvitu (Generation Z: how to teach it and how it sees its education) *Atmosferna Shkola*. Retrieved from https://www.atschool.com.ua/pokolenye-z-kak-ego-uchyt-y-kak-ono-vydyt-svoyo-obrazovanye-blog-atmosfernoj-shkoly/ (Last accessed: 10.02.2025) [in Ukrainian].

17. Sabada I. V. (2020). Storitelinh – efektyvnyy metod navchannya ta vykhovannya (Storytelling - an effective method of teaching and upbringing) *Proceedings from praktyka roboty suchasnoho vchytelya: innovatsiyni rozrobky ta tradytsiyni metodyky*, 05 trav. 2020 — Vinnytsya, https://genezum.org/library/storiteling--efektyvnyy-metod-navchannya-ta-vyhovannya (Last accessed: 10.02.2025) [in Ukrainian].

РОЗВИТОК СОЦІАЛЬНО-КОМУНІКАТИВНИХ НАВИЧОК НА ЗАНЯТТЯХ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ ПРОФЕСІЙНОГО СПРЯМУВАННЯ: КРИТИЧНЕ І КРЕАТИВНЕ МИСЛЕННЯ

Дуброва Оксана Миколаївна, *доктор наук з державного управління, доцент, завідувачка кафедри іноземних мов Національного транспортного університету, Київ, Україна, e-mail: roksi4791@meta.ua, https://orcid.org/0000-0002-8150-1215*
Гаркуша Інна Юріївна, *старший викладач кафедри іноземних мов Національного транспортного університету, Київ, Україна, e-mail: inna.maschinina@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-9765-3711*

Анотація. У статті досліджується проблема розвитку соціально-комунікативних навичок студентів технічного ЗВО на заняттях англійської мови професійного спрямування, а саме, розвиток критичного та креативного мислення. Розглянуто таксономію Блума, у якій представлено процес формування мислення. Проаналізовано поняття критичне і креативне мислення та описано властивості зазначених типів мислення. Доведено ефективність інтерактивних методів та онлайн навчання для вирішення проблеми розвитку критичного та креативного мислення сучасних студентів – представників покоління технічного прогресу. Описано роботу по формуванню критичного і креативного мислення на заняттях англійської мови професійного спрямування з застосуванням нестандартних підходів, форм, методів та прийомів навчання.

Ключові слова: соціально-комунікативні навички, англійська мова професійного спрямування, критичне мислення, креативне мислення, інтерактивні методи, онлайн навчання, нестандартні прийоми навчання.

Перелік посилань

1. Петрухно Ю.Є. Інформаційне суспільство: поняття, основні складові, характеристика / Ю.Є. Петрухно // Вісник Одеського національного університету. Серія: Бібліотекознавство, бібліографознавство, книгознавство. — 2014. — Т. 19, вип. 1. — С. 127—133.
2. Концептуальні засади становлення інноваційного суспільства в Україні : монографія / кол. авт.: Г. П. Клімова, С. М. Іванов, Л. С. Шевченко та ін. ; за ред. Ю. Є. Атаманової, Г. П. Клімової. — Х. : Право, 2015. — 452 с.
3. Ghanizadeh, A., Al-Hoorie, A. & Jahedizadeh, S. (2020). Higher Order Thinking Skills in the Language Classroom: A Concise Guide. Publisher: Springer Nature Switzerland AG. P. 195.
4. Таксономія Б. Блума в навчанні англійської мови професійного спрямування в XXI столітті / Н. І. Дичка, О. В. Павленко // Молодий вчений. — 2017. — № 12. — С. 370-373. — Режим доступу: https://kamts1.kpi.ua/sites/default/files/files/dychka-pavlenko_%20taksonomiya(1).pdf (дата звернення 10.02.2025).
5. Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J., & Wittrock, M. C. (2001). A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. New York: Longman. P. 336
6. Терно С. Світ критичного мислення: образ та мімікрія / С. Терно // Історія в сучасній школі. — 2012. — № 7—8. — С. 27—39.
7. Формування критичного мислення [Електронний ресурс] // Освітній проект «На Урок». — Режим доступу: https://naurok.com.ua/formuvannya-kritichnogo-mislennya-65468.html (дата звернення: 10.02.2025). — Назва з екрана.
8. Дуброва О.М. Використання інтерактивних методів навчання під час вивчення граматики англійської мови / О.М. Дуброва // Наукові записки. Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. Серія: Педагогічні науки. — 2015, вип. 135. — С. 105—109.

9. Мрихіна О. Курс «Креативне мислення»: підручник. — USAID, 2023. — 136 с. Режим доступу: https://decentralization.ua/uploads/library/file/845/%D0%9F%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%9A%D1%80%D0%B5%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B5_%D0%BC%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F.pdf

10. PISA-2021: рамковий документ щодо оцінювання креативного мислення (чорновий варіант, третя редакція) / перекл. з англ. К. Шумової ; наукове редагування Т. Вакуленко, В. Терещенко ; переднє слово та додатки А й Б Т. Вакуленко, В. Терещенко. Київ : Український центр оцінювання якості освіти, 2022. 131 с. Режим доступу: https://pisa.testportal.gov.ua/wp-content/uploads/2022/05/PISA-2021_ramkovyj-dokument.pdf (дата звернення 10.02.2025).

11. Креативне мислення: що це таке, чому воно важливе та як його розвивати [Електронний ресурс] // Центр професійного розвитку педагогічних працівників Гребінківської міської ради. — Режим доступу: https://grcprpp.gov.ua/news/1682603660/ (дата звернення: 10.02.2025). — Назва з екрана.

12. Guilford, J. P. (1967). The nature of human intelligence. New York, NY: McGraw-Hill Book Company. P. 538.

13. Про освіту [Електронний ресурс] : Закон України від 05.09.2017. № 2145-VIII. : станом на 01 січ. 2025 р. — Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 (дата звернення: 10.02.2025). — Назва з екрана.

14. Шевчук Г.Й. Студентоцентроване навчання в умовах сучасних освітніх викликів / Г.Й. Шевчук // Інноваційна педагогіка. — 2023. — Т. 2, вип. 63. — С. 127—130.

15. Освітні технології : навч.-метод. посіб. / [Пєхота О.М., Кіктенко А.З., Любарська О.М. та ін.] ; за заг. ред. О. М. Пєхоти. — К. : АСК, 2002. — 255 с

16. Покоління Z: як його вчити і як воно бачить свою освіту [Електронний ресурс] // Атмосферна Школа. — Режим доступу: https://www.atschool.com.ua/pokolenye-z-kak-ego-uchyt-y-kak-ono-vydyt-svoyo-obrazovanye-blog-atmosfernoj-shkoly/ (дата звернення: 10.02.2025). — Назва з екрана.

17. Сабада І. В. Сторітелінг – ефективний метод навчання та виховання / І. В. Сабада // Практика роботи сучасного вчителя: інноваційні розробки та традиційні методики :матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., [Вінниця], 05 трав. 2020 р. — Вінниця, 2020. [Електронний ресурс] . — Режим доступу: https://genezum.org/library/storiteling--efektyvnyy-metod-navchannya-ta-vyhovannya (дата звернення: 10.02.2025). — Назва з екрана.

УДК 620.9
UDC 620.9

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-044-054

ОГЛЯД СУЧАСНИХ АРХІТЕКТУР ДВОНАПРАВЛЕНИХ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ ПУНКТІВ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ОБ'ЄКТАХ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

OVERVIEW OF MODERN ARCHITECTURES OF BIDIRECTIONAL HEATING SUBSTATION IN DISTRICT HEATING SYSTEMS ON TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES



Баранчук Кирило Олексійович, *аспірант кафедри теплотехніки, Національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна. Заступник директора з науково-технічної діяльності, ТОВ з ii "Данфосс ТОВ" e-mail: kyrylo.baranchuk@danfoss.com, тел. +380504125633.*

https://orcid.org/0000-0003-4491-9396



Чечуга Олександр Сергійович, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: chechuga77@gmail.com, тел. +380662019442*

https://orcid.org/0000-0003-1643-6354

Анотація: Сучасні системи централізованого теплопостачання четвертого (4ПЦТ) та централізованого тепло- та холодопостачання п'ятого (5ПЦТХ) поколінь усе ширше інтегрують відновлювані джерела енергії (ВДЕ) та вторинне тепло, водночас змінюючи роль споживачів на активних «теплових просьюмерів», особливо в характерних кластерно розміщенних будівлях і спорудах, зокрема а виробничих агломераціях транспортних господарств. Ключовим елементом такої двосторонньої взаємодії між мережею і будівлею виступає двонаправлений індивідуальний тепловий пункт (2Н-ІТП), що забезпечує як відбір тепла з мережі, так і повернення надлишкової енергії. Стаття присвячена огляду сучасних архітектур 2Н-ІТП у контексті мереж 4ПЦТ та 5ПЦТХ. Метою є проаналізувати типові конфігурації цих теплопунктів, виявити відмінності їх функціонування в умовах низькотемпературних мереж 4-го покоління та ультранизькотемпературних 5-го, а також окреслити технічні, регуляторні й економічні аспекти впровадження.

В огляді розглянуто основні функціональні компоненти 2Н-ІТП. Показано, що в мережах 4ПЦТ 2Н-ІТП дозволяють інтегрувати розподілені локальні джерела тепла за температур подачі ~50–70 °С. Натомість у 5ПЦТХ-системах з нейтральним рівнем температури 10–30 °С кожен теплопункт оснащено реверсивним тепловим насосом, здатним працювати і на опалення, і на охолодження. Це забезпечує динамічний обмін тепловою енергією («heat sharing») між споживачами. Акцентовано увагу на ключових викликах впровадження 2Н-ІТП. Зокрема, розглянуто питання гідравлічної стабільності двосторонніх потоків, необхідності оновлення нормативної бази (стандарти обліку та механізми компенсації за повернуте тепло) і економічних чинників (значні інвестиційні витрати, адаптація тарифних моделей).

Ключові слова: централізоване теплопостачання, двонаправлений індивідуальний тепловий пункт, відновлювані джерела енергії, тепловий просьюмер, тепловий насос, охолодження, низькотемпературне теплопостачання, скидна теплова енергія.

Вступ. Сектор централізованого теплопостачання в сучасних умовах стикається з рядом фундаментальних викликів, серед яких найбільш актуальними є потреба у зменшенні викидів парникових газів, підвищення енергоефективності, а також адаптація до нових джерел енергії та змін у структурі попиту. Традиційні системи, що були орієнтовані на одностороннє постачання тепла від великих котелень або теплоелектроцентралей (ТЕЦ) до споживачів, вже не відповідають новим вимогам сталого розвитку.

Сучасні підходи передбачають перехід до низькотемпературних теплових мереж нового покоління – четвертого (4 покоління ЦТ або 4ПЦТ) та п’ятого (5 покоління централізованого тепло- та холодопостачання або 5ПЦТХ), які здатні інтегрувати значні частки відновлюваних джерел енергії та джерел скидного тепла. Відповідно до цієї парадигми, зростає роль децентралізованих елементів, зокрема кінцевих користувачів, які не лише споживають тепло, але й можуть його генерувати та повертати у мережу. Таких користувачів прийнято називати «тепловими просьюмерами» – аналогічно до поняття у сфері електроенергетики.

Ключовим інфраструктурним елементом для реалізації двосторонньої взаємодії між мережею та споживачем стає двонаправлений індивідуальний тепловий пункт – 2Н-ІТП. На відміну від класичних ІТП, які забезпечують лише прийом теплової енергії від централізованого джерела, 2Н-ІТП дозволяє також передавати надлишкове тепло назад у систему ЦТ. Це відкриває можливості для оптимізації теплового балансу в межах мікрорайонів, зменшення пікового навантаження на базові джерела, підвищення коефіцієнта використання локальних ВДЕ та створення більш гнучкої й стійкої інфраструктури.

Таким чином, 2Н-ІТП виступає не лише вузлом приєднання до мережі, але й активним компонентом інтелектуальної системи теплопостачання, що відіграє важливу роль у трансформації класичних мереж у багатовекторні енергообмінні платформи, характерні для 4ПЦТ та 5ПЦТХ.

Матеріали та методи. Дослідження виконано з використанням методів системного аналізу, структурно-функціонального порівняння та критичного огляду сучасної наукової літератури. Аналіз здійснено на основі технічної документації провідних виробників теплових пунктів, нормативних актів ЄС і України, а також публікацій, присвячених розвитку мереж 4ПЦТ/5ПЦТХ та концепції теплових просьюмерів.

Метою роботи є узагальнення та систематизація сучасних архітектур 2Н-ІТП, що застосовуються в системах централізованого теплопостачання четвертого та п’ятого поколінь. У центрі уваги — аналіз функціональних можливостей таких ІТП щодо забезпечення двостороннього теплообміну між споживачем і тепловою мережею, включно з режимами рекуперації надлишкового тепла, інтеграції ВДЕ та акумуляції теплоти. Дослідження також спрямоване на оцінку потенціалу 2Н-ІТП як ключових елементів декарбонізованих і гнучких тепломереж майбутнього, що здатні адаптуватися до динамічних енергетичних сценаріїв, зменшувати залежність від викопного палива та підвищувати ефективність використання локальних джерел теплової енергії.

Виклад основного матеріалу. У статті систематизовано сучасні архітектурні рішення 2Н-ІТП, деталізовано декілька принципових схем та їх ключові функціональні елементи. Проведено класифікацію за типом джерел тепла (централізоване, відновлюване, скидне) та способами управління потоками енергії. Окрему увагу приділено технічним можливостям 2Н-ІТП щодо реалізації режимів рекуперації надлишкового тепла, акумуляції, інтеграції з низькопотенційними джерелами тепла і тепловими насосами. Розглянуто їх роль у підвищенні гнучкості тепломереж, оптимізації локального теплового балансу та зменшенні вуглецевого сліду.

2. Еволюція теплових мереж від 1ПЦТ до 5ПЦТХ. Концепція «поколінь» теплових мереж відображає поступовий розвиток систем ЦТ — від застарілих технологій з великими втратами до сучасних низькотемпературних і гнучких мереж з активною участю споживачів [1].

1ПЦТ (перше покоління) — ранні системи ЦТ з подачею пари при температурі до 200 °С. Теплоносій транспортувався через бетонні канали без теплоізоляції. Ці системи характеризувалися високими тепловтратами і відсутністю ІТП у сучасному розумінні.

2ПЦТ (друге покоління) — перехід на високотемпературні водяні системи під тиском (>100 °С). Виробництво тепла було на основі викопного палива, а основними джерелами були котельні та ТЕЦ. Хоча і з'являються перші ІТП, а теплові мережі мають теплову ізоляцію, все ще зберігаються високі теплові втрати та обмежена гнучкість у споживанні.

3ПЦТ (третє покоління) — середньотемпературні теплові мережі з температурою подачі близько 90–100 °С, впровадження попередньо ізольованих труб, автоматизованих ІТП і високоефективних ТЕЦ. Широке застосування знаходять системи акумуляції тепла. Незважаючи на вдосконалення технологій, системи 3ПЦТ залишаються здебільшого орієнтованими на використання традиційних джерел та традиційних зав'язків між споживачами.

4ПЦТ (четверте покоління) — середньо- та низькотемпературні теплові мережі (НТЦТ), які працюють на рівні температур 50–70 °С. Основними рисами є зменшення тепловтрат, активна інтеграція ВДЕ (сонячна теплова енергія, геотермальна енергія тощо), а також утилізація низькопотенційного тепла від промисловості, супермаркетів чи центрів обробки даних [2, 3]. Вперше з'являється концепція активної участі споживачів у виробництві тепла — теплові «просюмери» (від англ. producer + consumer), які можуть передавати надлишок теплової енергії в мережу ЦТ.

5ПЦТХ (п'яте покоління) — інноваційні двонаправлені системи тепло- та холодопостачання, що працюють на ультранизьких температурах - 10–30 °С. Основними характеристиками є можливість одночасного забезпечення опалення та охолодження через «нейтральну» двотрубну мережу, використання реверсивних теплових насосів на рівні кожної будівлі, а також реалізація повноцінної децентралізованої архітектури з тепловим обміном в обох напрямках [4]. У 5ПЦТХ споживачі стають повноцінними учасниками енергетичного обміну, а системи керування передбачають облік і стимулювання їх внеску в тепловий баланс [5, 6].

Таким чином, еволюція від 1ПЦТ до 5ПЦТХ — це шлях від централізованих, високотемпературних і однонаправлених систем до децентралізованих, низькотемпературних і двонаправлених систем із активною участю споживачів. Особливий науковий та практичний інтерес становлять четверте та п'яте покоління, оскільки вони забезпечують найвищий рівень енергоефективності, декарбонізації та інтеграції ВДЕ.

3. Сучасні архітектури 2Н-ІТП: компоненти та функціональність. 2Н-ІТП – це індивідуальний тепловий пункт, сконструйований так, щоб працювати в режимі як споживання тепла з мережі, так і повернення надлишкового тепла в мережу. Архітектура таких ІТП зазнає змін у порівнянні зі звичайними однонаправленими схемами. Основні компоненти сучасних 2Н-ІТП включають:

Теплообмінники. В стандартних 3-4ПЦТ системах ІТП найчастіше містить пластинчастий теплообмінник для гідравлічного розділення мережевої води і внутрішнього контуру систем опалення/внутрішнього теплопостачання будівлі. У 5ПЦТХ мережах, де температура низька, можливе як пряме підключення теплового насоса до мережі, так і через проміжний теплообмінник (для запобігання змішуванню різних теплоносіїв чи забруднень). Теплообмінники також застосовуються для режиму прямого охолодження: якщо температура мережевої води достатньо низька, охолодження приміщень може здійснюватися без ввімкнення компресора теплового насоса – шляхом передачі холоду через теплообмінник ("free cooling") [7].

Джерела тепла. У 2Н-ІТП, що працюють у мережах 4ПЦТ, основним джерелом теплової енергії залишається класична система ЦТ. Водночас, до складу 2Н-ІТП можуть інтегруватися локальні ВДЕ (сонячні колектори, теплові насоси тощо) та джерела скидного тепла, такі як вентиляційні установки комерційних будівель та закладів охорони здоров'я, холодильне обладнання супермаркетів, установки центрів обробки даних тощо.

У системах 5ПЦТХ ключовим елементом 2Н-ІТП є тепловий насос вода/вода реверсивного типу. Такий тепловий насос працює на основі мережевої води з ультранизькою температурою як на

джерелі низькопотенційного тепла. В режимі опалення тепловий насос відбирає тепло з теплоносія мережі ЦТ (охолоджуючи його) і піднімає температуру для подачі в систему опалення будівлі або для підігріву в системах гарячого водопостачання (ГВП). У режимі охолодження той самий агрегат працює як чилер: відбирає тепло з внутрішнього контуру будівлі (охолоджуючи приміщення) і віддає це тепло в мережу (нагріваючи мережеву воду) з подальшою можливістю сезонного акумулювання на рівні системи ЦТ. У деяких випадках в 2Н-ІТП можуть бути окремі теплові насоси для роботи системи ГВП (оскільки ГВП потребує вищої температури, ~60 °С) та/або окремі чилери для кондиціювання, особливо в комерційних будівлях [8]. Проте загальна тенденція – використання єдиного реверсивного теплового насоса (“hybrid substation”), здатного покривати обидва режими.

Циркуляційні насоси та арматура. Ефективна робота 2Н-ІТП вимагає чітко спроєктованої насосної системи, здатної забезпечити надійний гідравлічний режим як у внутрішніх контурах споживача, так і в мережі. У типовій конфігурації передбачаються циркуляційні насоси в контурах опалення, гарячого водопостачання будівлі, локального джерела, для завантаження бака-акумулятора та в частині рекуперації тепла. У системах 5ПЦТХ використовується децентралізоване управління витратами: кожен 2Н-ІТП оснащується насосом, який забезпечує потік теплоносія відповідно до поточного попиту на опалення або охолодження. Такі насоси дозволяють реалізувати як споживання, так і рекуперацію теплоти в мережу в залежності від теплового балансу будівлі [9].

Запірно-регулювальна арматура, зокрема зворотні клапани, відіграє критичну роль у забезпеченні правильного напрямку потоків і запобіганні гідравлічним конфліктам у системі. Використання автоматизованих регуляторів тиску/витрати дозволяє адаптувати гідравлічний режим до змін у мережі та сприяє стабільній роботі всієї інфраструктури.

Баки-акумулятори. У сучасних 2Н-ІТП важливу роль відіграють баки-акумулятори тепла — як для ГВП, так і для опалення чи охолодження. Їх застосування дозволяє згладжувати теплове навантаження, уникати пікових споживань електроенергії та підвищувати стабільність роботи ВДЕ. Особливо актуально це для 5ПЦТХ-систем, де баки-акумулятори глибоко інтегровані в архітектуру 2Н-ІТП. Згідно з [10], завдяки застосуванню оптимізованого керування на основі штучного інтелекту (ШІ), до 14 % споживання електроенергії для підготовки гарячої води може бути зміщено з пікових на нічні години, зменшуючи навантаження на електромережу. Крім того, акумулювання дозволяє забезпечити комфорт під час пікових навантажень, уникати надмірної кількості вмикань/вимикань теплового насоса та краще використовувати локальну ВДЕ-генерацію (наприклад, електричні сонячні станції), акумулюючи надлишки у вигляді теплової енергії.

Автоматика та засоби обліку. 2Н-ІТП потребують високорозвиненої системи автоматики, здатної не лише перемикати режими роботи (опалення ↔ охолодження), але й динамічно регулювати параметри теплоносія відповідно до поточних потреб будівлі та стану теплової мережі. У системах 4ПЦТ функціональність автоматики зазвичай зосереджена на підтримці заданої температури подачі в систему опалення та/або ГВП відповідно до температурного графіка, а також на обмеженні температури зворотного потоку для підвищення ефективності мережі.

У системах 5ПЦТХ функціональність автоматики розширюється завдяки впровадженню ШІ, зокрема методів предиктивного керування (Model Predictive Control (MPC), що може бути частиною ШІ, які забезпечують оптимізацію роботи теплових насосів в реальному часі з урахуванням тарифів на електроенергію, потреб користувачів, температур ґрунту та інших параметрів [10].

Крім управління, надзвичайно важливою є система енергетичного обліку. У традиційних ІТП теплолічильники вимірюють лише односторонній потік енергії (тепло з мережі до споживача) на основі витрати та ΔТ. Натомість у двонаправлених мережах необхідні або двонаправлені теплолічильники, або дві незалежні системи обліку – для отриманого та переданого тепла. Це є передумовою для запровадження справедливої тарифікації і компенсації споживачам за повернуту в мережу енергію. Водночас, відсутність уніфікованих стандартів та алгоритмів обліку і тарифів для двонаправленого теплопотоку є бар’єром для масштабного впровадження таких систем.

3.1 Функціональність 2Н-ІТП. Ключовою особливістю 2Н-ІТП є можливість не лише споживання теплової енергії з системи ЦТ, але й повернення надлишкового тепла назад у систему.

Наприклад, супермаркет чи центр обробки даних, що охолоджує обладнання, генерує низькопотенційне тепло, яке може бути використано іншими споживачами. Таким чином мережа здійснює «heat sharing» між користувачами: тепло, що є побічним продуктом для одного, стає ресурсом для іншого. 2Н-ІТП при цьому виконує роль інтелектуального вузла обміну енергією.

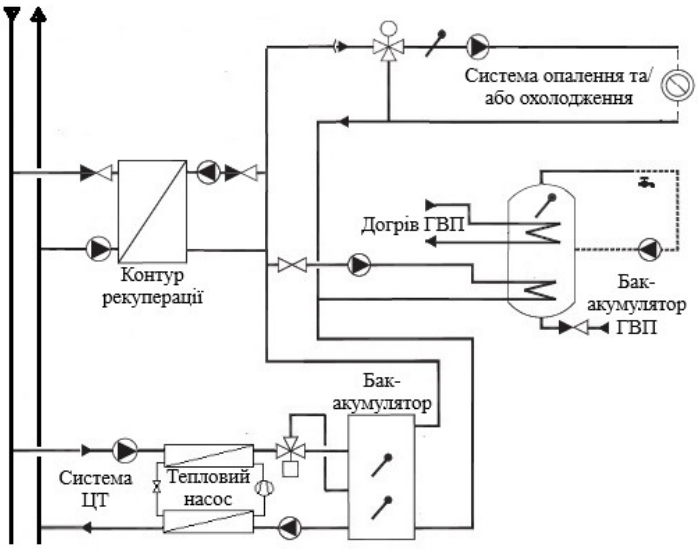


Рисунок 1 – 2Н-ІТП в ультранизькотемпературних системах 5-го покоління
Figure 1 – Bidirectional heating substation in ultra-low temperature systems 5GDHC

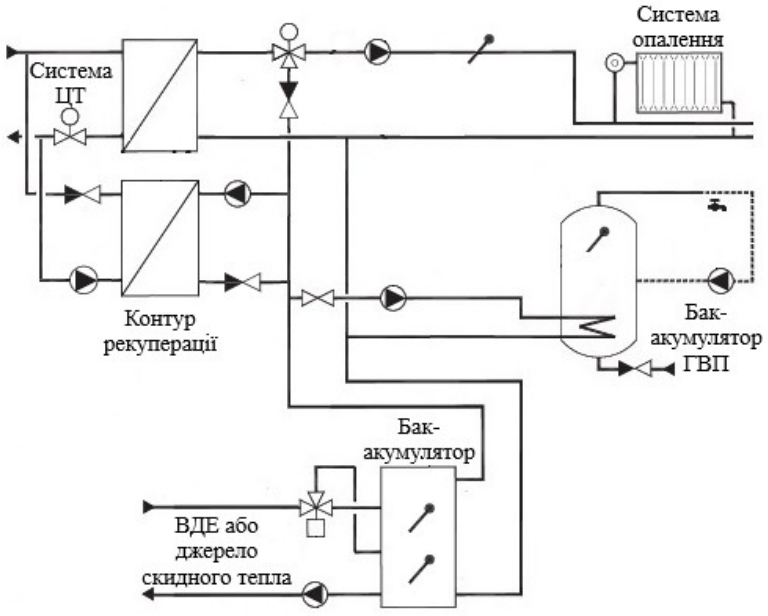


Рисунок 2 – 2Н-ІТП в середньо та низькотемпературних системах 4-го покоління
Figure 2 – Bidirectional heating substation in ultra-low temperature systems 5GDHC

У системах 5ПЦТ потоки в тепловій мережі є динамічними – напрям циркуляції залежить від балансу попиту на тепло або холод у різних частинах мережі. Якщо переважає потреба в опаленні, тепло рухається від джерел до споживачів, а за наявності попиту на охолодження – в протилежному напрямку. 2Н-ІТП має адаптуватися до цих змін, забезпечуючи стабільну роботу локальних систем. Візуальне представлення прикладу архітектури 2Н-ІТП у мережах 5ПЦТ представлено на Рис 1.

У контексті архітектури 4ПЦТ, 2Н-ІТП зазвичай взаємодіє як із класичною мережею ЦТ, так і з локальними джерелами тепла — сонячними колекторами, тепловими насосами, геотермальними зондами, а також джерелами скидного тепла як усередині обслуговуваних будівель, так і поза ними. Візуальне представлення прикладу архітектури 2Н-ІТП у мережах 4ПЦТ представлено на Рис 2.

У мережах 5ПЦТХ майже кожен 2Н-ІТП містить реверсивний тепловий насос, який забезпечує підвищення температури до потрібного рівня для будівлі або для передачі в мережу. Це дозволяє ефективно інтегрувати різноманітні джерела низькотемпературного тепла – геотермальне тепло, скидне тепло стічних, шахтних вод тощо. Дослідження відзначають, що поєднання 5ПЦТХ з технологіями неглибоких геотермальних систем є взаємовигідним: ґрунт слугує сезонним акумулятором, підвищуючи гнучкість та ефективність системи ЦТ [11].

П’яте покоління теплових мереж ще перебуває на стадії раннього впровадження: наразі по Європі діє відносно небагато таких систем, переважно демонстраційних або пілотних. В оглядовому дослідженні Buffa та ін. [10] ідентифіковано 40 реалізованих мереж 5ПЦТХ у Європі; більшість з них зосереджені в Німеччині та Швейцарії (по 15 систем), а також декілька в Італії [12]. Це підтверджує, що країни Центральної Європи є піонерами у впровадженні 5ПЦТХ, часто використовуючи наявний потенціал низькопотенційного тепла (геотермальні води, промислове тепло, тощо).

У контексті теплових мереж 4-го покоління 2Н-ІТП відіграють дедалі важливішу роль. Вони працюють у низькотемпературному режимі (подача ~50–70 °C) та забезпечують як споживання тепла з системи ЦТ, так і передачу надлишків в неї. У таких ІТП передбачено можливість інтеграції різних локальних ВДЕ, а також джерел скидного тепла (вентиляційних систем, холодильного обладнання тощо). Це дозволяє забезпечити децентралізоване виробництво тепла та підвищити загальну стійкість системи в періоди пікового навантаження на базові джерела.

4. Просюмери та пов’язані бізнес-моделі. Перехід до тепломереж 4ПЦТ та 5ПЦТХ поколінь супроводжується зміною ролі споживачів теплової енергії. Замість пасивної участі, користувачі перетворюються на теплових просьюмерів — учасників, які одночасно споживають і генерують тепло [13]. Це стало можливим завдяки розвитку технологій 2Н-ІТП, що можуть функціонувати в режимі як споживання, так і повернення тепла в мережу. У системах 4ПЦТ можливе підключення розподілених джерел тепла (наприклад, сонячних колекторів або скидного тепла промислових процесів), проте з певними обмеженнями щодо температурного рівня. У 5ПЦТХ-системах, які працюють на основі «теплового інтернету», кожна будівля може динамічно змінювати режим — подавати або відбирати тепло відповідно до поточних потреб і локального теплового балансу [12].

Це створює передумови для розвитку нових бізнес-моделей. Замість класичної централізованої схеми з єдиним постачальником з’являються платформи для двостороннього обміну теплом, як-от Open District Heating у Швеції. У такій моделі надлишкове тепло (наприклад, від центрів обробки даних, торгових центрів чи промислових процесів) купується оператором мережі або іншими споживачами. Система взаєморозрахунків базується на даних з теплолічильників, що вимірюють кількість енергії в одно- або двонаправленому режимі [14].

Інтеграція просьюмерів вимагає не лише технічного оновлення мереж (інтелектуальне керування, накопичувачі енергії, автоматизовані ІТП), а й реформування тарифної та нормативної бази. Потрібні контракти, що враховують генерацію, споживання, оплату за резервування потужностей та транспортування тепла. Регулювання має охоплювати динамічне ціноутворення, справедливий розподіл витрат і інфраструктурні платежі.

З іншого боку, розвиток теплових просьюмерів відкриває численні переваги: зменшення втрат енергії, скорочення викидів CO_2, залучення ВДЕ, підвищення стійкості та децентралізація теплопостачання. У європейських країнах розвиток теплових просюмерів підтримується як на рівні

технологій, так і політик. ЄС фінансує низку проєктів зі створення низькотемпературних 4ПЦТ/5ПТЦХ-систем, зокрема із залученням скидного тепла центрів обробки даних та торгівельних центрів. Європейське законодавство поступово адаптується: переглянута Директива щодо відновлюваної енергії (RED II/III) вводить поняття "спільнот відновлюваної енергетики", що дозволяє громадянам об'єднуватися для спільного виробництва і споживання енергії, включно з теплом. Для України концепція теплових просюмерів також є перспективною. Вітчизняна система теплопостачання наразі переживає модернізацію: впроваджуються ІТП, погодозалежне регулювання, теплові лічильники тощо. Наступним кроком може стати апробація 4ПЦТ-підходів у нових районах забудови або модернізованих мережах – із нижчими температурними графіками та підключенням локальних джерел (наприклад, котелень на біомасі, теплових насосів на стічних водах, сонячних колекторів на дахах будівель тощо). У довгостроковій перспективі, із розвитком децентралізованої генерації і накопичення енергії, можливе формування енергетичних кооперативів на рівні міст чи громад, де споживачі спільно володітимуть інфраструктурою і обмінюватимуться як електро-, так і тепловою енергією. Запозичення європейського досвіду та адаптація регуляторних норм під просюмерську модель допоможе Україні підвищити надійність і ефективність теплопостачання, а також інтегруватися в загальноєвропейський тренд зеленої енергетики.

5. Проблеми та виклики впровадження 2Н-ІТП.

Гідравлічні та технічні обмеження. Впровадження 2Н-ІТП у мережах 4-го і 5-го поколінь супроводжується низкою гідравлічних та технічних викликів, незалежно від температурного рівня системи. Основним технічним викликом є реакція на динамічну зміну гідравлічних умов — напрямку потоку, тиску або витрати. Це вимагає застосування адаптивних засобів керування: інтелектуальних регуляторів тиску, регуляторів витрати, а також циркуляційних насосів з можливістю автоматичної зміни обертів залежно від температури або перепаду тиску. Таким чином, розвиток 2Н-ІТП у складі 4ПЦТ/5ПЦТХ потребує не лише оновлення теплових пунктів та насосного обладнання, а й впровадження алгоритмів адаптивного регулювання. Ці аспекти вимагають подальших досліджень щодо оптимальної топології мереж, стабілізації тиску в режимах двостороннього обміну, а також координації децентралізованих вузлів на рівні автоматизованого керування.

Проблеми автоматизації та керування. 2Н-ІТП суттєво ускладнюють завдання управління тепловими потоками через наявність множинних активних вузлів, здатних змінювати режим роботи у реальному часі. У децентралізованих теплових мережах кожен просьюмер може одночасно виступати як споживач, так і джерело теплової енергії, що зумовлює постійно змінні режими роботи на рівні ІТП. За таких умов традиційні принципи локального або централізованого управління стають недостатніми для забезпечення гідравлічної стабільності та ефективного енергетичного балансу. Системи з 2Н-ІТП потребують нових, більш комплексних підходів до моніторингу, управління та оптимізації теплових потоків — як на рівні окремих будівель, так і в масштабах розподільчої мережі. Йдеться, зокрема, про розробку наскрізних стратегій керування, здатних адаптуватися до змінних параметрів споживання, джерел тепла, погодних умов і цінових сигналів.

Для ефективного балансування попиту та пропозиції тепла необхідні інтелектуальні системи керування, що базуються на прогнозних алгоритмах або методах ШІ. Такі підходи дозволяють оптимізувати роботу теплових насосів, акумуляторів і контрольно-регулюючої арматури з урахуванням погодних умов, тарифних сигналів та стану електромережі.

З огляду на складність мережі, особливої важливості набувають рішення з мінімальними вимогами до ручного втручання (Plug&Play): обладнання повинно самостійно адаптуватися до локальних умов, зокрема витрати, перепаду тиску, температурного графіку. Це знижує потребу в індивідуальному налаштуванні при введенні ІТП в експлуатацію та підвищує надійність системи загалом.

Однак реалізація таких технологій вимагає високого рівня цифровізації теплової інфраструктури: необхідні датчики, лічильники з функцією передачі даних у реальному часі, протоколи зв'язку між вузлами та захищена ІТ-інфраструктура [15]. Недостатній розвиток цих

компонентів наразі залишається одним із ключових бар'єрів на шляху широкого впровадження 2Н-ІТП.

Облік та компенсація енергії. Запровадження 2Н-ІТП вимагає переосмислення системи обліку енергії та взаєморозрахунків між учасниками. Стандартні теплолічильники переважно орієнтовані на фіксацію одностороннього потоку — від джерела до споживача — і не пристосовані до реєстрації зворотної передачі енергії від споживача до мережі. У зв'язку з цим актуальним є впровадження спеціалізованих приладів або програмних алгоритмів, здатних автоматично обробляти тепловий баланс у двох напрямках. Одним із потенційних рішень виступає концепція нетто-обліку: споживачеві виставляється рахунок на основі різниці між отриманою і повернутою енергією. Такий підхід може бути доповнений системою диференційованих тарифів, які враховують напрям потоку, якість теплоносія та часову структуру навантаження. Однак відсутність національних методичних документів та регламентів щодо алгоритмів двостороннього обліку і тарифікації досі є значним бар'єром для реалізації повноцінних просьюмерських моделей у більшості країн Європи та, зокрема, в Україні.

Регуляторні бар'єри. Розгортання 2Н-ІТП стикається зі значними правовими та нормативними обмеженнями. Поточне законодавче середовище в більшості країн, зокрема і в Україні, побудоване навколо традиційної централізованої моделі теплопостачання, де споживач виступає пасивною стороною, а оператор мережі — єдиним виробником і постачальником теплової енергії. Відсутність законодавчо закріпленої ролі просьюмера — активного учасника ринку, що має право не лише споживати, а й передавати надлишкове тепло в мережу — створює невизначеність для потенційних учасників таких схем.

Особливо актуальними є виклики, пов'язані з ліцензуванням малих виробників тепла, стандартизацією вимог до якості переданого теплоносія, а також відсутністю механізмів компенсації за передане тепло. Дотепер бракує типових договорів для інтеграції користувачів у мережу в якості постачальників тепла, а національні тарифні політики не передбачають ставок для енергії, що повертається в систему. Це значно ускладнює економічну привабливість впровадження 2Н-ІТП, навіть за наявності технічних можливостей.

У країнах ЄС, попри загальну орієнтацію на децентралізовану енергетику, нормативне забезпечення продажу тепла від споживачів досі перебуває на етапі формування. Зокрема, необхідний перегляд правил балансування, обліку і взаємодії між електро- та тепловими ринками, оскільки сучасні системи часто інтегрують генерацію, що споживає електричну енергію (наприклад, теплові насоси), що впливають на обидва сектори одночасно.

З огляду на це, розробка правових основ для залучення просьюмерів до ринку тепла, створення стандартів обліку та компенсації, а також адаптація тарифної моделі — є критично необхідними умовами для масштабного впровадження двонаправлених теплових систем як в Україні, так і в європейському контексті.

Економічні та соціальні аспекти впровадження 2Н-ІТП. Впровадження 2Н-ІТП вимагає значних капіталовкладень як на рівні будівельної інфраструктури, так і системного управління. До ключових витрат належить модернізація ІТП, інтеграція локального джерела (додаткові теплообмінники, елементи регулювання, датчики тощо), впровадження систем накопичення енергії, заміна арматури, а також підвищення енергоефективності будівель. Незважаючи на довгострокові переваги, такі як зменшення витрат на енергію, підвищення гнучкості та скорочення викидів, високі початкові витрати залишаються бар'єром для масового впровадження.

У країнах з обмеженим фінансуванням, зокрема в Україні, обґрунтованим підходом є поступова модернізація: початкова адаптація існуючих мереж шляхом встановлення сучасних ІТП з погодозалежним регулюванням та обліком, далі – інтеграція локальних джерел тепла (ВДЕ, джерел скидного тепла тощо) у новобудовах і оновлених мікрорайонах [16]. Такий підхід дозволяє досягати поступового зменшення температурного графіка та зниження навантаження на базові джерела без різкого зростання капітальних витрат.

Соціальні фактори мають не менш важливе значення. У багатьох споживачів відсутнє чітке розуміння переваг двонаправленої взаємодії з тепловою мережею, а ризик невиправданих витрат на

модернізацію може викликати скепсис. Довіра до нових технологій, доступ до прозорої інформації та наявність економічної мотивації визначають рівень участі споживачів у впровадженні нових моделей. Успішне впровадження інноваційних рішень у сфері теплопостачання значною мірою залежить від рівня поінформованості споживачів, демонстрації практичних переваг технологій, а також наявності економічних стимулів, таких як гранти, знижки або податкові пільги.

Таким чином, економічна ефективність 2Н-ІТП залежить не лише від технічного вибору, а й від здатності зацікавлених сторін адаптуватися до нових умов – як у плані фінансування, так і соціального сприйняття.

Висновки. 2Н-ІТП є ключовим елементом переходу централізованого теплопостачання до стійкої та гнучкої моделі. Вони перетворюють традиційну односторонню мережу на багатовекторну систему обміну енергією, у якій кінцеві споживачі виступають активними учасниками. Це відкриває широкі можливості для інтеграції відновлюваних джерел та скидного тепла на рівні будівель та підприємств, підвищення енергоефективності та зниження викидів. Наявність 2Н-ІТП є передумовою розвитку просьюмерських відносин: надлишкове тепло може передаватися іншим споживачам або продаватися в мережу, що підвищує гнучкість і надійність теплопостачання.

Водночас для масового впровадження 2Н-ІТП в Україні та Європі необхідно усунути низку технічних, регуляторних та економічних бар'єрів. Насамперед актуальним є оновлення нормативно-правової бази для двостороннього обміну теплом – запровадження стандартів обліку та механізмів компенсації за повернуту енергію, а також вирішення економічних питань, зокрема зниження високих початкових інвестиційних витрат і розробка ефективних тарифних стимулів. Подолання цих перешкод вимагатиме скоординованих зусиль влади, бізнесу та громади, проте відкриє шлях до широкого застосування 2Н-ІТП. У результаті двонаправлені теплові пункти зможуть повною мірою реалізувати свій потенціал у декарбонізації теплопостачання, розвитку просьюмерських моделей і підвищенні енергетичної ефективності та безпеки як в Україні, так і по всій Європі.

Перелік посилань

1. 1Гламаздін, П. М., Баранчук, К. О., & Приймак, О. В. (2021). Нові підходи до організації централізованого теплопостачання. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*, *39*, 38-46.

2. Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E., Hvelplund, F., & Mathiesen, B. V. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *energy*, *68*, 1-11.

3. Sorknaes, P., Østergaard, P. A., Thellufsen, J. Z., Lund, H., Nielsen, S., Djørup, S., & Sperling, K. (2020). The benefits of 4th generation district heating in a 100% renewable energy system. *Energy*, *213*, 119030.

4. Buffa, S., Cozzini, M., D'antoni, M., Baratieri, M., & Fedrizzi, R. (2019). 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *104*, 504-522.

5. Revesz, A., Jones, P., Dunham, C., Davies, G., Marques, C., Matabuena, R., ... & Maidment, G. (2020). Developing novel 5th generation district energy networks. *Energy*, *201*, 117389.

6. Wirtz, M., Neumaier, L., Remmen, P., & Müller, D. (2021). Temperature control in 5th generation district heating and cooling networks: An MILP-based operation optimization. *Applied Energy*, *288*, 116608.

7. Chicherin, S. (2023). Amount of heat available from a prosumer of a 5th generation district heating and cooling (5GDHC) system: Case study of a data center. *Journal of Building Engineering*, *76*, 107138.

8. Maccarini, A., Sotnikov, A., Sommer, T., Wetter, M., Sulzer, M., & Afshari, A. (2023). Influence of building heat distribution temperatures on the energy performance and sizing of 5th generation district heating and cooling networks. *Energy*, *275*, 127457.

9. Mans, M., Blacha, T., Schreiber, T., & Müller, D. (2022). Development and Application of an Open-Source Framework for Automated Thermal Network Generation and Simulations in Modelica. *Energies*, *15*(12), 4372.

10. Buffa, S., Soppelsa, A., Pipiciello, M., Henze, G., & Fedrizzi, R. (2020). Fifth-generation district heating and cooling substations: Demand response with artificial neural network-based model predictive control. *Energies*, *13*(17), 4339.

11. Meibodi, S. S., & Loveridge, F. (2022). The future role of energy geostructures in fifth generation district heating and cooling networks. *Energy*, *240*, 122481.

12. García-Céspedes, J., Herms, I., Arnó, G., & De Felipe, J. J. (2022). Fifth-generation district heating and cooling networks based on shallow geothermal energy: a review and possible solutions for Mediterranean Europe. *Energies*, *16*(1), 147.

13. Pakere, I., Kacare, M., Murauskaite, L., & Huang, P. (2023). Comparison of Suitable Business Models for the 5thGeneration District Heating System Implementation through Game Theory Approach. *Environmental and Climate Technologies*, *27*(1), 1-15.

14. Lygnerud, K. (2019). Business model changes in district heating: The impact of the technology shift from the third to the fourth generation. *Energies*, *12*(9), 1778.

15. Lindhe, J., Javed, S., Johansson, D., & Bagge, H. (2022). A review of the current status and development of 5GDHC and characterization of a novel shared energy system. *Science and Technology for the Built Environment*, *28*(5), 595-609.

16. Polyvianchuk, A., Semenenko, R., Kapustenko, P., Klemeš, J. J., & Arsenyeva, O. (2023). The efficiency of innovative technologies for transition to 4th generation of district heating systems in Ukraine. *Energy*, *263*, 125876.

OVERVIEW OF MODERN ARCHITECTURES OF BIDIRECTIONAL HEATING SUBSTATION IN DISTRICT HEATING SYSTEMS

Kyrylo Baranchuk O., Postgraduate student, Department of Thermal Engineering, National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine. Deputy Director for Scientific and Technical Activities, Danfoss Ukraine LLC, e-mail: kyrylo.baranchuk@danfoss.com, tel.+380504125633, https://orcid.org/0000-0003-4491-9396 .

Chechuga Oleksandr S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: chechuga77@gmail.com, тел. +380662019442. https://orcid.org/0000-0003-1643-6354

Summary. Modern systems of district heating of the fourth (4GDH) and district heating and cooling of the fifth (5GDHC) generations increasingly integrate renewable energy sources (RES) and waste heat, while changing the role of consumers to active “thermal prosumers”. The key element of such two-way interaction between the network and the building is a bidirectional heating substation, which provides both heat withdrawal from the network and the return of excess energy. The article is devoted to a review of modern architectures of bidirectional heating substation in the context of 4GDH and 5GDHC networks. The aim is to analyze typical configurations of these heating substation, identify differences in their functioning in conditions of low-temperature networks of the 4th generation and ultra low-temperature networks of the 5th, as well as outline technical, regulatory and economic aspects of implementation. The review considers the main functional components of bidirectional heating substation. It is shown that in 4GDH networks, bidirectional heating substations allow integrating distributed local heat sources at supply temperatures of ~50–70°C. In contrast, in 5GDHC systems with a "neutral" temperature level of 10–30°C, each heat point is equipped with a reversible heat pump capable of operating both for heating and cooling. This ensures dynamic exchange of thermal energy (“heat sharing”) between consumers. The focus is on the key challenges of implementing bidirectional heating substation. In particular, the issues of hydraulic stability of two-way flows, the need to update the regulatory framework (accounting standards and compensation mechanisms for returned heat) and economic factors (significant investment costs, adaptation of tariff models) are considered.

Keywords: district heating, bidirectional heating substation, renewable energy sources, thermal prosumer, heat pump, cooling, low-temperature district heating, waste heat energy.

References

1. P. Glamazdin, K. Baranchuk, O. Priymak (2021). New approaches to the organization of district heating. *Ventilation Illumination and Heat Gas Supply*, *39*, 38-46.

2. Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E., Hvelplund, F., & Mathiesen, B. V. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *energy*, *68*, 1-11.

3. Sorknaes, P., Østergaard, P. A., Thellufsen, J. Z., Lund, H., Nielsen, S., Djørup, S., & Sperling, K. (2020). The benefits of 4th generation district heating in a 100% renewable energy system. *Energy*, *213*, 119030.

4. Buffa, S., Cozzini, M., D'antoni, M., Baratieri, M., & Fedrizzi, R. (2019). 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *104*, 504-522.

5. Revesz, A., Jones, P., Dunham, C., Davies, G., Marques, C., Matabuena, R., ... & Maidment, G. (2020). Developing novel 5th generation district energy networks. *Energy*, *201*, 117389.

6. Wirtz, M., Neumaier, L., Remmen, P., & Müller, D. (2021). Temperature control in 5th generation district heating and cooling networks: An MILP-based operation optimization. *Applied Energy*, *288*, 116608.

7. Chicherin, S. (2023). Amount of heat available from a prosumer of a 5th generation district heating and cooling (5GDHC) system: Case study of a data center. *Journal of Building Engineering*, *76*, 107138.

8. Maccarini, A., Sotnikov, A., Sommer, T., Wetter, M., Sulzer, M., & Afshari, A. (2023). Influence of building heat distribution temperatures on the energy performance and sizing of 5th generation district heating and cooling networks. *Energy*, *275*, 127457.

9. Mans, M., Blacha, T., Schreiber, T., & Müller, D. (2022). Development and Application of an Open-Source Framework for Automated Thermal Network Generation and Simulations in Modelica. *Energies*, *15*(12), 4372.

10. Buffa, S., Soppelsa, A., Pipiciello, M., Henze, G., & Fedrizzi, R. (2020). Fifth-generation district heating and cooling substations: Demand response with artificial neural network-based model predictive control. *Energies*, *13*(17), 4339.

11. Meibodi, S. S., & Loveridge, F. (2022). The future role of energy geostructures in fifth generation district heating and cooling networks. *Energy*, *240*, 122481.

12. García-Céspedes, J., Herms, I., Arnó, G., & De Felipe, J. J. (2022). Fifth-generation district heating and cooling networks based on shallow geothermal energy: a review and possible solutions for Mediterranean Europe. *Energies*, *16*(1), 147.

13. Pakere, I., Kacare, M., Murauskaite, L., & Huang, P. (2023). Comparison of Suitable Business Models for the 5thGeneration District Heating System Implementation through Game Theory Approach. *Environmental and Climate Technologies*, *27*(1), 1-15.

14. Lygnerud, K. (2019). Business model changes in district heating: The impact of the technology shift from the third to the fourth generation. *Energies*, *12*(9), 1778.

15. Lindhe, J., Javed, S., Johansson, D., & Bagge, H. (2022). A review of the current status and development of 5GDHC and characterization of a novel shared energy system. *Science and Technology for the Built Environment*, *28*(5), 595-609.

16. Polyvianchuk, A., Semenenko, R., Kapustenko, P., Klemeš, J. J., & Arsenyeva, O. (2023). The efficiency of innovative technologies for transition to 4th generation of district heating systems in Ukraine. Energy, 263, 125876.

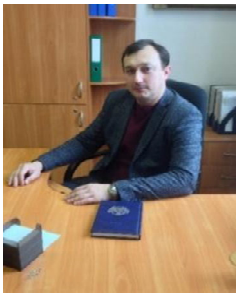
17. Погосов, О. Г., Чепурна, Н. В., Пасічник, П. О., Кулінко, Є. О., & Дорошенко, А. А. (2023). Сучасні системи тепло-та паропостачання промислових підприємств при застосуванні глибокої утилізації енергетичного потенціалу технологічної пари. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання, 45, 42-51.

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-055-062

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ З ВЛАШТУВАННЯ ДРЕНУВАЛЬНИХ ШАРІВ ОСНОВИ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR THE APPLICATION OF DRAINAGE LAYERS OF THE BASE OF ROAD SURFACE



***Бубела Андрій Володимирович**, Національний транспортний університет, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету транспортного будівництва, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, тел.: +380505535594,*

http://orcid.org/0000-0002-5619-003X



***Поляков Володимир Михайлович,** Національний транспортний університет, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: 153121@ukr.net, тел.+380979878582,*

https://orcid.org/0000-0002-0408-7153

Анотація. Для того, щоб уникнути довготривалого перезволоження конструктивних шарів покриття та основи, необхідно запобігти акумулюванню в них великої кількості вільної води шляхом влаштування дренажної системи мілкого закладання, яка дозволяє швидко відвести воду з дорожньої конструкції та забезпечує її міцність. Це також обумовлює необхідність визначення ефективності роботи дренувальних конструкцій мілкого закладання під впливом дії транспортних засобів.

У статті розглянуто технологічні параметри при влаштуванні шарів основи дорожнього одягу – піщаних шарів з дренажними трубами. Наведена динаміка зміни площі штампу пневмокотка різної ваги в залежності від зміни тиску в шинах. Базуючись на методі скінченних елементів було досліджено напружено-деформований стан нетипових дорожніх конструкцій, послаблених трубчастими дренами з матеріалів різного походження.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожня конструкція, земляне полотно, дренаж мілкого закладання, дренувальний шар, трубчаста дрена, пневмокоток, штамп котка.

Вступ.

Одним із основних факторів, що впливає на надійність і довговічність дорожнього одягу автомобільних доріг є наявність надлишкової вільної води, особливо під час відлиг у весняний період або значних атмосферних опадах. Наявність вільної води приводить до зміни деформаційних

характеристик ґрунту основи та дренувального шару дорожнього одягу, власної ваги ґрунту, виникнення гідродинамічних сил фільтраційного потоку, тощо. Відомо, що додаткові деформації природних і штучних основ виникають при наявності у них надлишкової вільної води. Під час надзвичайних ситуацій (надлишкових атмосферних опадах, надмірного навантаження від великовагових автомобілів та промерзання дренувальних шарів і ґрунту основи, тощо) величина та інтенсивність зростання названих факторів може суттєво змінюватися, що призводить до виникнення значних вертикальних деформацій дорожнього одягу у вигляді колій. Ці деформації ускладнюють, а у деяких випадках унеможливлюють, експлуатацію автомобільних доріг.

На автомобільних дорогах загального користування налічується близько третини характерних ділянок – угнутих у поздовжньому профілі, з поздовжнім похилом більшим за поперечний, в невисоких насипах, у виїмках, нульових відмітках, переважна кількість яких побудована з трубчастими дренажами мілкого закладання. Стан таких ділянок не завжди відповідає безпечним умовам експлуатації і навесні, після відлиг, вони потребують проведення ремонтних робіт.

Дорожня конструкція з трубчастими дренами під шарами дорожнього одягу є нетиповою, на відміну від стандартних. Такі проектні рішення є обґрунтованими, проте проблемі їх як і будівництва, так і експлуатації не було приділено належної уваги. Не врахування технологічних особливостей влаштування дренажних конструкцій мілкого закладання на стадії будівництва призводить до розвитку деформацій на початковому етапі експлуатації. Це вимагає розроблення спеціальних технологічних рішень щодо режимів ущільнення шарів основи та оцінки стану дренажних труб з матеріалів різного походження.

Основна частина дослідження. Проблема водовідведення з дорожньої конструкції, зокрема з робочої зони земляного полотна, ґрунтується не тільки на методах проектування, а також на технологічних особливостях влаштування дренажів під впливом дії дорожніх машин.

При влаштуванні дренувального шару з середньозернистого піску переважно використовують пневмокотки різних модифікацій. Відмінною особливістю пневмоколісних котків є деформація робочих органів в процесі ущільнення шарів дорожнього одягу. В результаті – збільшується площа контакту шини котка та час силового впливу на поверхню шару, що ущільняється. В даний час є багато модифікацій котків, які дозволяють в процесі ущільнення регулювати такі параметри, як навантаження на колесо та тиск повітря в шинах. Навантаження на колесо можна змінювати за рахунок баластування, що дозволяє збільшити спектр застосування котка для ущільнення різних типів ґрунтів. Підвищення маси котка дозволяє, відповідно, збільшити товщину шару, що ущільняється, однак майже не впливає на його щільність, яка досягається при рівних тисках повітря в шинах.

Розміри контактної поверхні і максимальний контактний тиск залежать від таких факторів, як опір ґрунту до зовнішніх навантажень, розмір і тип шин, тиск повітря в них та навантаження на колесо, а також від оптимальної та фактичної вологості ґрунту. При перших проходах котків на початку процесу ущільнення, коли ґрунт ще пухкий, деформується, в основному, тільки сам ґрунт. У процесі ущільнення ґрунт стає щільнішим і тому поступово починає деформуватися пневматичне колесо. В кінці процесу ущільнення, коли ґрунт вже щільний, деформація пневматичного колеса є максимальною. Але сам процес ущільнення також впливає на дренажну трубу. Товщина дренувального шару визначається згідно проекту і обумовлена коефіцієнтом фільтрації, глибиною промерзання в районі будівництва та заданими умовами його роботи (поглинання або осушення). При проектуванні дренувальних шарів не приділяється достатньо уваги щодо впливу навантажень на тіло труби з матеріалів різного походження за такими показниками, як крихкість або пластичність. Від цих

властивостей залежить стан та цілісність дренажних труб після впливу ущільнюючих засобів, що надалі впливатиме на умови їх роботи.

Вплив ущільнюючих засобів в процесі влаштування дренувальних шарів, зокрема, параметрів сліду пневмошини котка на нетипову, послаблену трубчастими отворами, конструкцію може призвести до утворення деформацій в тілі трубчастої дрени, що в майбутньому впливатиме на процеси водовідведення з робочої зони земляного полотна.

Максимальні тиски повітря в шинах котків, які відповідають останньому етапу ущільнення, повинні бути найбільш близькими до меж міцності, як і ґрунтів в щільному стані, так і дренажних труб.

Знизити максимальні контактні тиски при незмінному навантаженні на колесо можна шляхом значного збільшення тиску в шинах, в результаті якого зім'яття шин, як правило, перевершить допустимі межі, що призведе до значного їх зносу. Тому попереднє ущільнення ґрунтів слід вести більш легким катком. Однак поступове підвищення тиску повітря в шинах як при укатці, так і при остаточному ущільненні сприяє формуванню щільної і міцної структури шару ДО.

Максимальні тиски повітря в шинах котків, які відповідають кінцю процесу ущільнення, повинні бути найбільш близькими до меж міцності ґрунтів в їх щільному стані. Ця рекомендація не може бути виконана при зв'язних ґрунтах, які володіють високими межами міцності, так як тиск в стандартних шинах, як правило, не перевищує 5,5–6 кгс / см^2 . При таких тисках завершують процес ущільнення зв'язних ґрунтів. Для ґрунтів малозв'язних і незв'язних цей тиск є надмірно великим і його, залежно від виду і стану ґрунту, знижують до 3–4 кгс/см^2 . Для цих ґрунтів особливо важливо мати можливість регулювати тиск в шинах, а процес ущільнення найкраще починати при тиску повітря в шинах 2 кгс / см ^{2} .

Згідно досліджень, проведених у роботі [7], характер розподілу тисків по поверхні контакту шини з щільним ґрунтом не залежить від швидкостей руху колеса, а визначається навантаженням на нього і тиском повітря в шині. Форма контакту пневматичної шини з твердою поверхнею являє собою еліпс. Якщо при постійному тиску повітря в шині поступово збільшувати діюче на неї навантаження, то деформація шини в поперечному напрямку стає все більш помітною. Тому у однієї і тієї ж шини контактні поверхні можуть бути з різним співвідношенням між їх осями, а однакові поверхні контактів – отримані при різних співвідношеннях між навантаженням на колесо і тиском повітря в шині.

Вертикальне навантаження забезпечує створення тиску від колеса на поверхню. Розрахункова ширина штампу залежить від ширини колеса та складає:

$$b = B(0{,}65\ldots0{,}75), \tag{1}$$

де b – ширина штампу, м;

B – ширина колеса пневмокотка, м.

Розрахункова довжина штампу залежить від сили, з якою колесо діє на поверхню, тиску у колесі та розрахункової ширини штампу:

$$a = \frac{F}{b \cdot P}, \tag{2}$$

F – сила, з якою колесо діє на поверхню, Н;

P – тиск у шині котка, МПа.

Зі збільшенням тиску в шинах котка стає меншою площа відбитку та більшою глибина колії. Початкове ущільнення дренувального шару з середньозернистого піску виконують з мінімально допустимим тиском в шинах середнього котка. Зі збільшенням кількості проходів котка зростає тиск в колесах і, відповідно, тиск на поверхню.

З урахуванням вихідних параметрів пневмокотків та визначенням довжини і ширини штампу, площу штампу визначають як:

$$S_{ш} = a \cdot b, \tag{3}$$

де $S_{ш}$ – площа штампу, м^2.

Згідно залежностей (1–3), визначені технологічні параметри для ущільнення піщаного дренувального шару, які наведені у табл. 1 та на рис. 1.

Таблиця 1 – Технологічні параметри для ущільнення піщаного дренувального шару
Table 1 – Technological parameters for compaction of the sand drainage layer

вага котка, т	P, тиск в шинах фактичний мінімальний, Па	P, тиск в шинах фактичний максимальний, Па	b, розрахункова ширина штампа, м		a, розрахункова довжина штампа за мінімального тиску, м		a, розрахункова довжина штампа за максимального тиску, м		S за мінімального тиску, м2	S за максимального тиску, м2
			b=B(0,65)	b=B(0,75)	b=B(0,65)	b=B(0,75)	b=B(0,65)	b=B(0,75)	b=B(0,65) та b=B(0,75)	b=B(0,65) та b=B(0,75)
16	300000	550000	0,208	0,24	0,3593	0,3114	0,1960	0,1698	0,0747	0,0407
30	350000	1000000	0,2405	0,2775	0,4994	0,432	0,1748	0,1515	0,1201	0,0420

Динаміка зміни площі штампу пневмокотка різної ваги в залежності від тиску в шинах має експоненціальний характер (рис. 1).

В якості інструментарію для дослідження напружено-деформованого стану нетипових дорожніх конструкцій з круглими отворами, за методом, запропонованим у роботі [11], використовувався проектно-розрахунковий комплекс SCAD Office, який базується на методі скінченних елементів. Для моделювання було обрано схему моделі дорожньої конструкції, яка є типовим проектним рішення автомобільних доріг ІІІ-ої категорії, протяжність яких є найбільшою по Україні. Побудова скінчено-елементних сіток була визначена із умов штампу пневмошини котка за статичним навантаженням, згідно табл.1. Для прогнозування напружено-деформованого стану дренувальних шарів з поперечним трубчастим дренажем мілкого закладання на земляному полотні були проведені серії числових експериментів. При числовому моделюванні розглядуваної конструкції використовувалось навантаження статичне, як найбільш несприятливе за тривалістю при процесі влаштування дренувального шару. Для двох типів матеріалів трубчастих дрен моделювались реальні умови будівництва, які передбачають поетапне ущільнення дренувальних шарів.

Це дозволило отримати залежність деформацій Z від модуля пружності дренувального шару на межі шар - трубчаста дрена з різних матеріалів, в робочій зоні земляного полотна, з урахуванням типу дорожнього котка.

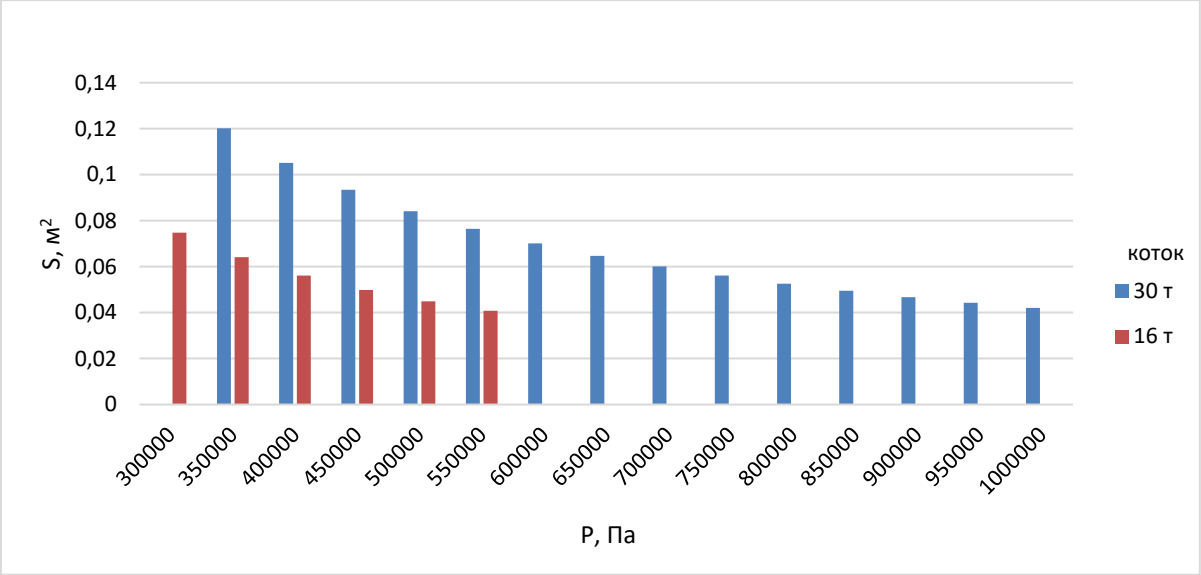


Рисунок 1 – Залежність площі штампу котка від тиску в його шинах
Figure 1 – Dependence of the area of the roller stamp on the pressure in its tires

Відповідно до технології влаштування дренувальних шарів з піску, було визначено вихідну товщину дренувального шару – 37 см, щоб отримати в кінці процесу ущільнення шар товщиною 30 см. першочергово використовується середній коток масою 16 т. з мінімальним тиском та максимальним тиском у шинах, а потім важкий коток масою 30 т.

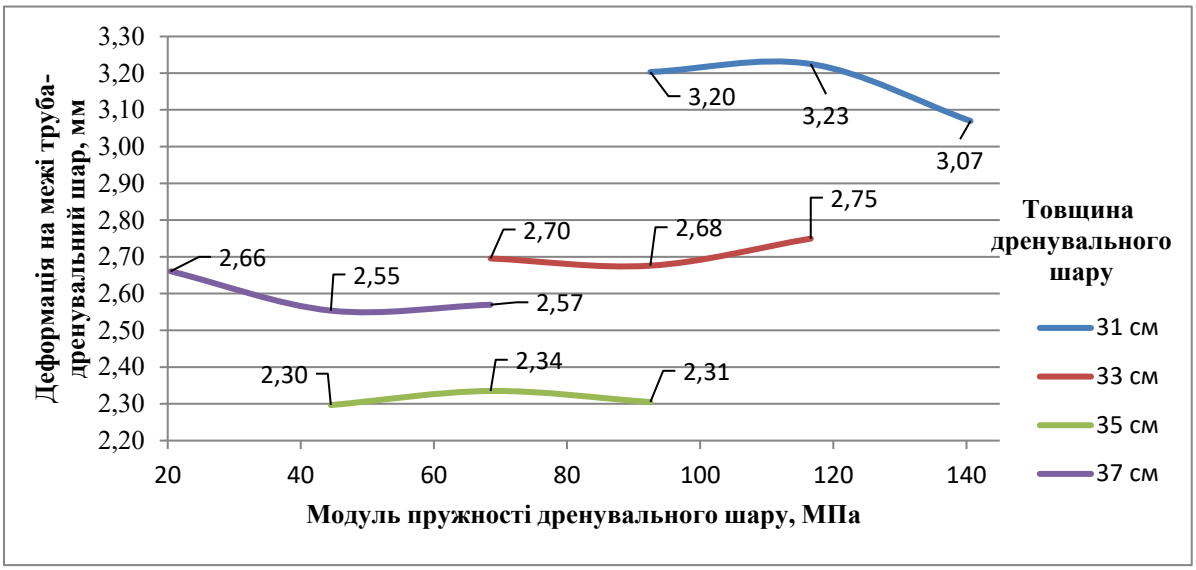


Рисунок 2 – Залежність деформацій *Z* від модуля пружності піщаного дренувального шару з бетонною трубою
Figure 2 – Dependence of deformations Z on the modulus of elasticity of the sand drainage layer with a concrete pipe

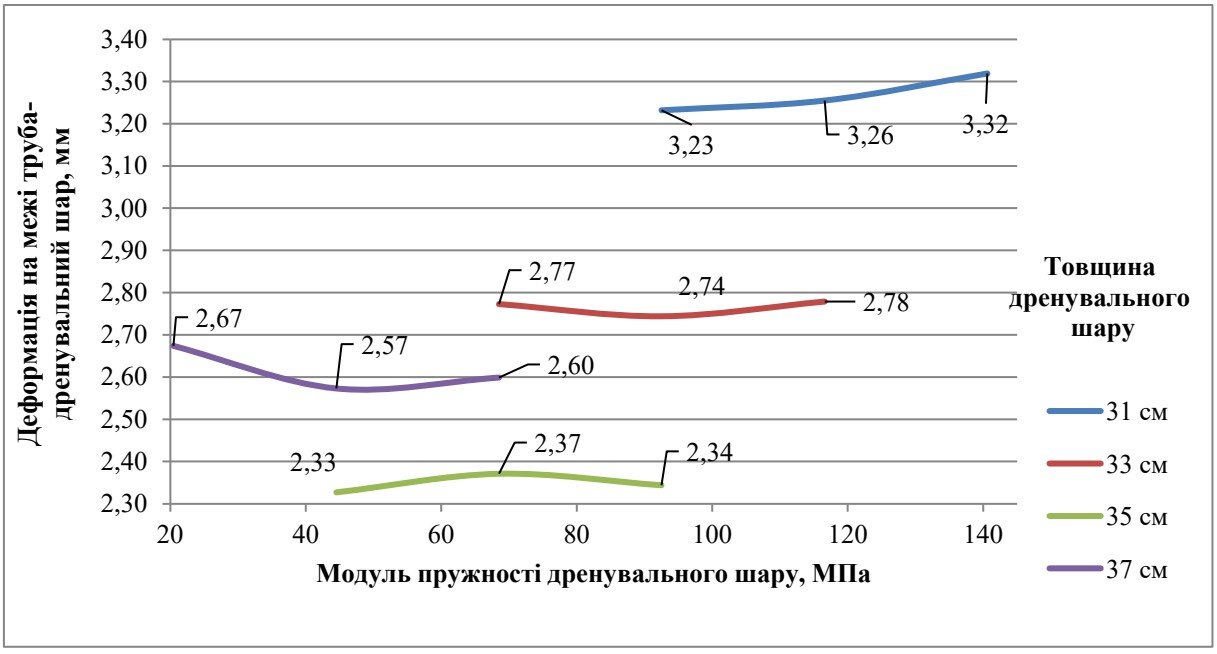


Рисунок 3 – Залежність деформацій *Z* від модуля пружності піщаного дренувального шару з полівінілхлоридною трубою

Figure 3 – Dependence of deformations Z on the modulus of elasticity of the sand drainage layer with a polyvinylchloride pipe

Висновки. Згідно результатів розрахунку на моделі дорожньої конструкції з полівінілхлоридною трубою в стандартних умовах ущільнення дренувального шару тіло труби сприймає максимальні нормальні напруження 3,86 МПа, які складають понад 15 % від допустимого напруження цього матеріалу на розтяг. На відміну від цього, модель з бетонною трубою працює в гранично-напруженому стані. Не зважаючи на наявність щебеневої обсипки, яка додатково сприймає та перерозподіляє навантаження на тіло труби. За стандартних умов ущільнення піщаного дренувального шару, тіло бетонної труби випробовує максимальні напруження 6,3 МПа, що значно перевищує допустимі напруження на розтяг бетону.

В процесі влаштування піщаного дренувального шару може відбуватися деформація бетонних труб, що призводить до їх руйнації, на відміну від полівінілхлоридних, для яких такі деформації допустимі. Руйнація тіла бетонної дренажної труби може призводити до подальших суттєвих деформацій конструктивних шарів дорожнього одягу і, як наслідок, до суттєвої зміни волого-теплового режиму: накопичення інфільтрату вологи, створення льодових лінз в зимовий та весняний періоди.

Перелік посилань

1. Славінська О.С. Удосконалення методу розрахунку параметрів поперечного дренажу мілкого закладання на автомобільних дорогах / О.С. Славінська, А.В. Бубела, А.М. Онищенко, О.Ю. Усиченко, В.В. Стьожка // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022, – Вип. 1 (51). С. 352–362. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-352-362

2. Бубела А.В. Визначення технологічних вимог при влаштуванні дренажних конструкцій мілкого закладання / А.В. Бубела, В.М. Поляков // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 3 (57). С. 35–42. DOI: 10.33744/2308-6645-2023-3-57-035-042

3. Cedergren Harry R., O'Brien Kenneth H. Development of guidelines for the design of subsurface drainage systems for highway pavement structural sections. 1972. 193p.

4. Ципріанович І.В. Водовідвідні і дренажні системи аеродромів: Підручник. К.: НАУ. 2002. 142с.

5. Литвиненко А.С. Про вплив стану ґрунтових основ на стан дорожніх одягів на ділянках автомобільних доріг у нульових відмітках і невисоких насипах. *Автомобільні дороги* : науково-виробничий журнал. 2014. Вип. 6 (242). С. 35-39.

6. Кватадзе А.І. Метод визначення розрахункових періодів водно-теплового режиму для розрахунку дренажних пристроїв. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Issue 98. 2016. P. 79-84. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/98/079-084.pdf.

7. Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу під дією транспортних навантажень. *Опір матеріалів і теорія споруд.* 2017. *99*. с.45–57. http://opir.knuba.edu.ua/zbirnyk-99/article-818

8. Slavinska O., Savenko V., Bubela A., Yaremov A. Investigation of the work of the road construction at the sites by pipedrenes from materials of different origin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol 2. 7 (92). URL: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126512 (SCOPUS)

9. Бубела А.В. Дослідження зміни транспортно-експлуатаційного стану покриттів в умовах перезволоження. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. 2019. Вип. 106. С. 6-12.

10. Славінська О.С., Бубела А.В. Проектування оптимальних конструкцій поперечних дренажів мілкого закладання та оцінка їх впливу на транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги : монографія. К. : НТУ, 2020. 268 с.

11. Slavinska O., Bubela A., Davydenko O. Prediction of the stress-strain state of a road structure with shallow transverse tubular drainage. *ScienceRise.* 2020. (4). С. 24-32. URL: https://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001396

12. Бубела А.В., Кватадзе А.І. Дослідження режимів роботи дренувальних шарів в дорожніх конструкціях. *Science Review.* 2020. 5(32*).* С. 24-29. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30062020/7140

TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR THE APPLICATION OF DRAINAGE LAYERS OF THE BASE OF ROAD SURFACE

Bubela Andrii V., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Dean of the Faculty of Transport Construction, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, tel.: +380505535594, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha–Pavlenko str., 1, http://orcid.org/0000-0002-5619-003X

Poliakov Volodymyr M., National Transport University, Postgraduate student of the Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: 153121@ukr.net, tel.: +380979878582, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, https://orcid.org/0000-0002-0408-7153

Abstract. In order to avoid long-term waterlogging of the structural layers of the pavement and base, it is necessary to prevent the accumulation of large amounts of free water in them by installing a shallow drainage system that allows water to be quickly drained from the road structure and ensures its strength. This also necessitates the determination of the efficiency of shallow drainage structures under the influence of vehicles.

The article examines the technological parameters for the arrangement of road base layers – sand layers with drainage pipes. The dynamics of the change in the area of the stamp of a pneumatic roller of different weights depending on the change in tire pressure is presented. Based on the finite element method, the stress-strain state of atypical road structures weakened by tubular drains made of materials of various origins was investigated.

Keywords: highway, road structure, subgrade, shallow drainage, drainage layer, tubular drain, pneumatic roller, roller stamp.

References

1. Slavins′ka O.S. Udoskonalennya metodu rozrakhunku parametriv poperechnoho drenazhu milkoho zakladannya na avtomobil′nykh dorohakh / O.S. Slavins′ka, A.V. Bubela, A.M. Onyshchenko, O.YU. Usychenko, V.V. St′ozhka // Visnyk Natsional′noho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovyy zhurnal. – K.: NTU, 2022, – Vyp. 1 (51). S. 352–362. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-352-362 [in Ukrainian].

2. Bubela A.V. Vyznachennya tekhnolohichnykh vymoh pry vlashtuvanni drenazhnykh konstruktsiy milkoho zakladannya / A.V. Bubela, V.M. Polyakov // Visnyk Natsional′noho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovyy, naukovo-vyrobnychyy zhurnal. – K.: NTU, 2023. – Vyp. 3 (57). S. 35–42. DOI: 10.33744/2308-6645-2023-3-57-035-042 [in Ukrainian].

3. Cedergren Harry R., O'Brien Kenneth H. Development of guidelines for the design of subsurface drainage systems for highway pavement structural sections. 1972. 193p.

4. Tsyprianovych I.V. Vodovidvidni i drenazhni systemy aerodromiv: Pidruchnyk. K.: NAU. 2002. 142s.

5. Lytvynenko A.S. Pro vplyv stanu gruntovykh osnov na stan dorozhnikh odyahiv na dilyankakh avtomobil′nykh dorih u nul′ovykh vidmitkakh i nevysokykh nasypakh. *Avtomobil'ni dorohy* : naukovo-vyrobnychyy zhurnal. 2014. Vyp. 6 (242). C. 35-39.

6. Kvatadze A.I. Metod vyznachennya rozrakhunkovykh periodiv vodno-teplovoho rezhymu dlya rozrakhunku drenazhnykh prystroyiv. *Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo*. Issue 98. 2016. P. 79-84. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/98/079-084.pdf.

7. Haydaychuk V.V., Moz·hovyy V.V., Zayets′ YU.O., Shevchuk L.V. Modelyuvannya napruzheno-deformovanoho stanu konstruktsiyi dorozhn′oho odyahu pid diyeyu transportnykh navantazhen′. *Opir materialiv i teoriya sporud*. 2017. 99. s.45–57. http://opir.knuba.edu.ua/zbirnyk-99/article-818

8. Slavinska O., Savenko V., Bubela A., Yaremov A. Investigation of the work of the road construction at the sites by pipedrenes from materials of different origin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol 2. 7 (92). URL: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126512 (SCOPUS)

9. Bubela A.V. Doslidzhennya zminy transportno-ekspluatatsiynoho stanu pokryttiv v umovakh perezvolozhennya. *Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo* : naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. 2019. Vyp. 106. C. 6-12.

10. Slavins′ka O.S., Bubela A.V. Proektuvannya optymal′nykh konstruktsiy poperechnykh drenazhiv milkoho zakladannya ta otsinka yikh vplyvu na transportno-ekspluatatsiynyy stan avtomobil′noyi dorohy : monohrafiya. K. : NTU, 2020. 268 s.

11. Slavinska O., Bubela A., Davydenko O. Prediction of the stress-strain state of a road structure with shallow transverse tubular drainage. *ScienceRise.* 2020. (4). C. 24-32. URL: https://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001396

12. Bubela A.V., Kvatadze A.I. Doslidzhennya rezhymiv roboty drenuval′nykh shariv v dorozhnikh konstruktsiyakh. *Science Review*. 2020. 5(32). C. 24-29. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30062020/7140

УДК 625.70
UDC 625.70

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-063-075

IMPACT OF DEFECTS AND DESTRUCTION ON THE CHANGE IN THE BEARING CAPACITY AND DURABILITY OF RIGID PAVEMENT STRUCTURES
Part 1. Clarification of the stress-strain state of a cement concrete slab

ВПЛИВ ДЕФЕКТІВ ТА РУЙНУВАНЬ НА ЗМІНУ НЕСНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ЖОРСТКИХ ПОКРИТТІВ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ
Частина 1. Уточнення напружено – деформованого стану цементобетонної плити



***Igor Gameliak**, Sc.D., Professor, National Transport University, Head of department «transport infrastructure objects and geodesy», e-mail: gip65@gmail.com, +3805035 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 346*

https://orcid.org/0000-0001-9246-7561



***Anna Kharchenko,** Sc.D., Professor, National Transport University, Professor of Transport Construction and Property Management Department, e-mail: anna-x3@ukr.net, tel. +380442807909, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 323*

https://orcid.org/0000-0001-8166-6389



***Andij Dmytrychenko,** Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department Transport Law and Logistic, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1*

https://orcid.org/0000-0001-6144-7533

Summary. Various theoretical models and formulas are considered, in particular the Winkler-Zimmermann hypothesis and the Westergaard method, for calculating the stresses and deflections of slabs under loading in the center, at the edge and at the corner. The main type of failure of rigid road pavements is the chipping of the corners of the slabs, which is often observed in concrete without reinforcement. The analysis shows that the most dangerous location of the load is at the corner of the slab, where the stresses are 1.8 times greater than in the center.

Keywords: rigid road pavement, defects and destruction, cracks, transition coefficient, slab, deflection, bending moment

Introduction.

Under the influence of vehicles and weather and climatic factors, micro defects accumulate in the layers of materials treated with binders, which eventually develop into macro cracks; contact destruction of crushed stone grains occurs with the appearance and accumulation of small particles surrounding these grains and in the presence of water, small parts of the destruction are plasticized; the material of the drainage layer is silted, which impairs its filtration capacity and, in combination with increased cracks in the connective layers and the flow of atmospheric water, this leads to waterlogging of the soil. All this, ultimately, leads to a decrease in the overall modulus of elasticity of the road pavement.

For the first time, an attempt to assess the change in layer moduli depending on the condition of the pavement in terms of destruction was made at the KhADI by prof. A.K. Birulya [1]. When implementing VSN 46-72 by the authors of the work [2], on the basis of experimental data from the Khadi, it was recommended to multiply the calculated values of the layer modulus by decreasing coefficients, the values of which depend on the presence of defects and destruction, depending on the degree of their development, after a visual assessment of the condition of the layers when opening the pavement. These results, practically unchanged, are now accepted in the pavement management system (SUSP), which is implemented by NTU specialists in the organizations of the corporation "Ukravtodor".

The paper [3] presents the results of measuring elastic deflections with an increase in the number of axial loads applied during the testing of road pavement. In this case, by the time visible cracks appeared on the surface of the pavement, the deflection increased by 1,8 times, and after their development - by 2,3 times compared to the deflection at the beginning of the tests.

Presenting main material.

During the inspection of roads, similar results were obtained, which show that in the destroyed areas the average modulus of elasticity is 1,9 times less than the average total modulus of elasticity of the road pavement in undeformed areas [3-4].

In Belgium [4], the results of experimental surveys proposed the following dependence for calculating the equivalence coefficient of cement concrete with defects relative to crushed stone:

$$a_l = \left(E_l / E_{sch}\right)^{1/3}, \quad (1)$$

where E_l is the modulus of elasticity of cement concrete;

E_{sch} = 500 MPa – modulus of elasticity of the crushed stone layer – are made dependent on the condition of the cement concrete pavement.

So, for a new pavement a_l = 2.7, and for a very badly destroyed a_l = 1.0, which corresponds to crushed stone. Then the decreasing coefficients to the modulus of elasticity of cement concrete have the following values (Table 1):

In general, it can be stated that despite the significant impact of deformations and destruction on the strength of the road pavement, the results of direct measurement of the reduction in the bearing capacity of the pavement structure are clearly not enough. There are even fewer works devoted to the theoretical description of the impact of defects and destruction on changes in the strength of the pavement structure during operation.

The purpose of the work is to establish mathematical dependencies to assess the effect of mechanical damage to the pavement on the overall modulus of elasticity of the pavement.

Research review. Cement concrete pavements are designed with the assumption that the slab rests on a perfectly flat base, not taking into account the joint work between the concrete and the substrate.

In the United States, several methods of designing cement-concrete pavements have been developed [5 - 10].

Table 1 *– Reduction coefficients to the modulus of elasticity of cement concrete*
Таблиця 1 *– Коефіцієнти зниження модуля пружності цементобетону*

New pavement	1,00
No cracks, moderate deformities	0,80
Crack insulation, moderate deformations	0,41
Frequent cracks, crack mesh, individual deformities	0,17
Frequent cracks, a network of cracks or traces of repair on a large part of the coastline, severe or frequent deformations	0,05

The main ones are:

- ACPA (American Cement Concrete Pavement Association) method since 1991,
- AASHTO method (American Association of State Road and Transportation Employees) from 1993 [5, 6].

The above methods, which are successfully used in the USA, are based on the theoretical solution of Westergaard [7 - 8], modified by local conditions, according to which, taking into account the coefficient of the bedding *Ks* of the substrate and the tensile strength when bending cement concrete, the thickness of the concrete slab is established.

In our country, the calculation of rigid garments is carried out in accordance with SNiP 2.05.08-85 for aerodrome pavements [9] and **GBN** V.2.3-37641918-557 for road pavements [10].

The experience of inspecting linear infrastructure facilities indicates that the first and main type of destruction is breaking off the corners of pavements. Therefore, it is important to find theoretical confirmation of this mechanism.

This problem is important for new types of rolled concrete pavements, where, for technological reasons, there are no rebar and reinforcement in the seam area.

The purpose of the study: to establish analytical dependencies for calculating the impact of cracks and joints on reducing the bearing capacity and durability of cement concrete pavements.

Problem statement. The mechanism of destruction of plates in time can be divided into the following stages: exceeding the permissible loads on the support, wheel or axle and breaking the corner of one plate → water flowing into cracks and seams and soaking the plate at a cracked corner and weakening the base → sedimentation of the broken part → breaking the corner of the plate located in front or in another lane of movement → the settlement of parts, broken off with stagnant water and filling with dirt → subsequent breaking off of the body of the plate with the formation of block cracks → grinding of block cracks with the formation of a network of cracks "crocodile skin" → complete loss of bearing capacity (Table 2).

This situation is typical for objects that have served more than 40 ... 50 years at rated load and for newly built, after 3-4 years with a significant excess of permissible design loads.

The coefficient of bringing to the equivalent bearing capacity for fractures in the form of breaking the corner of the slabs is located (in the absence of reinforcement of the slabs or the presence of rebars in the joints, etc.) as the stress ratio at the corner of the slab σ_c to the center of the slab σ_i:

$$K_{c_i} = \frac{\sigma_c}{\sigma_i}. \quad (2)$$

The coefficient of bringing to the equivalent bearing capacity for fractures in the form of breaking the edge of the slabs is located (in the absence of reinforcement of the slabs or the presence of pins in the joints, etc.), as the ratio of stress at the edge σ_{eg} of the slab to the center of the slab σ_i:

$$K_{eg_i} = \frac{\sigma_{eg}}{\sigma_i}. \quad (3)$$

Reduction coefficient, as the ratio of stress at the corner of the slab to the edge of the slab:

$$K_{c_eg} = \frac{\sigma_c}{\sigma_{eg}}. \quad (4)$$

Table 2 *– Mechanism (dynamics in time) of destruction of cement-concrete slabs of linear infrastructure facilities (roads, airfields, container sites of ports, logistics centers, etc.)*

Таблиця 2 *– Механізм (динаміка в часі) руйнування цементобетонних плит лінійних інфраструктурних об'єктів (доріг, аеродромів, контейнерних майданчиків портів, логістичних центрів тощо)*

Destruction of cement-concrete slabs	**Destruction of cement-concrete slabs in time**
	
a) breaking off the corner of the slab	b) subsidence and breaking off of two or three adjacent corners of the slabs
	
b) the development of a branch of cracks from corner cracks with the division of the plates into three or four parts	c) further subsidence and breaking off of four adjacent corners of the slabs with formation of cracks parallel and perpendicular to the corner ones
	
d) progressive destruction of slabs with the formation of block cracks (stagnation of water in subsidence zones, waterlogging of the base)	e) grinding block cracks with the formation of a network of cracks "crocodile skin".

Similarly, for the second group of boundary states, we have the corresponding ratios of deflection the corner δ_c and egle δ_{eg} to deflections center of the slab δ_i:

$$\Delta_{c_i} = \frac{\delta_c}{\delta_i}, \qquad \Delta_{eg_i} = \frac{\delta_{eg}}{\delta_i}, \qquad , \Delta_{c_eg} = \frac{\delta_c}{\delta_{eg}}. \tag{5}$$

Assumptions of the Westergaard method

The formulas for determining the thickness of a concrete slab were determined using the Winkler-Zimmermann hypothesis, which assumes that the response of the soil to external loads is directly proportional to the magnitude of the load [6 - 7]:

Three cases of load installation are considered: in the center of the slab, at the edge and in the corner of the slab,

With the external load, the safety factor of 1,15 and the dynamic impact of the load due to the coefficient of dynamism K_{dyn} = 1,2 … 1,3 should be taken into account.

Theoretical calculation model

In the computational model of the method, a slab resting on a Winkler base is characterized by a coefficient of base (soil) resistance (bedding) *K*. The material of the slab is characterized by the following parameters: modulus of elasticity of cement concrete *E* and Poisson's coefficient ν. 1 below.

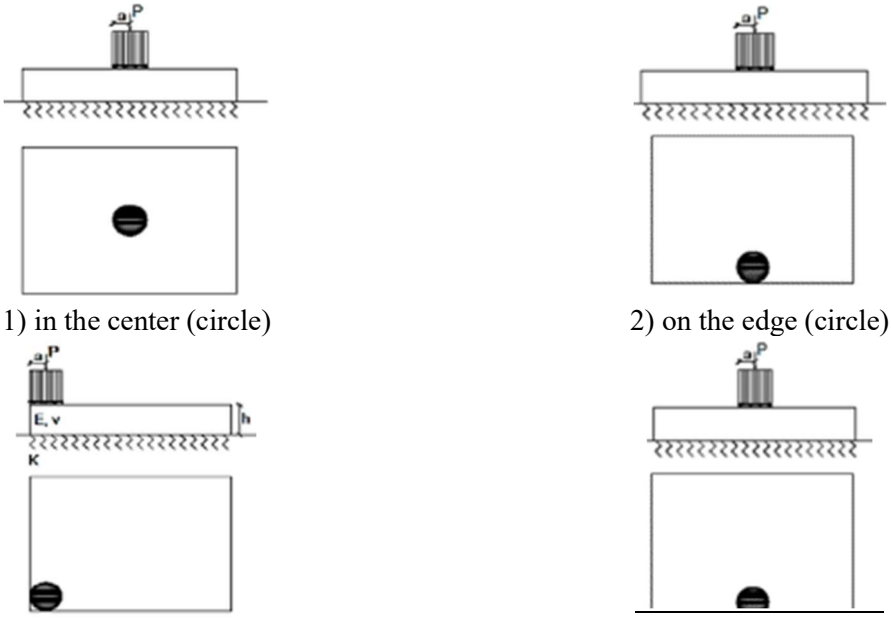
The calculation of the stress according to the tensile criterion during bending of monolithic layers is performed depending on the contact conditions between the layers:

a) "soldered" contact, when the layers are completely interlocked;

b) contact with "slippage" – incomplete contact, taking into account the shear;

c) "smooth or slippery contact" - there is no grip.

The first case is practically difficult to implement. The second most closely matches the contact conditions for the pavement layers. The most dangerous for the work of the pavement is the last case.



1) in the center (circle) 2) on the edge (circle)

3) at the corner (circular) 4) on the edge (semicircular)

Figure 1 *– Model for calculating pavement by the Westergaard method [6 - 7]*
Рисунок 1 – *Модель для розрахунку покриття методом Вестергаарда [6-7]*

According to the assumptions, the methods of stress in the plate are determined in three places, using the following ratios [6 - 23]:

I. INTERIOR LOADING (LOAD IN THE PLATE'S CENTER)

As defined by Westergaard, this is the case of a wheel load at a "considerable distance from the edges," [14] with pressure "assumed to be uniformly distributed over the area of a small circle with radius a" [15]. After an extensive literature survey and comparisons with finite element results, the following interior loading equations are considered to be in their most general form.

Maximum bending stress, σ_{ri}:

1.Ordinary theory of Westergaard's

$$\sigma_{i_orig} = \frac{3P}{h^2}\cdot\frac{(1+\mu)}{2\pi}\cdot\left(\log\left(\frac{1}{a}\right)+0,5-\gamma\right)+\frac{3P}{64h^2}(1+\mu)\left[\left(\frac{a}{1}\right)^2\right]. \quad (6)$$

2. Special theory:

$$\sigma_{i_spec} = \frac{3P}{h^2}\cdot\frac{(1+\mu)}{2\pi}\cdot\left(\log\left(\frac{2\cdot l}{b}\right)+0,5-\gamma\right)+\frac{3P}{64h^2}(1+\mu)\left[\left(\frac{b}{1}\right)^2\right]. \quad (7)$$

3. For square:

$$\sigma_{i_sque} = \frac{3P}{h^2}\cdot\frac{(1+\mu)}{2\pi}\cdot\left(\log\left(\frac{2\cdot l}{cl}\right)+0,5-\gamma\right)+\frac{3P}{64h^2}(1+\mu)\left[\left(\frac{c^1}{1}\right)^2\right]. \quad (8)$$

4. For the center of the slab from the circular load:

At large values of the pavement thickness, which is typical for aerodromes and roads of I - II category with cement-concrete pavement, the solution of the Westergaard theory of thick plates can be used to calculate the maximum tensile stresses on the lower surface of the plate:

$$(\sigma_r)_{\max} = 0,275\cdot(1+\mu)\frac{P}{{h_r}^2}\left(4\lg\left(\frac{E\cdot h^3}{12(1-\mu^2)K\cdot b^4}\right)+1,069\right), \quad (9)$$

5. Maximum deflection, for load distributed in a circle, δ_i:

$$\delta_{i_orig} = \left(\frac{P}{8kl^2}\right)\cdot\left[1+\left(\frac{1}{2\pi}\right)\left(\ln\left(\frac{a}{2l}\right)+\gamma-\frac{5}{4}\right)\cdot\left(\frac{a}{l}\right)^2\right] \quad (10)$$

II. EDGE LOADING

Westergaard defined edge loading as the case in which "the wheel load is at the edge, but at a considerable distance from any corner." The pressure is assumed to be "distributed uniformly over the area of a small semi-circle with the center at the edge" (~). Equations for a circular load at the edge were first presented in 1948 [16]. The most general forms of the edge loading formulas follow.

Equations for circular load at edges were first introduced in 1948 [16]. The most common forms of formulas for plate edge loads are given below:

Maximum bending stress, $\sigma_{eg.}$

1. Conventional theory (semicircle):

$$\sigma_{e_WOT} = \frac{0,529P}{h^2}\cdot(1+0,54\mu)\cdot\left(\log\left(\frac{E\cdot h^3}{k{a_2}^4}\right)-0,71\right), \quad (11)$$

2. Special theory (semicircle):

$$\sigma_{e_WST} = \frac{0,529P}{h^2} \cdot (1+0,54\mu) \cdot \left(\log\left(\frac{E \cdot h^3}{k{b_2}^4} \right) - 0,71 \right), \quad (12)$$

3. "New" formula (circle):

$$\sigma_{e_EIC} = \left[\frac{3P}{\pi h^2} \cdot \left[\frac{(1+\mu)}{(3+\mu)} \right] \right] \cdot \left[\ln\left(\frac{Eh^3}{100ka^4} \right) + 1,84 - \frac{4\mu}{3} + \left(\frac{1-\mu}{2} \right) + 1,18(1+2\mu)\left(\frac{a}{l} \right) \right], \quad (13)$$

4. "New" formula (semicircle):

$$\sigma_{e_EIC} = \left[\frac{3P}{\pi h^2} \cdot \left[\frac{(1+\mu)}{(3+\mu)} \right] \right] \cdot \left[\ln\left(\frac{Eh^3}{100k{a_2}^4} \right) + 3,84 - \frac{4\mu}{3} + \left(\frac{1+2\mu}{2} \right) \right] \cdot \frac{a_2}{l}, \quad (14)$$

5. Simplified "New" formula (semicircle):

$$\sigma_{e_SEIS} = \left[\left(\frac{-6P}{h^2} \right) \cdot (1+0,5\mu) \cdot \left[0,489 \log\left(\frac{a_2}{1} \right) + 0,091 - 0,027\left(\frac{a_2}{l} \right) \right] \right], \quad (15)$$

6. Simplified "New" formula (circle) (Loseberg equation):

$$\sigma_{e_SEIC} = \left(\frac{-6P}{h^2} \right) \cdot (1+0,5\mu) \cdot \left[0,489 \log\left(\frac{a}{1} \right) + 0,012 - 0,063\left(\frac{a}{l} \right) \right], \quad (16)$$

7, The Kelly equation for edge load is represented below with *b*, which is equal to the load radius of the plate [17]:

$$\sigma_{\max} = 0,529(1+0,54\mu)\frac{P}{h^2}\log\left(\frac{0,20Eh^3}{Kb^4} \right), \quad (17)$$

Maximum deflection, δ_{eg}:

1. Original formula:

$$\delta_{e_загальне} = (1+0,4\mu)\left(\frac{1}{\sqrt{6}} \right) \cdot \left(\frac{P}{kl^2} \right), \quad (18)$$

2. "New" formula (circle):

$$\delta_{e_EIC} = \left[\frac{P(2+1,2\mu)^{\frac{1}{2}}}{(Eh^3k)^{\frac{1}{2}}} \right] \cdot \left[1-(0,76+0,4\mu)\left(\frac{a}{l} \right) \right], \quad (19)$$

3. New formula (semicircle):

$$\delta_{e_EIS} = \left[\frac{P(2+1,2\mu)^{\frac{1}{2}}}{(Eh^3k)^{\frac{1}{2}}} \right] \cdot \left[1-(0,323+0,17\mu)\left(\frac{a_2}{l} \right) \right], \quad (20)$$

4. Simplified "new" formula (semicircle):

$$\delta_{e_ELS} = \left(\frac{1}{\sqrt{6}} \right) \cdot (1+0,4\mu)\left(\frac{P}{kl^2} \right) \left[1-0,323(1+0,5\mu)\left(\frac{a_2}{l} \right) \right], \quad (21)$$

5. Simplified "new" formula (circle):

$$\delta_{e_ELC} = \left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)\cdot(1+0,4\mu)\left(\frac{P}{kl^2}\right)\left[1-0,760(1+0,5\mu)\left(\frac{a}{l}\right)\right], \quad (22)$$

III. CORNER LOADING

Of the three fundamental cases of loading investigated by Westergaard, corner loading is undoubtedly the most obscure and debatable. The theoretical background for maximum corner deflection and stress equations is particularly weak. Their semiempirical and approximate nature has led to numerous revisions and modifications in the years since their original publication, in an attempt to reconcile observed slab behavior with theory. These are discussed by Kelley [17] and Pickett [18] and are summarized as follows:

Maximum bending stress, σ_{cor}:

1. Goldbeck [19], Older [20]:

$$\sigma_{cl} = \left(\frac{3P}{h^2}\right), \quad (23)$$

2. Westergaard [5] Ioannides et al.:

$$\sigma_{c2} = \left(\frac{3P}{h^2}\right)\left[1,0-\left(\frac{a_1}{l}\right)^{0,6}\right], \quad (24)$$

$$\sigma_{max} = \frac{3P}{h^2}\left(1-\left(\frac{1-41b}{\left(\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)K}\right)^{0,25}}\right)^{0,6}\right), \quad (25)$$

or

3. Bradbury [21]:

$$\sigma_{c2a'} = \left(\frac{3P}{h^2}\right)\left[1,0-\left(\frac{a}{l}\right)^{0,6}\right], \quad (26)$$

4. Kelly [17], Teller and Sutherland [22]:

$$\sigma_{c3} = \left(\frac{3P}{h^2}\right)\left[1,0-\left(\frac{a_1}{l}\right)^{1,2}\right]. \quad (27)$$

5. Spangler [16]:

$$\sigma_{c4} = \left(\frac{3,2\cdot P}{h^2}\right)\left[1,0-\left(\frac{a_1}{l}\right)\right]. \quad (28)$$

6. Pickett [18]:

$$\sigma_{c5}(Pa) = \frac{4,2P}{b^2}\left(1-\left(\frac{\sqrt{a/\ell}}{0,925+0,22(a/\ell)}\right)\right). \quad (29)$$

7. Geoffroy:

$$\sigma_{k_Gam} = \frac{P}{h^2}\left[2,7202e^{1,741\cdot\left(\frac{a}{l}\right)}\right]. \quad (30)$$

Geoffroy and Pickett's formulas differ only by a factor of (1+μ).

8. Finite element solution [23]:

$$\sigma_c = \left(\frac{3P}{h^2}\right)\left[1,0-\left(\frac{c}{l}\right)^{0,72}\right]. \quad (31)$$

9. Suggested based on research data:

$$\sigma_{c_Gam} = (1+\mu)\cdot\frac{P}{h^2}\left[e^{1-(e-1)\cdot\left(\frac{a}{l}\right)}\right]. \quad (32)$$

Maximum deflection, $\delta_{cor.}$:

11. Original formula Westergaard:

12.

$$\delta_c = \left(\frac{P}{kl^2}\right)\left[1,1-0,88\left(\frac{a_1}{l}\right)\right]. \quad (33)$$

11. Approximation of calculations by the finite element method:

$$\delta_{cMCE} = \left(\frac{P}{kl^2}\right)\left[1,205-0,69\left(\frac{c}{l}\right)\right]. \quad (34)$$

The above formulas indicate:

P – the value of the applied load on the wheel;

h – the required thickness of the cement concrete slab;

Plate length, not less than $L = 5\cdot l$;

l – the radius of relative rigidity, determined by the dependence [10 -13]:

$$l = \sqrt[4]{\frac{E\cdot h^3}{12\cdot\left(1-\nu^2\right)\cdot K_{os}}}, \quad (35)$$

where Z=0,2; for reliability 80%.

A – the radius of the loading surface;

ν – the Poisson's ratio for cement concrete;

$a_1 = a\cdot\sqrt{2}$; $b = \sqrt{1,6\cdot a^2+h^2}-0,675\cdot h$ - equivalent radius of stress distribution on the bottom surface of the plate,

E – the modulus of elasticity of the cement concrete from which the slab is made;

K_{os} – the coefficient of base (soil) resistance under the cement concrete slab (cement concrete on the existing base and soil):

$$b_k = \sqrt{1,6\cdot\frac{D^2}{4}+h_r^2}-0.675\cdot h_r \text{, for } D/2< 1,724\cdot h, \quad b_k = \frac{D}{2} \text{ for } D/2 \geq 1,724\cdot h \quad , \quad (36)$$

The latter formula is widely used to calculate aerodrome cement concrete pavements.

The change in tensile stresses during bending for the center, edge (according to the refined Westergaard formulas) and corner of the plate when calculated according to our approximations depending on the thickness of the plate is shown in Fig. 2.

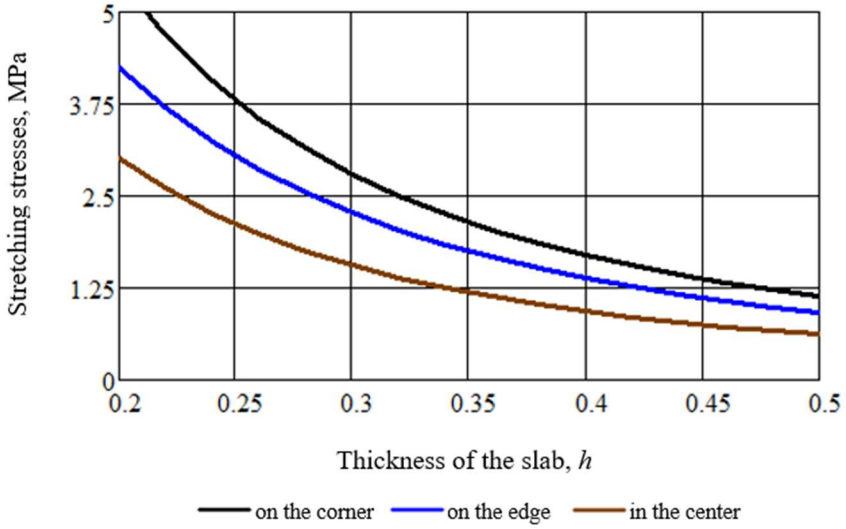


Figure 2 *– Comparison of tensile stresses during bending for the center, edge (according to the refined Westergaard formulas) and corner of the plate when calculated according to our approximations*

Рисунок 2 *– Порівняння напружень розтягу під час згинання для центру, краю (згідно з уточненими формулами Вестергаарда) та кута пластини при розрахунку за нашими наближеннями*

Conclusions

The paper presents an analysis of the analytical relationships for determining stresses and strains in a cement concrete slab, used in various codes for the design of rigid pavements.

The comparison is made starting with the pioneering analytical work of N.M. Westergaard, which has been the basis of slab pavement design since the 1920s. Every code of practice published since then contains a reference to the "Westergaard solution".

These solutions are obtained for three specific loading conditions (internal, edge and corner) and assume a slab of infinite or semi-infinite dimensions. Since their first appearance, starting in the early 1920s, the Westergaard equations have often been misquoted or incorrectly applied in subsequent publications.

Westergaard's original equation for the edge stress is incorrect. Instead, the long-ignored equation given in his 1948 paper should be used. Improved expressions for maximum angular loads have been developed. Dependencies for calculating deflections in a cement concrete slab of a rigid road pavement have also been analyzed.

The specified dependencies are recommended for use in the development of domestic regulatory documents for the design of rigid road pavements.

References

1. Birulia A.K., Mikhovych S.I. Pratsezdatnist dorozhnoho odiahu. 1968. 172s.

2. Metodychni rekomendatsii shchodo konstruiuvannia ta rozrakhunku nezhorstkykh dorozhnikh odiahiv stosovno VSN 46-72 dlia umov URSR// Radovskyi B.S., Iliev E.B., Shcherbakova Ye.Ya., Sidenko V.M., Kaluzkyi Ya.A., Batrakov O.T. Riapukhin V.M./Derzhdornii. Kyiv,1976. 108s.

3. Coffman B.S., Ilves G.J., Edwards W.F. The fatique of flexible pavements.- Proceeding 3-rd International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements. London, 1972, p.590-607.

4. Heleven L., Verstraeten J., Vererka V., Latest developments in the analytical methods for the design of new pavements and strengthening overlays in Belgium.- Proc. 6-th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements. Ann Arbor, 1985, p.121-129.

5. Radovskyi B.C., Suprun A.S., Kozakov I.I. Proektuvannia dorozhnoho odiahu dlia rukhu velykovantazhnykh avtomobiliv. K.: Budivelnyk, 1989. 168 s.

6. AASHTO: Design of Pavement Structures. Part II. Rigid Pavement Design & Rigid Pavement Joint Design‖. AASHTO 1998.

7. AASHTO Specification M – 148-2005, USA. 2005.

8. Minnesota Department of Transportation, „Whitetopping Design Procedure‖ Minnesota Department of Transportation Office of Materials & Road Research Pavement Engineering Section, marzec 2012.

9. Westergaard, H.M. Asce E. New formulas for stresses in concrete pavements of airfields, Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. 113, No. 1, January 1948.

10. Gameliak I.P., Kharchenko A.M., Dmytrychenko A.M. Analiz metodiv vyznachennia stupeniu poshkodzhennia tsementobetonnykh pokryttiv avtomobilnykh dorih ta aerodromiv. Naukovyi zhurnal «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo», 2024. Vypusk 116. Chastyna 1. S.71-80. DOI:10.33744/0365-8171-2024-116.1-071-080

11. HBN V.2.3-37641918-557:2016 «Avtomobilni dorohy. Dorozhnii odiah zhorstkyi. Proektuvannia». – Kyiv. – Ministerstvo infrastruktury, 2017. – 75 s.

12. Gameliak I.P. Vplyv ruinuvan na zminu mitsnosti konstruktsii dorozhnoho odiahu. // Avtomob. dorohy i dor. bud-vo, Kyiv, NTU, 2001. № 62. S. 157-165.

13. Gameliak, I. P. Kompgiuterni tekhnolohii proektuvannia zhorstkykh dorozhnikh odiahiv / I. P. Hameliak, O. V. Rodchenko // Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy. - 2020. - № 3. - S. 17-23.

14. Tabatabaie A.M., Barenberg E.J., and R.E. Smith. Longit~dinol Joint Systems in SlipForrned Rigid Pavements, Vol. II: Analysis of Load Transfer Systems for Concrete Pavements. Report FAA-RD-79-4, II. U.S. Department of Transportation, Nov. 1979.

15. Thompson M.R., Barenberg E.J., Ioannides A.M., and J .A. Fischer. Development of a Stress Dependent Finite Element Slab Model. Report TR-83-1061. U.S. Air Force Office of Scientific Research, Air Force Systems Command, Bolling Air Force Base, Washington, D.C., May 1983.

16. Westergaard H.M. New Formulas for Stresses in Concrete Pavements of Airfields. ASCE Transactions, Vol. 113, 1948.

17. Kelley E.F. Application of the Results of Research to the Structural Design of Concrete Pavement, Public Roads, Vol. 20, No. 5, July 1935; Vol. 20, No. 6, Aug. 1939.

18. Pickett G. Concrete Pavement Design, Appendix III: A Study of Stresses in the Corner Region of Concrete Pavement Slabs Under Large Corner Loads. Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1946, reprint 1951.

19. Goldbeck A.T. Thickness of concrete Slabs. Public Roads, Vol. 1, No. 12, April 1919.

20. Older C. Highway Research in Illinois. ASCE Transactions, Vol. 87, 1924.

21. Bradbury R.D. Reinforced Concrete Pavements. Wire Reinforcement Institute, Washington, D.C., 1938.

22. Teller L.W. and Sutherland E.C. The Structural Design of Concrete Pavements, Part 5: An Experimental Study of the Westergaard Analysis of Stress Condition in Concrete Pavement Slabs of Uniform Thickness. Pubic Roads, Vol. 23, No. 8, April-June 1943.

23. Ioannides, A M, Thompson, M R, Barenberg, E J. Transportation Research Record 1043.1985. P.P. 13-23. http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1985/1043/1043-003.pdf

ВПЛИВ ДЕФЕКТІВ ТА РУЙНУВАНЬ НА ЗМІНУ НЕСНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ЖОРСТКИХ ПОКРИТТІВ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

Частина 1. Уточнення напружено – деформованого стану цементобетонної плити

Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри системного проєктування об’єктів транспортної інфраструктури та геодезії , e-mail: gip65n@gmail.com., +380503524124, https://orcid.org/0000-0001-9246-7561

Харченко Анна Миколаївна, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: anna-x3@ukr.net, тел. +380442807909, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 323, https://orcid.org/0000-0001-8166-6389

Дмитриченко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006, https://orcid.org/0000-0001-6144-7533

Анотація: Стаття присвячена оцінці впливу механічних пошкоджень покриття цементобетонних жосртких дорожніх одягів на їх загальний модуль пружності та довговічність. Зазначається, що руйнування, спричинені транспортними засобами та погодними умовами, знижують модуль пружності дорожнього покриття.

Розглянуто різні теоретичні моделі та формули, зокрема гіпотезу Вінклера-Циммермана та метод Вестергаарда, для розрахунку напружень та прогинів плит під навантаженням у центрі, на краю та на куті. Основним типом руйнування жорстких дорожніх покриттів є відколювання кутів плит, яке часто спостерігається в бетоні без армування. Аналіз показує, що найбільш небезпечним є розташування навантаження на куті плити, де напруження в 1,8 раз більші ніж по центру.

Ключові слова: жорстке дорожнє покриття, дефекти та руйнування, тріщини, коефіцієнт переходу, плита, прогин, згинальний момент.

Перелік посилань

1. Біруля А.К., Міхович С.І. Працездатність дорожнього одягу. 1968. 172с.

2. Методичні рекомендації щодо конструювання та розрахунку нежорстких дорожніх одягів стосовно ВСН 46-72 для умов УРСР// Радовський Б.С., Ільєв Е.Б., Щербакова Є.Я., Сіденко В.М., Калузький Я.А., Батраков О.Т. Ряпухін В.М./Держдорнії. Київ,1976. 108с.

3. Coffman B.S., Ilves G.J., Edwards W.F. The fatique of flexible pavements.- Proceeding 3-rd International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements. London, 1972, p.590-607.

4. Heleven L., Verstraeten J., Vererka V., Latest developments in the analytical methods for the design of new pavements and strengthening overlays in Belgium.- Proc. 6-th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements. Ann Arbor, 1985, p.121-129.

5. Радовський В.С., Супрун А.С., Козаков І.І. Проектування дорожнього одягу для руху великовантажних автомобілів. К.: Будівельник, 1989. 168 с.

6. AASHTO: Design of Pavement Structures. Part II. Rigid Pavement Design & Rigid Pavement Joint Design‖. AASHTO 1998.

7. AASHTO Specification M – 148-2005, USA. 2005.

8. Minnesota Department of Transportation, „Whitetopping Design Procedure‖ Minnesota Department of Transportation Office of Materials & Road Research Pavement Engineering Section, marzec 2012.

9. Westergaard, H.M. Asce E. New formulas for stresses in concrete pavements of airfields, Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. 113, No. 1, January 1948.

10. Гамеляк І.П., Харченко А.М., Дмитриченко А.М. Аналіз методів визначення ступеню пошкодження цементобетонних покриттів автомобільних доріг та аеродромів. Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», 2024. Випуск 116. Частина 1. С.71-80. DOI:10.33744/0365-8171-2024-116.1-071-080

11. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 «Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування». – Київ. – Міністерство інфраструктури, 2017. – 75 с.

12. Гамеляк І.П. Вплив руйнувань на зміну міцності конструкції дорожнього одягу. // Автомоб. дороги і дор. буд-во, Київ, НТУ, 2001. № 62. С. 157-165.

13. Гамеляк, І. П. Компґютерні технології проектування жорстких дорожніх одягів / І. П. Гамеляк, О. В. Родченко // Промислове будівництво та інженерні споруди. - 2020. - № 3. - С. 17-23.

14. Tabatabaie A.M., Barenberg E.J., and R.E. Smith. Longit~dinol Joint Systems in SlipForrned Rigid Pavements, Vol. II: Analysis of Load Transfer Systems for Concrete Pavements. Report FAA-RD-79-4, II. U.S. Department of Transportation, Nov. 1979.

15. Thompson M.R., Barenberg E.J., Ioannides A.M., and J .A. Fischer. Development of a Stress Dependent Finite Element Slab Model. Report TR-83-1061. U.S. Air Force Office of Scientific Research, Air Force Systems Command, Bolling Air Force Base, Washington, D.C., May 1983.

16. Westergaard H.M. New Formulas for Stresses in Concrete Pavements of Airfields. ASCE Transactions, Vol. 113, 1948.

17. Kelley E.F. Application of the Results of Research to the Structural Design of Concrete Pavement, Public Roads, Vol. 20, No. 5, July 1935; Vol. 20, No. 6, Aug. 1939.

18. Pickett G. Concrete Pavement Design, Appendix III: A Study of Stresses in the Corner Region of Concrete Pavement Slabs Under Large Corner Loads. Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1946, reprint 1951.

19. Goldbeck A.T. Thickness of concrete Slabs. Public Roads, Vol. 1, No. 12, April 1919.

20. Older C. Highway Research in Illinois. ASCE Transactions, Vol. 87, 1924.

21. Bradbury R.D. Reinforced Concrete Pavements. Wire Reinforcement Institute, Washington, D.C., 1938.

22. Teller L.W. and Sutherland E.C. The Structural Design of Concrete Pavements, Part 5: An Experimental Study of the Westergaard Analysis of Stress Condition in Concrete Pavement Slabs of Uniform Thickness. Pubic Roads, Vol. 23, No. 8, April-June 1943.

23. Ioannides, A M, Thompson, M R, Barenberg, E J. Transportation Research Record 1043.1985. P.P. 13-23. http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1985/1043/1043-003.pdf

The publication was prepared based on the materials received as part of the project 2023.04/0097 "Creation of a technology and a system of operational analysis and management of cement-concrete pavement condition of critical infrastructure objects based on spectral photoinformational images", financed by the National Research Fund of Ukraine.

УДК 624.04:629.01
UDC 624.04:629.01

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-076-085

ANALYSIS OF THE EFFECT OF TRANSVERSE SHEAR DEFORMATION ON THE STIFFNESS OF SHORT BEAMS



***Ilchenko Iryna**, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Strength of Materials and Mechanical Engineering Department, e-mail: budivmeh@gmail.com, tel. +380442804368, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 113*

https://orcid.org/0000-0002-9355-5632



***Gorbunovich Iryna,** PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Higher Mathematics Department, e-mail: irina.gorbunovich@gmail.com, tel. +380676001177, Ukraine, 01103, Kyiv, Boychuka str.,42, of. 514*

https://orcid.org/0000-0002-6859-0663

Summary. The article examines the deformations of short elastic beams with different cross-sections under concentrated and uniformly distributed loads. The effect of transverse shear deformations on the stiffness of the beams is investigated.

A second-order differential equation is used as a mathematical model of the problem, formed with consideration of pure bending and transverse shear deformations [1]. Boundary conditions are specified for simply supported and cantilever beams.

The boundary value problem is solved analytically and using the finite element method (FEM), allowing control over different levels of accuracy. The maximum deflections of beams with different cross-sections (rectangular, I-shape, circular, and annular) are determined. Timoshenko beam theory is applied to obtain beam deflections [2].

Modern structural design relies on computer-aided design (CAD) systems, which enable the creation of precise structural models and the analysis of their behavior under realistic conditions. CAD software with integrated finite element tools enables the analysis of the behavior and the identification of specific deformations in both individual components and the entire structures [3].

Three-dimensional finite element modeling of beams was performed using the SCAD and LIRA software [4, 5]. Graphs of mesh convergence for the deflections of the I-shaped cantilever beams were plotted. A comparison of analytical and numerical solutions of the boundary value problem demonstrated a high level of accuracy, indicating the efficiency of the applied approaches.

The obtained results have practical significance for structural engineers, particularly in analyzing short beam deformations during the design of beams with different cross-sections. Additionally, these research findings can be incorporated into the educational process for the "Strength of Materials" course.

Keywords: simply supported beam, cantilever beam, thin-walled cross-sections, parametric cross-sections, stiffness of the beam, transverse shear deformations, finite element software, LIRA software, SCAD software.

Introduction. Beams are fundamental structural elements in nearly all engineering structures. The assessment of beam deflections is a common design challenge. While classical beam theory (Euler-Bernoulli) simplifies bending analysis, it neglects transverse shear deformations. The Euler-Bernoulli theory is suitable for analytical calculations of deflections in long and slender beams, but significant errors arise when applied to short beams. Beams with a relative length $L \leq 5h$ (h – beam height) are classified as short beams. The Timoshenko theory provides more accurate results for short beams by accounting for both pure bending and shear deformations [2].

Aims. This study aims to determine the effect of transverse shear deformation on the stiffness of simply supported and cantilever beams with different cross-sections (thin-walled and parametric) and to compare the results of analytical solutions based on the differential equation with the results of three-dimensional finite element analysis obtained using the SCAD and LIRA software packages.

Object of study – simply supported and cantilever beams with thin-walled (I-shape, annular) and parametric cross-sections (rectangular, circular).

Main Study. The differential equation of beam bending (fig. 1), which accounts for both pure bending and transverse shear deformations, can be expressed as follows [1]:

$$\frac{d^2w(x)}{dx^2} = \frac{d^2w_{cl}(x)}{dx^2} + \frac{d^2v(x)}{dx^2} = -\frac{M(x)}{EI} - \mu\frac{q(x)}{GF}, \quad (1)$$

where: $w(x) = w$ – total deflection due to both pure bending and transverse shear deformations;
$w_{cl}(x) = w_{cl}$ – classical deflection due to pure bending deformations;
$v(x) = v$ – deflection due to transverse shear deformation;
EI – flexural rigidity;
GF – shear rigidity;
μ – coefficient accounting for the non-uniform distribution of shear stresses across the section height;
$M(x)$ – bending moment;
$q(x)$ – intensity of uniformly distributed load.

According to [6] the following coefficient μ is accepted: $\mu = 1{,}2$ for the rectangular cross-section, $\mu = 2$ for annular cross-section, $\mu = 32/27$ for circular cross-section. For the I-shaped beam $\mu = F/F_{web}$ (F – the I-beam area, F_{web} – the web area).

As an example, a cantilever beam loaded with a uniformly distributed load with intensity $q(x) = q$ is considered (fig. 1). The equation of the bending moment is expressed as follows: $(x) = qLx - \frac{qL^2}{2} - \frac{qx^2}{2}$.

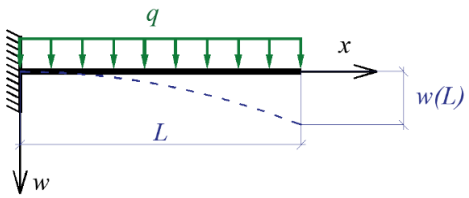


Figure 1 **-** The cantilever beam under a uniformly distributed load
Рисунок 1 – Консольна балка під дією рівномірно розподіленого навантаження

$$\frac{dw(x)}{dx} = -\left(\frac{qL}{2EI}x^2 - \frac{q}{2EI}L^2x - \frac{q}{6EI}x^3\right) - \mu\frac{q}{GF}x + C_1, \quad (2)$$

$$w(x) = -\left(\frac{qL}{6EI}x^3 - \frac{qL^2x^2}{4EI} - \frac{qx^4}{24EI}\right) - \mu\frac{q}{2GF}x^2 + C_1x + C_2, \quad (3)$$

To establish the boundary conditions, the following equations are formulated according to [1]:

$$\frac{dv(x)}{dx} = \mu \frac{Q(x)}{GF}, \tag{4}$$

where: $Q(x)$ – shear force.

Equations (2) and (3), when subjected to the boundary conditions at $x = 0$, $w(0) = 0$, $\frac{dv(0)}{dx} = \mu \frac{Q(0)}{GF} = \mu \frac{q \cdot L}{GF}$ and $\frac{dw_{cl}(0)}{dx} = 0$ yield the constants $C_1 = \frac{dv(0)}{dx} = \mu \frac{q \cdot L}{GF}$, $C_2 = 0$. Thus:

$$w(x) = -\left(\frac{qL}{6EI}x^3 - \frac{qL^2x^2}{4EI} - \frac{qx^4}{24EI}\right) - \mu \frac{q}{2GF}x^2 + \mu \frac{qL}{GF}x, \tag{5}$$

Equation (5) with the $x = L$ gives the value of maximum deflection of the cantilever beam $w(L) = w_{max}$:

$$w(L) = \frac{qL^4}{8EI} + \mu \frac{qL^2}{2GF}, \tag{6}$$

Solving the differential equation (1) by integration provides the refined expression for deflection, which considers both pure bending and transverse shear deformations. Neglecting the shear deformation terms in equation (1) leads to the classical form:

$$\frac{d^2w_{cl}(x)}{dx^2} = -\frac{M(x)}{EI}, \tag{7}$$

By solving equation (7) via integration, the classical deflection is obtained, considering only pure bending deformation.

For example, for the cantilever beam (Figure 1) under a uniformly distributed load the classical deflection formula takes form of: $w_{cl}(L) = \frac{qL^4}{8EI}$. Based on the Maxwell-Mohr formula, the formulas for the maximum deflections of beams are derived in [2].

The effect of transverse shear deformations on the stiffness of the beams is quantified by the correction factor k, calculated using the following expression:

$$k = \frac{w_{cl} + v}{w_{cl}} = \frac{w}{w_{cl}}, \tag{8}$$

To study the effect of transverse shear deformations on the stiffness of the beams, the following design models were considered: short simply supported and short cantilever beams with a relative beam length $L = 5h$ (where h is the section height) subjected to concentrated and uniformly distributed loads. The selected thin-walled cross-sections include I-shape No. 20 (DSTU 8768:2018 Ukraine) and an annular section with diameter and thickness of 200x2.5 mm. The parametric cross-sections include a rectangular section with a height and width of 200x100 mm and a circular section with a diameter of 200 mm. All beams are made of isotropic material with $G = E/2(1 + \upsilon)$.

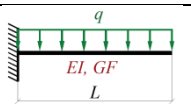
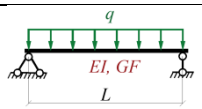
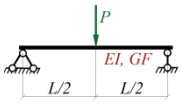
For each case, the values of the correction factor k as ratio of the maximum deflections were computed using formula (8) and presented in Table 1.

The analysis of the obtained correction factor in Table 1 indicates that thin-walled cross-sections are more sensitive to transverse shear deformations than parametric ones. Among these, the I-shaped cross-section is the most susceptible. The design model most sensitive to transverse shear deformations is as follows: a simply supported I-shaped beam under a concentrated load at midspan.

Figure 2 presents a graph illustrating at which number of the I-beam and relative beam length the effect of transverse shear deformations in beams with different design models reaches a value of $k = 1.05$.

From Figure 2, it is evident that the effect of transverse shear deformations must be considered not only for short I-shaped beams but even for relatively "slender" beams. For example, for the I-beam number 10, $k = 1.05$ at $L = 17.9h$. A general trend is observed: the smaller the I-beam No. (the height h), the greater the relative span at which the effect of transverse shear deformations reaches $k = 1.05$.

Table 1 – The correction factor $\boldsymbol{k}$ for the isotropic beams with relative length $\boldsymbol{L = 5h}$
Таблиця 1 – Коефіцієнт уточнення для ізотропної балки з відносною довжиною $\boldsymbol{L = 5h}$

Design model $\boldsymbol{L = 5h}$	№20 (200mm)	 200x2.5mm	 200x100 mm	 Ø200mm
	1.15	1.08	1.03	1.02
	1.20	1.10	1.04	1.03
	1.48	1.24	1.10	1.07
	1.60	1.30	1.12	1.09

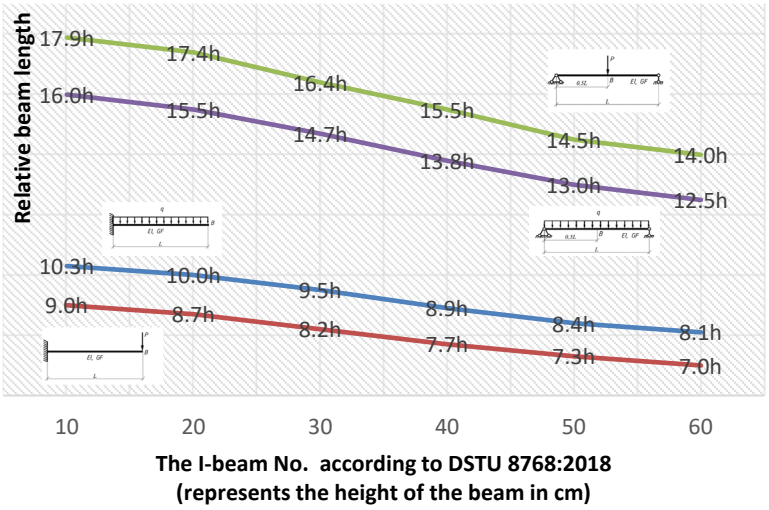


Figure 2 – The effect of transverse shear deformations on I-shaped beams
Рисунок 2 – Вплив деформації поперечного зсуву на двотаврові балки

The reliability of the obtained results, derived from solving equation (1), can be assessed by comparing them with a three-dimensional solution. For the three-dimensional modeling, the SCAD and LIRA software packages are employed [3, 4]. The analysis of short isotropic cantilever beams with a relative length of $L = 5h$ and cross-sections most susceptible to transverse shear deformation (I-shaped and annular cross-sections) is performed (Fig. 3).

In the SCAD and LIRA software packages for the modeling of cantilever beams with I-shaped and annular cross-sections, finite elements FE 41 (arbitrary rectangular FE of shell) were used. The height of the I-shaped cantilever beam was modeled as (200-8.4)=191.6 mm (8.4 mm is the width of the flanges), the diameter of the annular cantilever beam was modeled as (200-2.5)=197.5 mm (2.5 mm is the thickness of the annular section). No offsets for the shells were used. The rigid fixation was modeled by restricting all possible degrees of freedom along the entire height of the corresponding cross-section.

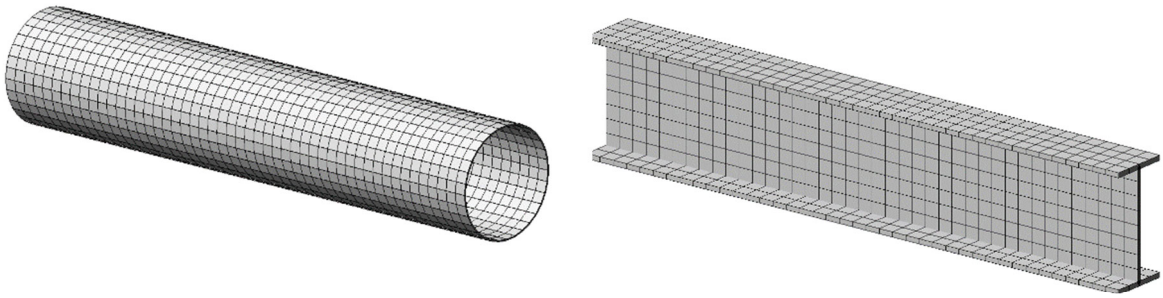


Figure 3 – The finite elements models of beams simulated using the LIRA software
Рисунок 3 – Скінченно-елементні моделі балок, побудованих за допомогою обчислювального комплексу LIRA

The finite element models are illustrated in Figure 3. The loads applied at the free end of the cantilever beam, in the three-dimensional modeling using the SCAD and LIRA software packages, were modeled as shown in Figure 4. The value of the concentrated load is $P = 10\text{kN}$, and the intensity of the uniformly distributed load is $q = 10\text{kN/m}$. The modulus of elasticity is $E = 2.0601 \cdot 10^5\text{MPa}$, material – isotropic.

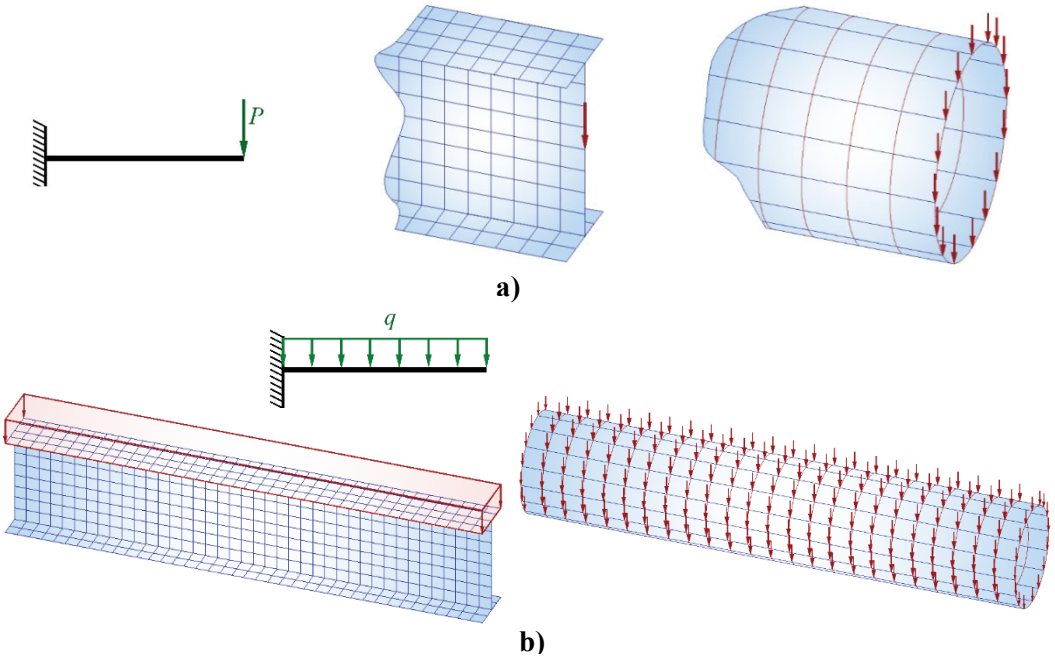


Figure 4 – The three-dimensional finite element modeling of the cantilever beams under the concentrated (a) and uniformly distributed loads (b)
Рисунок 4 – Тривимірне скінченно-елементне моделювання консольних балок під дією зосередженого (а) та рівномірно навантаженого навантаження (b)

The deflection values obtained from the three-dimensional solution were taken for the points as shown in Figure 5.

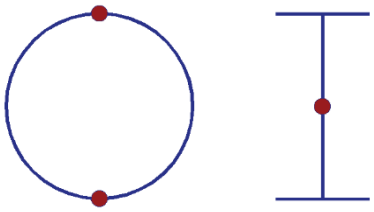


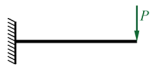
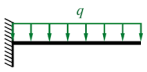
Figure 5 – The points at which the deflection values were taken (cross-section at $\boldsymbol{x = L}$ of the cantilever beam)
Рисунок 5 – Точки, в яких було визначено прогин (поперечні перерізи знаходяться на відстані $x = L$)

The discrepancy between analytical calculations based on equation (1) and three-dimensional finite element analysis using the SCAD and LIRA software packages is presented in Table 2 and Table 3.

To assess mesh convergence of the finite element analysis (FEA), the calculation on different finite element meshes was performed. Four types of finite element meshes were considered (Mesh 1, Mesh 2, Mesh 3, Mesh 4). Each subsequent mesh is refined by a factor of two. Thus, mesh convergence graphs of FEA for the deflections at $x = L$ of the cantilever beams $w(L)$ can be plotted.

Table 2 – Comparison of the results of the analytical solution and the three-dimensional finite element solution for the I-shaped cantilever beams

Таблиця 2 – Порівняння результатів, отриманих на основі аналітичного та тривимірного скінченно-елементного розв'язку для двотаврових консольних балок

 № 20 (200 mm) $\boldsymbol{L = 5h}$	The deflection $\boldsymbol{w(L)}$ in mm obtained from the three-dimensional solution using the SCAD and LIRA			
Design model	Mesh 1 189 nodes/ 160 elements	Mesh 2 697 nodes/ 640 elements	Mesh 3 2673 nodes/ 2560 elements	Mesh 4 10465 nodes/ 10240 elements
	SCAD/LIRA	SCAD/LIRA	SCAD/LIRA	SCAD/LIRA
The deflection w =1.01185 mm obtained by solving equation (1) 	1.00238/ 1.00225	1.01200/ 1.01187	1.01758/ 1.01745	1.02211/ 1.02198
Discrepancy	-0.9%/-1.0%	0%/0%	+0.6%/+0.6%	+1.0%/+1.0%
The deflection w =0.396005 mm obtained by solving equation (1) 	0.389676/ 0.389625	0.392085/ 0.392034	0.392708/ 0.392657	0.392882/ 0.392831
Discrepancy	–1.6%/–1.6%	–1.0%/–1.0%	–0.8%/–0.9%	–0.8%/–0.8%

Graphs of mesh convergence for the deflections $w(L)$ at $x = L$ of the I-shaped cantilever beams are represented in Figure 6.

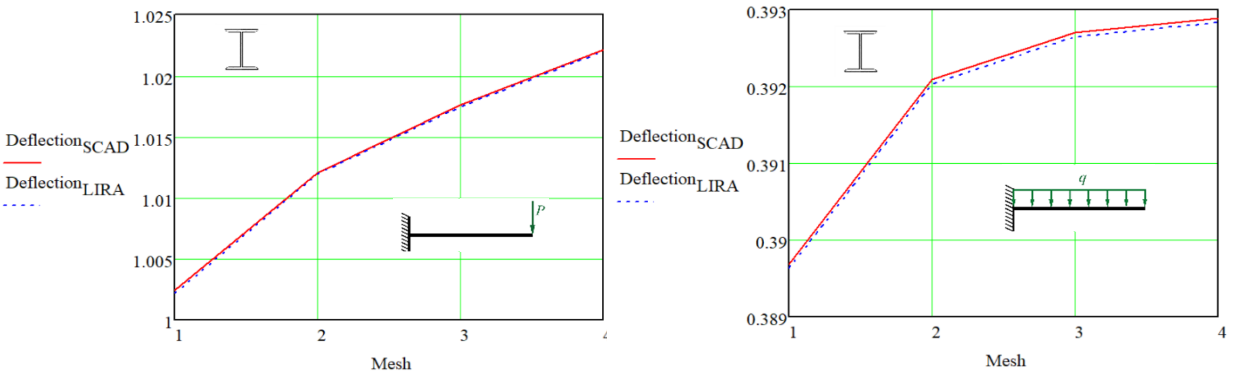


Figure 6 – Mesh convergence graphs for $\boldsymbol{w(L)}$ of the I-shaped cantilever beams obtained from FEA
Рисунок 6 – Графіки практичної збіжності МСЕ по прогину $w(L)$ для двотаврових консольних балок

Table 3 – Comparison of the results of the analytical solution and the three-dimensional solution for the cantilevers with annular cross-sections

Таблиця 3 – Порівняння результатів, отриманих на основі аналітичного та тривимірного скінченно-елементного розв'язку для консольних балок з кільцевим поперечним перерізом

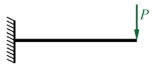
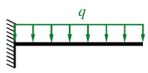
 200x2.5 mm $\boldsymbol{L = 5h}$	The deflection $\boldsymbol{w(L)}$ in mm obtained from the three-dimensional solution using the SCAD and LIRA			
Design model	Mesh 1 104 nodes/ 96 elements	Mesh 2 400 nodes, 384 elements	Mesh 3 1568 nodes/ 1536 elements	Mesh 3 6208 nodes/ 6144 elements
	SCAD/LIRA	SCAD/LIRA	SCAD/LIRA	SCAD/LIRA
The deflection w =2.34839 mm obtained by solving equation (1) 	2.51557/ 2.51493	2.36715/ 2.36693	2.34372/ 2.34346	2.34316/ 2.34299
Discrepancy	+7.1%/+7.1%	+0.8%/+0.8%	-0.2%/-0.2%	-0.2%/-0.2%
The deflection w =0.883505 mm obtained by solving equation (1) 	0.954521/ 0.954221	0.904609/ 0.904507	0.890042/ 0.889943	0.885946/ 0.885850
Discrepancy	+8.0%/+8.0%	+2.4%/+2.4%	+0.7%/+0.7%	+0.3%/+0.3%

Figure 6 illustrates that the three-dimensional finite element model of the I-shaped cantilever beam, under uniformly distributed loads, indicates mesh convergence.

However, the situation is unlike that of the cantilever beam under a concentrated load. This may be due to the idealization of the concentrated load, which, in reality, can lead to significant local effects that are not always accurately accounted for in finite element modeling.

Graphs of mesh convergence for the deflections $w(L)$ at $x = L$ of the annular cantilever beams are represented in Figure 7.

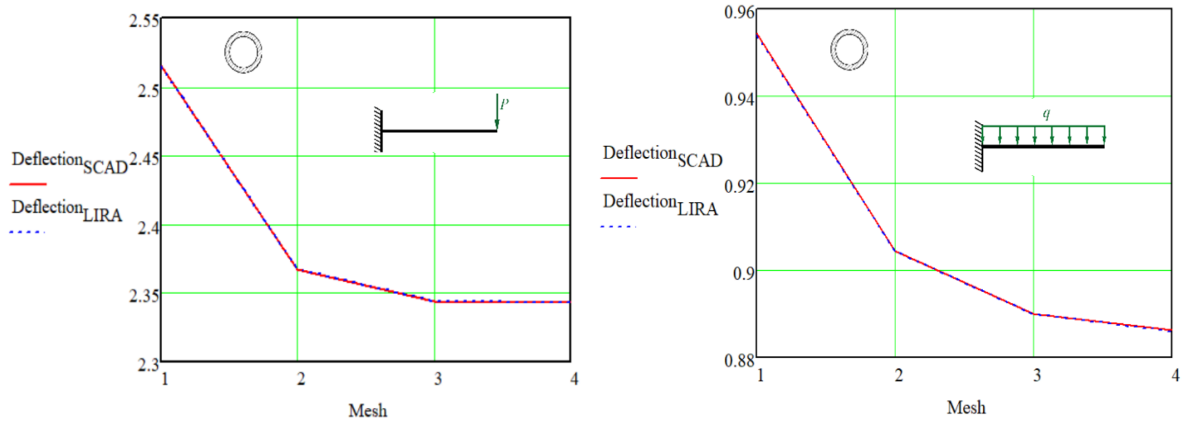


Figure 7 – Convergence graphs for $\boldsymbol{w(L)}$ of the annular cantilever beams obtained from FEA
Рисунок 6 – Графіки практичної збіжності МСЕ по прогину $w(L)$ для консольних балок з кільцевим поперечним перерізом

Figure 7 illustrates that the three-dimensional finite element model of the annular cantilever beam, under both concentrated and uniformly distributed loads, indicates mesh convergence. The negative effect of the concentrated load on the three-dimensional finite element model was avoided by modeling the concentrated load as a system of equivalent forces applied at the nodes of the corresponding section.

Table 2 and 3 demonstrate a high degree of accuracy between the analytical solution and the three-dimensional finite element solution. The three-dimensional solution, obtained using the SCAD and LIRA-FEM software packages, is a numerical approach that models the actual support conditions and load transfer to the beam in a more detailed and realistic manner.

Conclusions

1. This study analyzed beams with different design models and cross-sections: thin-walled (I-shaped, annular) and parametric (rectangular, circular). For each case, the measure of correction factor k (the ratio of the maximum deflection calculated by considering both pure bending and transverse shear deformations to the maximum deflection calculated by considering only the pure bending deformations) was calculated that indicates the effect of transverse shear deformations on the stiffness of the beams. The design model most susceptible to transverse shear deformations was identified. It appeared to be a simply supported I-shaped beam under a concentrated load at a midspan.

2. Considering transverse shear deformations is necessary not only for short I-shaped beams with a relative length $L \leq 5h$ (h – beam height) but even for relatively long I-shaped beams. The smaller the I-beam No. (the height h), the greater the relative span at which the influence of transverse shear deformations reaches $k = 1.05$.

3. Comparison of calculations based on the differential equation, which accounts for both pure bending and transverse shear deformations, with three-dimensional finite element analysis using the SCAD and LIRA

software packages demonstrates a high degree of accuracy between analytical and numerical solutions. The I-shaped and annular cantilever beams as the most susceptible to transverse shear deformations cross-sections were analyzed using FEA. Mesh convergence graphs were plotted for the finite element solutions, and all design models of the cantilever beams indicated a convergence except for the I-shaped cantilever beam under a concentrated load. This may be due to the idealization of the concentrated load which, in reality, can lead to significant local effects that are not always accurately accounted for in finite element modeling.

4. The obtained results have practical significance for structural engineers, particularly in analyzing short beam deformations during the design of beams with different cross-sections. The research findings can be incorporated into the educational process for the "Strength of Materials" course.

References

1.Varvak, P.M. (1977). *Novi metody rozv'yazku zadach oporu materialiv.* Vyshcha shkola.
2. Ilchenko, I., Marchenko, N., & Grinevitzkiy, B. (2023). *Transverse shear deformations for deflections of thin-walled beams.* Scientific journal "Automobile roads and road construction", 114(1), 45–54. https://doi.org/10.33744/0365-8171-2023-114.1-045-054.
3. Barabash, M.S., Kozlov, S.V., & Medvedenko, D.V. (2012). *Komp'yuterni tekhnolohiyi proektuvannya metalevykh konstruktsiy*. NAU. http://er.nau.edu.ua/handle/NAU/25078
4. Karpilovskyy, V.S., Kryksunov, E.Z., Maliarenko, A.A., Perelmuter, A.V., Perelmuter, M.A., & Fialko, S.Y. (2024). *SCAD Office. V.23. System SCAD++*. Publishing House SCAD SOFT. https://scadsoft.com/download/SCAD1033.pdf
5. Strilets-Striletskyi, E.B., Zhuravlov, O.V., & Vodop'yanov, R.Yu. (2019). *LIRA–SAPR. Knyha 1. Osnovy*. Liraland. https://www.liraland.ua/
6. Chykhladze, E.D. (2011). *Budivel'na mekhanika*. UkrDAZT. http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/2334/1/Підручник.pdf.pdf
7. Karpilovskyi, V.S. (202). *Finite Element Method and Problems of the Theory of Elasticity*. «Sofia A» Ltd. https://scadsoft.com/download/KVSBook2022.pdf

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДЕФОРМАЦІЙ ПОПЕРЕЧНОГО ЗСУВУ НА ЖОРСТКІСТЬ КОРОТКИХ БАЛОК

Ільченко Ірина Олексіївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортный університет, Київ, Україна, доцент кафедри опору матеріалів та машинознавства, e-mail: budivmeh@gmail.com, тел. +380930077702, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, кімн. 113, https://orcid.org/0000-0002-9355-5632

Горбунович Ірина Валентинівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортный університет, Київ, Україна, доцент кафедри вищої математики, e-mail: irina.gorbunovich@gmail.com, тел. +380676001177, Україна, 01103, м. Київ, вул Бойчука, буд. 42, к.514, orcid.org 0000-0002-6859-0663.

Анотація. У статті вивчаються деформації коротких пружних балок різного поперечного перерізу, що виникають під дією зовнішнього зосередженого та рівномірно розподіленого навантаження. Досліджується вплив деформацій поперечного зсуву на жорсткість балок.

Як математична модель задачі пропонується диференціальне рівняння другого порядку, побудоване з урахуванням деформацій чистого згинання й поперечного зсуву [1]. Граничні умови задано для шарнірно-опертих і консольних балок.

Крайова задача розв'язується аналітично і чисельним методом скінченних елементів (МСЕ), який дозволяє керувати різним рівнем точності.

Знайдено максимальні прогини балок з різними типами перерізів (прямокутним, двотавровим, круглим та кільцевим). Для знаходження прогинів в балках застосовано теорію балок С.П.Тимошенка [2].

Проте сучасне проєктування складних об'єктів неможливе без використання систем автоматизованого проєктування (САПР), які дозволяють створювати більш точні моделі конструкцій та аналізувати їх поведінку в умовах, наближених до реальних. За допомогою САПР (з вбудованими інструментами скінченно-елементного аналізу) можна досліджувати поведінку та виявляти особливості деформацій як окремих елементів, так і об'єкта в цілому [3].

Тривимірне скінченно-елементне моделювання консольних балок виконано на основі обчислювальних комплексів SCAD та LIRA. Побудовано графіки практичної збіжності по прогинам для тонкостінних консольних балок. Порівняння аналітичного і чисельного розв'язків крайової задачі показало високий рівень їх збіжності, що свідчить про точність і ефективність застосованих підходів. Отримані результати мають практичне значення для інженерів-проектувальників, зокрема в контексті аналізу деформацій коротких балок у процесі розробки конструкцій з різними геометричними перерізами. Результати досліджень також варто використовувати в навчальному процесі під час викладання курсу «Опір матеріалів».

Ключові слова: шарнірно-оперта балка, консольна балка, тонкостінні поперечні перерізи, параметричні поперечні перерізи, жорсткість балки, деформації поперечного зсуву, скінченно-елементний обчислювальний комплекс, обчислювальний комплекс LIRA, обчислювальний комплекс SCAD.

Перелік посилань

1. Варвак П. М. Нові методи розв'язку задач опору матеріалів. Київ : Вища шк., 1977. 159 с.

2. Ilchenko I., Marchenko N., Grinevitzkiy B. Transverse shear deformations for deflections of thin-walled beams. Automobile Roads and Road Construction. 2023. No. 114.1. P. 045–054. https://doi.org/10.33744/0365-8171-2023-114.1-045-054.

3. Барабаш М.С., Козлов С.В., Медведенко Д.В. Комп'ютерні технології проектування металевих конструкцій : навч. посіб. Київ : НАУ, 2012. 572 с. http://er.nau.edu.ua/handle/NAU/25078

4. Karpilovskyy V.S., Kryksunov E.Z., Maliarenko A.A., Perelmuter A.V., Perelmuter M.A., Fialko S.Y. SCAD Office. V.23. System SCAD++. Publishing House SCAD SOFT, 2024. 992 с. https://scadsoft.com/download/SCAD1033.pdf

5. Стрілець–Стрілецький Е.Б., Журавльов О.В, Водопьянов Р.Ю. ЛІРА-САПР. Книга І. Основи: електрон. вид. Liraland, 2019. https://www.liraland.ua/

6. Чихладзе Е. Д. Будівельна механіка: підручник. Харків: УкрДАЗТ, 2011. 320 с. http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/2334/1/Підручник.pdf.pdf

7. Карпіловський В.С. Метод скінченних елементів і задачі теорії пружності. Київ : Софія А, 2022. 275 с. https://scadsoft.com/download/KVSBook2022.pdf

УДК 625.7/.8:338.47
UDC 625.7/.8:338.47
DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-086-093

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ ЗА ПОКАЗНИКОМ IRI
STATISTICAL ANALYSIS OF STREET AND ROAD NETWORK CONDITIONS BASED ON THE IRI INDEX



***Мороз Тарас Михайлович**, аспірант, Національний транспортний університет, начальник Центру випробувань ДП «Дорожній науково-технічний центр», e-mail: carmen_17@ukr.net, тел. +380961867092, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206,*

https://orcid.org/0000-0001-6730-3004

Анотація. У статті досліджено застосування показника IRI для оцінювання стану дорожнього покриву вулиць різного типу у межах населеного пункту: магістральних міського та районного значення, житлових та промислових. Розглянута можливість застосування диференційної системи оцінювання рівності дорожнього покриву, що дало змогу більш точно визначити його стан за п'ятьма градаціями – від відмінного о критичного. Був проведений статистичний аналіз зібраних даних, що дозволило оцінити стан мережі та виявити пріоритетні вулиці при плануванні ремонтних заходів.

Ключові слова: транспортно-експлуатаційні показники; експлуатаційне утримання; рівність; IRI; диференційний метод

Вступ. Регулярний моніторинг і оцінка стану вулично-дорожньої мережі та дослідження зібраних даних дозволяє правильно розставити пріоритети при плануванні ремонтних заходів для підтримки її у належному стані.

Ця стаття містить результати статистичного аналізу зібраних даних вулично-дорожньої мережі Деснянського р-ну м. Києва за показником рівності IRI. Це дозволило детальніше дослідити технічний стан дорожнього покриву на вулицях різних типів та виявити вулиці з проблемними ділянками, які потребують ремонту.

Мета. Метою написання статті є дослідження стану доріг різних типів у межах населеного пункту за показником IRI, що базується на методах статистичного аналізу.

Основна частина. В населених пунктах відповідно до [3], що регламентує вимоги до експлуатаційного стану автомобільних доріг за умовами забезпечення безпеки дорожнього руху відсутні вимоги до рівності дорожнього покриву за показником IRI для магістральних вулиць міського, районного значення та житлових вулиць і висуваються вони лише до магістральних доріг (максимальне значення не повинно перевищувати 3,1 м/км). Згідно з [2] такі норми наявні лише для капітального типу дорожнього одягу на магістральних дорогах безперервного руху і його значення не повинно перевищувати 2,0 м/км. Такий підхід визначення технічного стану дорожнього покриву дає можливість застосувати лише *бінарний метод оцінювання*, порівнюючи виміряне значення IRI з вимогою нормативного документу. В результаті такого оцінювання можливі лише два варіанти висновку про стан дорожній покрив вулиці магістрального типу: «відповідає вимогам нормативного документу» і «не відповідає вимогам нормативного документу» тобто «задовільний» або «незадовільний» (рис. 1) [5]. До того ж, оцінити стан дорожнього покриття вулиць іншого типу, окрім магістральних, взагалі неможливо.

Недолік такого оцінювання полягає в його обмеженості. Він не дозволяє врахувати градації або ступені різниці між оцінюваними варіантами, надаючи лише два можливі результати. Застосування такого методу оцінювання має ряд недоліків:

1. **Втрата нюансів:** Бінарний висновок не може відобразити проміжні рівні чи ступені, що важливо для більш точного оцінювання.
2. **Недостатня деталізація:** При такому оцінюванні важко відобразити складніші явища або відмінності між дорогами, що може призвести до спрощення реальної ситуації, проте не дає достатньої деталізації.

Приклад: в результаті оцінювання 2-ох доріг були отримані середні значення рівності за показником IRI:

Таблиця 1 – Приклад некоректного оцінювання стану дорожнього покриву [5]
Table 1 – Example of incorrect assessment of road surface condition [5]

Дорога	Значення IRI	Технічний стан
Дорога А	3,2 м/км	**Незадовільний**
Дорога Б	7,7 м/км	**Незадовільний**

1. **Дорога А:** має деякі незначні дефекти, наприклад, дрібні тріщини, лущення, але загалом перебуває в доброму стані.
2. **Дорога Б:** має значні дефекти, такі як вибоїни, глибоку колію, що суттєво впливають на комфорт і безпеку руху.

За бінарним методом обидві дороги будуть віднесені до категорії «незадовільний стан», оскільки вони не відповідають критеріям, наведеним в нормативних документах. Однак, цей підхід не дозволяє врахувати різницю в стані доріг А і В. Це призводить до:

- **Відсутності пріоритезації:** Дорога А потребує меншого ремонту порівняно з дорогою В, але бінарний метод не дозволяє зробити цей висновок. В результаті, дороги з різним рівнем пошкоджень можуть отримати однакову пріоритетність для ремонту, що може бути неефективним з точки зору використання ресурсів.
- **Неповна картина:** експлуатаційні служби не отримують повної картини стану доріг. Вони не можуть зрозуміти, наскільки кожна з доріг є проблемною і які конкретні дії слід вжити для їхнього покращення.

Таким чином, бінарний метод оцінювання доріг призводить до недостатньої деталізації, що може негативно вплинути на ухвалення рішень щодо ремонту і утримання доріг та розподілу ресурсів

3. **Обмеження в прийнятті рішень:** У деяких випадках, коли потрібно врахувати декілька факторів або критеріїв, бінарний підхід може бути занадто спрощеним і не надасть достатньо інформації для обґрунтованого рішення.

Через ці недоліки бінарне оцінювання є менш придатним у ситуаціях, де потрібна багатофакторна оцінка або аналіз складних ситуацій. В таких випадках використання шкали, яка надає більше градацій, дозволяє отримати більш точну і детальну оцінку.

Натомість пропонується застосування *диференційного методу оцінювання* рівності дорожнього покриву за показником IRI відповідно до шкали технічних станів "відмінний», «хороший», «задовільний», «незадовільний» та «критичний», враховуючи при цьому тип вулиці. Граничні значення такої шкали наводяться у таблиці 2 [5].

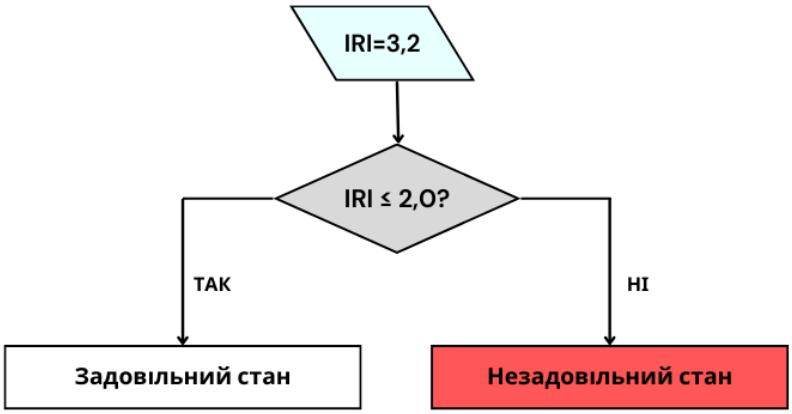


Рисунок 1 – Алгоритм бінарного оцінювання технічного стану дорожнього покриву магістральної вулиці безперервного руху [5]
Figure 1 – Algorithm for binary assessment of the technical condition of the road surface of a main street with continuous traffic [5]

Таблиця 2 – Граничні значення IRI для оцінки стану вулиць населених пунктів [5]
Table 2 – IRI threshold values for assessing the condition of streets in settlements [5]

Тип вулиці	Технічний стан				
	Відмінний	**Хороший**	**Задовільний**	**Незадовільний**	**Критичний**
Магістральні вулиці міського значення	IRI < 1,5	1,5 ≤ IRI < 3,0	3,0 ≤ IRI < 4,5	4,5 ≤ IRI < 6,0	IRI ≥ 6,0
Магістральні вулиці районного значення	IRI < 2,0	2,0 ≤ IRI < 4,0	4,0 ≤ IRI < 5,5	5,5 ≤ IRI < 7,0	IRI ≥ 7,0
Житлові вулиці	IRI < 2,5	2,5 ≤ IRI < 4,5	4,5 ≤ IRI < 6,0	6,0 ≤ IRI < 7,5	IRI ≥ 7,5
Промислові вулиці	IRI < 3,0	3,0 ≤ IRI < 5,0	5,0 ≤ IRI < 7,0	7,0 ≤ IRI < 8,0	IRI ≥ 8,0

Наведені дані враховують обумовлені специфікою та функціональним призначенням кожного типу вулиць. Вони відображають загальні міжнародні підходи та світовий досвід в оцінці стану дорожнього покриву в умовах міста.

 Магістральні вулиці міського значення – це основні транспортні артерії міста, які забезпечують найвищий рівень пропускної здатності та пов’язані з найінтенсивнішим трафіком.

 Магістральні вулиці районного значення – це важливі вулиці в межах районів, які також мають значне транспортне навантаження, але менше, ніж міські магістралі.

 Житлові вулиці – це вулиці, що розташовані в житлових зонах, з менш інтенсивним рухом і більшою кількістю пішоходів.

 Промислові вулиці – вулиці, що забезпечують доступ до промислових зон; вони можуть мати вищий допустимий рівень IRI через більші навантаження та специфіку використання.

Для визначення технічного стану дорожнього покриву за диференційним методом застосовується ітераційний підхід, який полягає у покроковому визначенні діапазону, в межах якого знаходиться визначене значення IRI (рис. 2) [5].

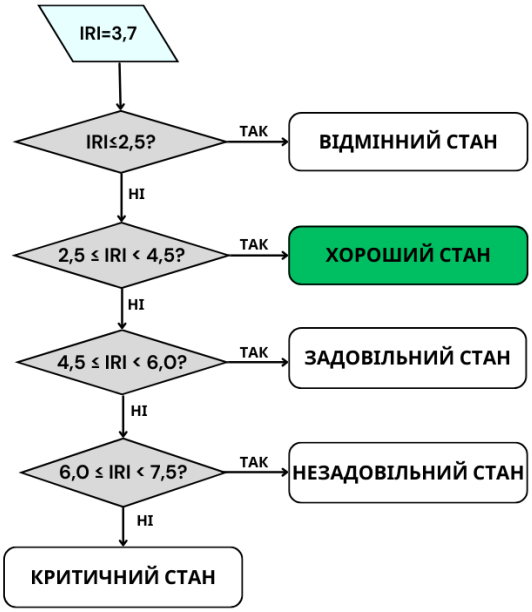


Рисунок 2 – Алгоритм диференційного оцінювання технічного стану дорожнього покриву житлової вулиці [5]
Figure 2 – Algorithm for differential assessment of the technical condition of the road surface of a residential street [5]

Статистичний аналіз

Після збору та дослідження даних про стан вулично-дорожньої мережі Деснянського р-ну м. Києва [5] був проведений статистичний аналіз зібраних даних.

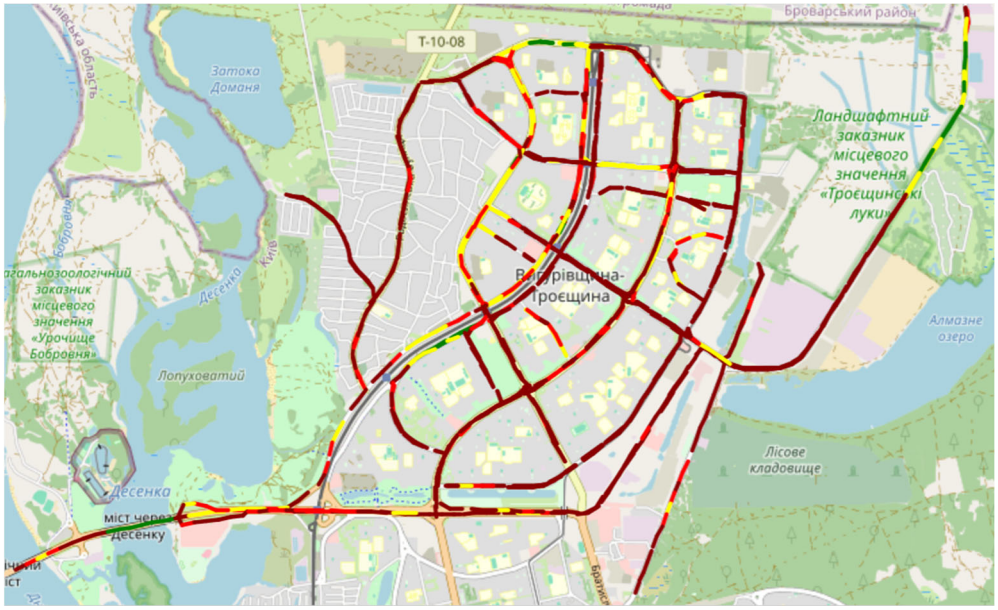


Рисунок 3 – Картограма районної вулично-дорожньої мережі за показником IRI
Figure 3 – Map of the district street and road network according to the IRI indicator

Таблиця 3 – Зведена таблиця результатів визначення рівності за показником IRI вулично-дорожньої мережі м/м Троєщина Деснянського р-ну м. Києва

Table 3 – Summary table of the results of determining the equality according to the IRI indicator of the street and road network of the Troyeshchyna municipality, Desniansky district, Kyiv

№	Вулиця	Кількість сегментів	Загальна довжина сегментів, м	Середнє значення IRI, м/км	Мінімальне значення IRI, м/км	Максимальне значення IRI, м/км	Мода значень IRI, м/км	Медіана значень IRI, м/км	Технічний стан за середнім значенням IRI
1	Шухевича	75	8268	6,15	2,29	12,35	4,46	6,04	Критичний
2	Рейгана	43	4785	6,38	3,17	11,01	3,17	6,39	Критичний
3	Червоної Калини	84	9484	7,43	3,07	13,43	4,06	6,95	Критичний
4	Закревського	74	7922	9,07	4,24	16,72	8,55	8,94	Критичний
5	Бальзака	124	13598	6,18	2,30	14,59	9,48	5,59	Незадовільний
6	Милославська	50	5464	6,78	2,34	15,07	2,34	6,46	Незадовільний
7	Беретті	9	989	4,82	3,19	6,93	3,19	4,65	Задовільний
8	Бикова	5	541	4,88	4,23	5,78	4,23	4,73	Задовільний
9	Будищанська	3	319	11,72	8,32	14,96	8,32	11,87	Критичний
10	Висоцького	8	834	7,35	4,15	15,79	4,15	6,28	Незадовільний
11	Градинська	10	1058	7,56	4,19	10,59	4,19	8,01	Критичний
12	Данькевича	12	1321	11,41	7,24	14,81	7,24	11,38	Критичний
13	Деснянська	24	2582	10,67	7,56	15,86	7,56	10,87	Критичний
14	Екстер	19	2101	6,99	3,26	15,42	3,26	4,65	Незадовільний
15	Каштанова	14	1550	10,65	4,78	18,40	4,78	10,69	Критичний
16	Курінного	14	1503	7,38	4,93	12,64	4,93	6,42	Незадовільний
17	Лаврухіна	7	727	7,55	3,00	11,95	3,00	6,79	Критичний
18	Лифаря	34	3780	9,04	3,91	16,77	3,91	8,87	Критичний
19	Лісківська	22	2527	7,23	4,19	11,50	4,19	7,13	Незадовільний
20	Ніколаєва	10	1210	11,40	7,21	21,75	7,21	10,03	Критичний
21	Радосинська	33	3566	8,72	5,92	12,18	8,70	8,69	Критичний
22	Радунська	34	3684	4,39	2,77	6,77	4,27	4,31	Хороший
23	Пухівська	76	8231	6,65	2,00	12,70	3,09	7,12	Задовільний
24	Електротехнічна	30	3365	10,71	5,98	15,50	11,71	10,88	Критичний
25	Меліоративна	17	1868	8,06	5,00	14,58	5,00	7,51	Критичний
26	Крайня	20	2102	10,11	3,92	16,50	3,92	10,64	Критичний

В результаті збору та аналізу даних про стан вулично-дорожньої мережі були проведені обчислення медіан та середніх значень показника IRI для кожної вулиці (табл.3, рис. 4-5). Це допомагає виявити **нестабільність якості покриття**, навіть якщо загальне середнє виглядає прийнятним.

Середнє значення IRI, що суттєво перевищує медіану (вул. Крайня та вул. Радунська) свідчить про наявність локальних пошкоджень, що суттєво впливають на загальний технічний стан дорожнього покриву.

За різницею цих показників була створена діаграма Бертінга (рис.6), а за абсолютними середніми значеннями показника IRI - теплова карта (рис. 7), що дозволяє миттєво розпізнати вулиці, які перебувають в найгіршому стані і яким має бути відданий пріоритет при плануванні проведення ремонтних заходів.

Промислові вулиці мають найвищий показник IRI, що свідчить про найгірший стан. Магістральні вулиці міського значення насйстабільніші, оскільки мають найменший розкид.

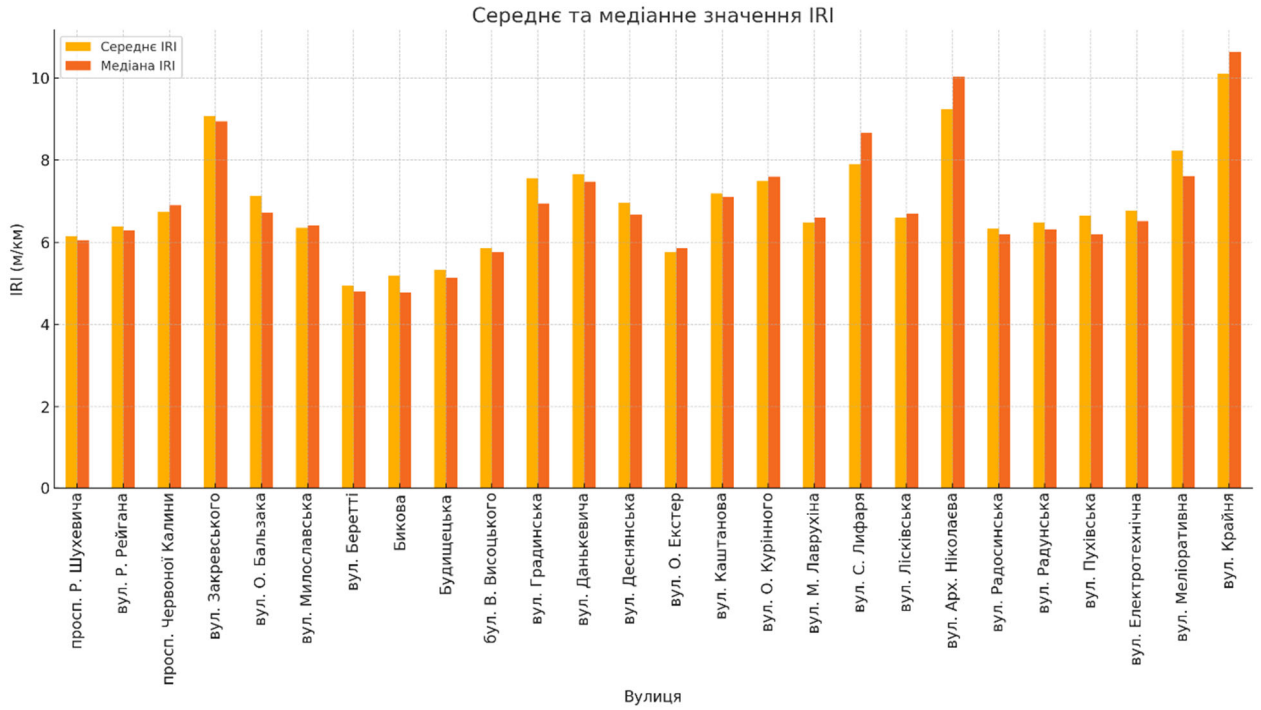


Рисунок 4 – Гістограма медіан та середніх значень IRI
Figure 4 – Histogram of medians and averages of IRI values

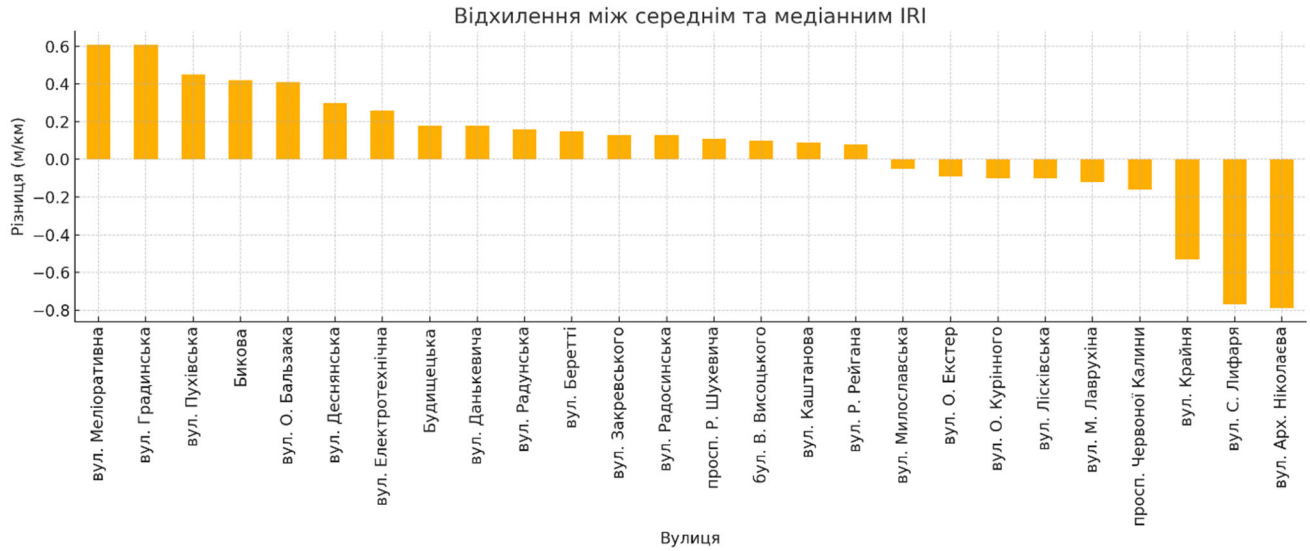


Рисунок 5 – Гістограма відхилень середніх та медіанних значень IRI
Figure 5 – Histogram of deviations of mean and median IRI values

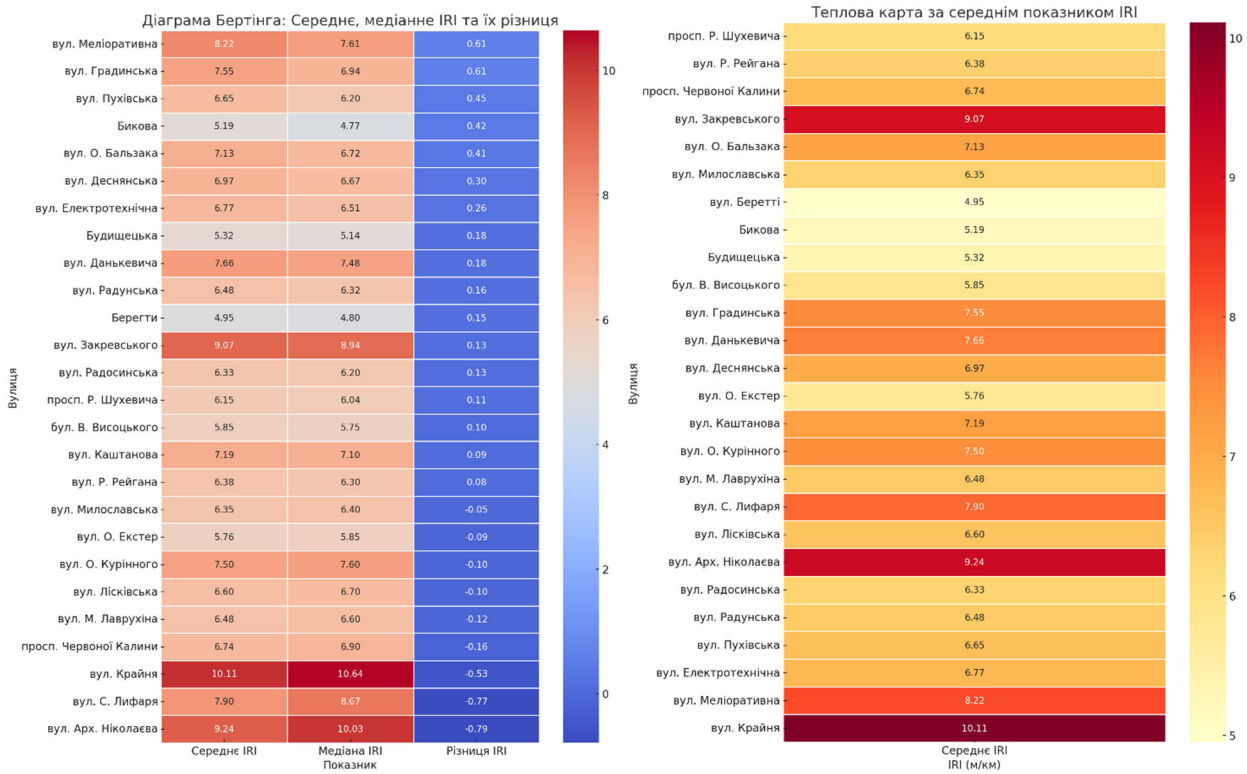


Рисунок 6 – Діаграма Бертінга за різницею значень середнього IRI та медіаною та теплова карта за середнім IRI

Figure 6 – Berting diagram by the difference of the mean IRI values and the median and heat map by the mean IRI

Наступним кроком було створення гістограми розподілу типу «боксплот» за середнім значенням IRI для всіх категорій вулиць.

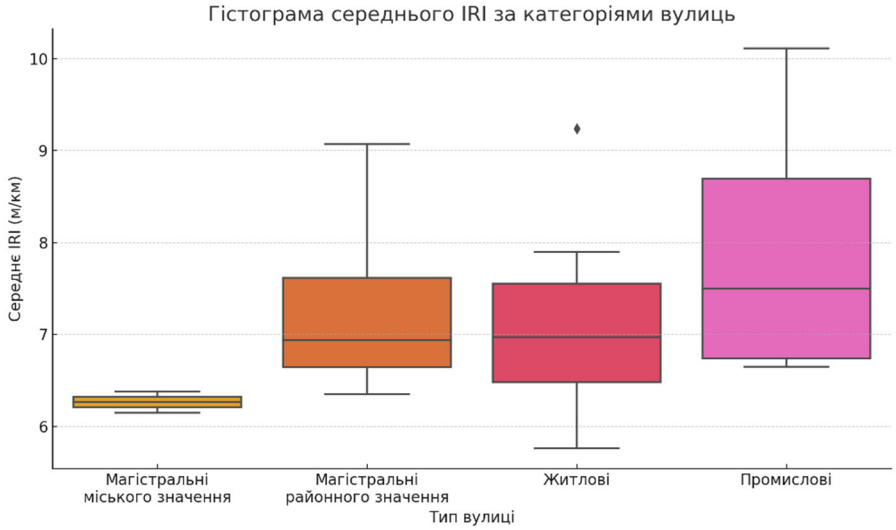


Рисунок 7 – Гістограма середнього IRI за категоріями вулиць

Figure 7 – Histogram of average IRI by street category

Висновки. Застосування диференційної системи оцінювання IRI дало можливість кількісно оцінити стан вулично-дорожньої мережі у межах населеного пункту, а застосування методів статистичного аналізу дозволило більш глибоко дослідити зібрані дані. Побудовані за результатами аналізу діаграми відображають відмінності в стані вулиць різних категорій, що обумовлено їхнім функціональним призначенням.

Перелік посилань:

1. Chen, S.-L., Lin, C.-H., Tang, C.-W., Chu, L.-P., & Cheng, C.-K. (2020). Research on the international
roughness index threshold of road rehabilitation in metropolitan areas: A case study in Taipei City. Sustainability, 12, 10536.

2. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Зі Зміною № 1

3. ДСТУ 3587:2022 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану

4. ДСТУ 8745:2017 Автомобільні дороги. Методи вимірювання нерівностей основи і покриття дорожнього одягу

5. Moroz T. (2024). Differential method for assessing the evenness of the road surface of the street and road network by the IRI index. Scientific Journal of Polonia University, 66(5), 270-282. https://doi.org/10.23856/6630

STATISTICAL ANALYSIS OF STREET AND ROAD NETWORK CONDITIONS BASED ON THE IRI INDEX

Moroz Taras Mykhailovych, head of the testing center, State Enterprise "Road Scientific and Technical Center", graduate student, National Transport University, graduate student of the department of transport construction and property management, e-mail: carmen_17@ukr.net, +380961867092, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Omelianovycha-Pavlenka, 1, room 206, https://orcid.org/ 0000-0001-6730-3004

Abstract. Regular monitoring and assessment of the condition of the street and road network, along with analysis of collected data, make it possible to properly prioritize repair planning to maintain the network in an appropriate condition. This article presents the results of a statistical analysis of street and road network data collected in the Desnianskyi district of Kyiv, based on the IRI (International Roughness Index). This enabled a more detailed examination of the technical condition of the road surface on streets of various types and helped identify streets with problematic sections that require repair.

Key words: Pavement management systems, highway operations, road network, Structural and functional prediction of roads, pavement condition

References

1. Chen, S.-L., Lin, C.-H., Tang, C.-W., Chu, L.-P., & Cheng, C.-K. (2020). Research on the international roughness index threshold of road rehabilitation in metropolitan areas: A case study in Taipei City. Sustainability, 12, 10536.

2. DBN V.2.3-5:2018 Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv. Zi Zminoyu № 1. [in Ukrainian]

3. DSTU 3587:2022 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Avtomobilni dorohy. Vymohy do ekspluatatsiynoho stanu. [in Ukrainian]

4. DSTU 8745:2017 Avtomobilni dorohy. Metody vymiryuvannya neriovnostey osnovy i pokryttya dorozhnoho odyahu. [in Ukrainian]

5. Moroz T. (2024). Differential method for assessing the evenness of the road surface of the street and road network by the IRI index. Scientific Journal of Polonia University, 66(5), 270-282. https://doi.org/10.23856/6630

УДК 625 **DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-094-099**
UDK 625

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМИ ОЦІНЮВАННЯ ДОРІГ
MATHEMATICAL MODELS AND ALGORITHMS FOR ROAD ASSESSMENT



Соколова Наталія Михайлівна, *кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e- mail: nata_ns@ukr.net, тел. +380675872662.*

https://orcid.org/0000-0003-0678-8882



Конча Павло Андрійович, *аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна e- mail: pasha.av.80@gmail.com, тел: +380503537308*

https://orcid.org/0000-0001-6867-0172

Анотація. Метою статті є визначення основних методів оцінки стану доріг та обґрунтування їхньої ефективності для забезпечення безпеки руху та довговічності дорожньої інфраструктури. Стан доріг є ключовим показником якості транспортної інфраструктури, який впливає на безпеку дорожнього руху, економічну ефективність перевезень та комфорт учасників дорожнього руху. У роботі розглядаються методи оцінювання доріг, спрямовані на виявлення дефектів покриття, визначення міцності дорожнього одягу, оцінку зчіпних якостей, рівності покриття та світлотехнічних характеристик. Увагу приділено аналізу візуальних обстежень, відеодіагностики та автоматизованих систем, які забезпечують оперативність і точність отримання даних. Застосування статичних і динамічних методів оцінки міцності дорожнього одягу дозволяє моделювати реальні експлуатаційні умови і прогнозувати довговічність покриття. Оцінка зчіпних якостей покриття проводиться за допомогою спеціалізованих автомобілів та портативних приладів, що дозволяє забезпечити безпечність дорожнього руху навіть за несприятливих умов. Аналіз рівності дорожнього покриття з використанням триметрової рейки, нівелірів та поштовхомірів дозволяє отримати дані, які впливають на комфорт водіїв і пасажирів, а також зменшують знос транспортних засобів. Міжнародний індекс рівності IRI використовується як уніфікований показник для порівняння доріг різних країн. Світлотехнічні характеристики дорожньої інфраструктури, такі як коефіцієнт світлоповертання та яскравості дорожніх знаків і розмітки, є визначальними для забезпечення видимості в умовах поганого освітлення. Їхня відповідність сучасним стандартам є критично важливою для зменшення аварійності.

Результати дослідження підкреслюють необхідність інтеграції інноваційних технологій у процес моніторингу стану доріг. Зокрема, автоматизовані системи відеодіагностики та використання міжнародних стандартів дозволяють підвищити ефективність управління дорожньою мережею. У статті акцентується увага на важливості систематичного моніторингу та пріоритетизації ремонтних робіт на основі комплексного аналізу. Перспективи подальших досліджень пов'язані з удосконаленням технологій оцінки дорожнього покриття, зокрема, у напрямку розвитку мобільних систем моніторингу та аналізу взаємозв'язків між параметрами стану доріг і характеристиками руху.

Ключові слова: оцінка доріг, дефектність покриття, міцність дорожнього одягу, зчіпні якості, рівність дороги, світлотехнічні характеристики.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Забезпечення належного стану доріг є важливим викликом для сучасного суспільства, оскільки стан дорожньої інфраструктури безпосередньо впливає на безпеку учасників дорожнього руху, економічну ефективність транспортних систем та екологічні наслідки. Дефекти покриття, низька міцність дорожнього одягу, нерівність та незадовільні світлотехнічні характеристики створюють умови для підвищення аварійності, додаткового зношування транспортних засобів і підвищення витрат на утримання доріг. У контексті сучасних наукових досліджень особливого значення набуває застосування методів оцінки стану доріг, що забезпечують точність і оперативність отримання даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження в галузі оцінки доріг зосереджені на удосконаленні методів та засобів діагностики, що дозволяє підвищити точність і ефективність процесів визначення якості дорожніх покриттів. У роботах Смолянюк Р. В. та Смолянюк Н. В. обговорюється автоматизація виявлення дорожньої розмітки, що є важливою для зменшення людського фактору та підвищення оперативності. Аналіз методів діагностики показників якості автомобільних доріг, представлений Мороз Т. М., вказує на різноманітність підходів та інструментів для оцінки стану покриття, а також на потребу вдосконалення технологій моніторингу. Дослідження Рибіцького Л. і Павлюка Д. стосуються покращення методів оцінки зчіпних якостей дорожніх покриттів в Україні, що є ключовим фактором для безпеки руху. Саркісян Г. С. та інші автори досліджували метрологічне забезпечення геодезичних робіт при визначенні рівності дорожнього покриття, підкреслюючи важливість точності вимірювань для забезпечення високої якості доріг. Розгляд зв'язку між оцінками рівності поверхні дорожнього покриття за показниками поштовхоміра та IRI, здійснений Савенком В. Я. та Кіяшком Д. І., надає додаткові перспективи для розвитку універсальних методів контролю. Останні роботи в галузі освітлення, зокрема дослідження Назаренка Л. А. та колег, є важливою складовою безпеки дорожнього руху в темну пору доби. Разом з тим, невирішеними залишаються питання удосконалення автоматизованих систем для точної оцінки доріг, а також вдосконалення методів оцінки зчіпних якостей, що забезпечують більш точну діагностику стану покриттів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Оцінка стану доріг є ключовим аспектом забезпечення безпеки руху та довговічності транспортної інфраструктури. Вона дозволяє виявити слабкі місця дорожнього покриття, оцінити його зчіпні властивості, міцність та рівність, а також відповідність стандартам освітлення та розмітки. Для цього застосовуються різноманітні методи, що дозволяють отримати точні та об'єктивні дані для планування ремонтних або реконструктивних робіт.

Для оцінки загального стану доріг використовуються методи візуального обстеження, відеодіагностики та автоматизовані системи. Візуальне обстеження дозволяє визначити основні дефекти дорожнього покриття, такі як тріщини, вибоїни та руйнування. Відеодіагностика забезпечує можливість більш детального аналізу стану дороги завдяки використанню камер високої роздільної здатності, які фіксують усі пошкодження. Автоматизовані системи відеодіагностики інтегрують сучасні технології аналізу зображень і даних, що забезпечує точність і швидкість оцінювання. Наприклад, першим вітчизняним експериментом відеодіагностики загального стану доріг стала установка лазерного сканера ЛВС-1-ХНАДУ. Потім на базі фургона ГАЗ-2705 створили три комплекси діагностики доріг: ЛВС-2-ХНАДУ для вимірювання рівності покриття, автоматизовану систему відеодіагностики «Око» та «Око-2» для оцінки стану покриття, а також систему відеодіагностики інженерного обладнання доріг. Лабораторія була вдосконалена за допомогою ЛВС-3, яка має нові датчики для кращої точності зйомки. Усі системи працюють на живленні від автомобіля. Спеціальне програмне забезпечення обробляє отримані дані та передає їх на комп'ютер [1, с.156]. Ці методи дозволяють оперативно формувати звіти про дефектність покриття для подальшого прийняття управлінських рішень. Вони також забезпечують можливість моніторингу змін у стані доріг протягом тривалого періоду. Візуальні та відеоінструменти є основою для пріоритетизації ремонтних робіт.

Такий підхід дозволяє знижувати витрати на утримання доріг завдяки превентивним заходам.

Міцність дорожнього одягу оцінюється за допомогою статичних і динамічних методів. Метод статичних навантажень за допомогою жорсткого штампа дозволяє визначити його деформаційні властивості та залишкову міцність. Модуль пружності визначається за допомогою прогиноміра (балка Бенкельмана) та жорсткого штампу, який привантажується згори вантажним автомобілем [2, с.97]. Метод динамічного навантаження застосовується для моделювання реальних умов експлуатації дороги, де використовуються спеціальні установки для створення повторюваних навантажень. Ці методи дають змогу оцінити здатність дорожнього покриття витримувати довготривалі експлуатаційні навантаження без втрати функціональних властивостей. Вони також дозволяють виявляти ділянки, які потребують негайного зміцнення або реконструкції. Результати таких досліджень є важливими для визначення типу матеріалів, які будуть використані під час ремонту. Аналіз міцності дозволяє уникнути катастрофічних руйнувань дорожнього покриття внаслідок перевантаження.

Зчіпні якості дорожнього одягу відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки дорожнього руху. Для їх оцінки використовуються автомобілі з динамометричними установками, які дозволяють вимірювати коефіцієнт зчеплення під час руху. Портативні прилади є альтернативою, що дозволяє проводити вимірювання у локальних ділянках дороги. У ЄС для вимірювання зчіпних якостей дорожнього одягу використовуються різні прилади та методи. Для визначення поздовжнього коефіцієнта тертя (LFC) застосовують такі інструменти, як ROARDK, ROAR NL, RWS NL Skid Resistance Trailer, Skiddometer BV-8, SRM, TRT, SRT-3, IMAG та Grip Tester. Коефіцієнт бокової сили тертя (SFC) вимірюється за допомогою таких систем, як SCRIM, SKM та Mu-Meter. Для портативних вимірювань поздовжнього коефіцієнта тертя використовують DFT Dynamic Friction Tester, SRT Pendulum, T2GO та VTI Portable Friction Tester [3, с.2]. Ці показники допомагають виявляти ділянки з низьким коефіцієнтом зчеплення, що можуть становити загрозу для безпеки учасників руху, особливо під час дощу чи інших несприятливих умов. Зчіпні якості також впливають на ефективність гальмування, особливо на крутих поворотах або спусках. Результати вимірювань використовуються для коригування типу покриття або нанесення додаткових протизношувальних шарів. Підвищення зчіпних якостей сприяє зменшенню кількості дорожньо-транспортних пригод. Систематичний контроль цих показників є основою для забезпечення безпеки всіх учасників дорожнього руху.

Показники рівності дорожнього покриття оцінюються за допомогою кількох інструментів. Використання триметрової рейки дозволяє виміряти локальні нерівності на поверхні дороги. Нівеліри та нівелірні рейки забезпечують можливість більш детального аналізу висотних змін покриття. Як і будь-який засіб вимірювань, нівеліри та рейки мають бути технічно справними, атестовані та пройти метрологічну повірку відповідно до закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [4]. Для ефективної роботи з нівеліру перед початком нівелювання необхідно виконати низку повірок. Перш за все, перевіряють зовнішній стан приладу та його комплектність, а також паралельність осі круглого рівня та осі обертання нівеліра. Крім того, важливо перевірити правильність встановлення сітки ниток і горизонтальність лінії візування. Також здійснюється перевірка діапазону та похибки роботи компенсатора нівеліра. Для цього нівелір встановлюють строго в створі та посередині між рейками, визначаючи п’ять перевищень при різних положеннях бульбашки круглого рівня відносно початкового положення на станції [5, с.131].

Поштовхоміри використовуються для визначення відносних переміщень підвіски між віссю автомобіля та корпусом, і їх встановлюють на легкових автомобілях або на причепах з одним чи двома колесами. Під час оцінки рівності покриття за допомогою поштовхомірів, необхідність ремонту покриття визначається за показниками рівності. Показник пружності дорожнього покриття має бути не менше проєктного для відповідного типу покриття та характеру руху транспортних засобів. Гранично допустимі значення показника рівності під час вимірювання поштовхоміром змінюються залежно від інтенсивності руху на дорогах. Наприклад, для вулиць з інтенсивністю руху понад 10 000 автомобілів на добу показник рівності має бути не більше 80 см/км, для доріг з інтенсивністю від 500 до 10 000 автомобілів – не більше 150 см/км, а для інших вулиць – не більше 230 см/км [6, с.264].

Крім того, міжнародний індекс рівності IRI є стандартом, який дозволяє порівнювати стан доріг

у різних країнах і визначати пріоритети для їх ремонту. Показник рівності дорожніх покриттів за показником IRI обчислюють за такою формулою [2, с.100]:

$$IRI = \frac{1}{L}\int_0^L |z_3 - z_4|\, dl,$$

де IRI – міжнародний Індекс Рівності дорожніх покриттів;
L – довжина ділянки вимірювання;
l – крок вимірювання, м.

Міжнародний показник рівності (IRI) дозволяє підвищити точність та достовірність оцінки експлуатаційних властивостей дорожнього покриття, а також об'єктивно визначити рівень комфорту руху [7, с.83]. За допомогою IRI можна оцінити ділянки дороги будь-якої довжини, виявити найбільш ушкоджені відрізки та визначити вплив окремих нерівностей на загальні та миттєві показники рівності.

Загалом, показники рівності впливають на комфорт водіїв і пасажирів, знижуючи втомлюваність під час тривалих поїздок. Рівність дороги також сприяє зменшенню витрат на обслуговування транспортних засобів, оскільки знижує навантаження на підвіску. Регулярний моніторинг нерівностей дозволяє оперативно усувати дефекти, що сприяє продовженню терміну експлуатації покриття.

Світлотехнічні характеристики доріг є важливим фактором у забезпеченні видимості та безпеки. Сучасне дорожнє покриття не має норм щодо світлотехнічних характеристик. Для більшості типів покриттів спектральний коефіцієнт відбиття змінюється залежно від довжини хвилі. Згідно з дослідженнями, проведеними Екріасом і його колегами у 2008 році, спектральні коефіцієнти відбиття більшості зразків дорожнього полотна мають мінімальні значення в короткохвильовій частині спектра та збільшуються у бік довгохвильової області. Спектральний коефіцієнт відбиття покриття також залежить від його складу. Наприклад, при додаванні білих домішок він може зсуватися у бік коротших хвиль [8, с.12]. Для оцінки використовуються коефіцієнти колірності та яскравості дорожніх знаків за денного освітлення, що впливають на їхню помітність. Коефіцієнт світлоповертання дорожніх знаків є ще одним важливим показником, що визначає їхню ефективність у нічний час. Коефіцієнт яскравості поверхні горизонтальної розмітки визначає інтенсивність світла, що відбивається від поверхні розмітки, і залежить від її матеріалу та стану. Високий коефіцієнт яскравості покращує видимість розмітки в умовах поганого освітлення або вночі. Коефіцієнт світлоповертання поверхні горизонтальної розмітки характеризує здатність розмітки відбивати світло, що падає на неї, назад до джерела світла. Цей коефіцієнт залежить від матеріалу та кольору розмітки, а також від її стану та зношеності. Високі світлотехнічні характеристики знижують ризик аварій у темну пору доби. Вони також сприяють зменшенню втоми водіїв під час тривалих нічних поїздок. Аналіз цих показників допомагає удосконалювати стандарти дорожніх знаків і розмітки. Висока якість світлотехнічних елементів позитивно впливає на загальну культуру водіння, забезпечуючи комфортні умови для всіх учасників дорожнього руху.

Загалом, методи оцінки стану доріг є багатогранними і спрямовані на забезпечення безпечної, комфортної та довговічної експлуатації дорожньої інфраструктури. Використання сучасних технологій та інтеграція різних підходів дозволяє отримати об’єктивну інформацію про стан доріг, що є основою для прийняття ефективних управлінських рішень. Сучасні автоматизовані системи відеодіагностики дозволяють отримувати високоточні дані про стан дорожнього покриття у реальному часі, що значно скорочує час на виявлення дефектів і визначення пріоритетів для ремонтних робіт. Використання міжнародних стандартів, таких як IRI (International Roughness Index), забезпечує уніфікований підхід до оцінки стану доріг та порівняння їх характеристик на глобальному рівні. Ці технології сприяють підвищенню безпеки дорожнього руху, адже дозволяють своєчасно виявляти небезпечні ділянки та усувати їх. Крім того, автоматизовані системи зменшують вплив людського фактору на процес оцінки,

забезпечуючи об'єктивність результатів. Інтеграція даних, отриманих із різних джерел, у єдину інформаційну систему дозволяє більш ефективно планувати ремонтні роботи та оптимізувати витрати на утримання доріг. Регулярний моніторинг із застосуванням інноваційних технологій сприяє збереженню довговічності дорожнього покриття, що є важливим аспектом сталого розвитку транспортної інфраструктури. Особливо актуальним є впровадження систем штучного інтелекту, які аналізують великі обсяги даних і формують рекомендації для прийняття управлінських рішень.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Аналіз методів оцінки стану доріг дозволив виявити їхню значущість для забезпечення якісної експлуатації дорожньої інфраструктури. Візуальне обстеження, відеодіагностика та автоматизовані системи є ефективними для оцінки загального стану доріг та виявлення дефектів покриття. Методи оцінки міцності дорожнього одягу, зокрема статичні та динамічні, забезпечують розуміння здатності доріг витримувати навантаження. Зчіпні якості покриття є ключовим показником для забезпечення безпеки руху, а їх вимірювання дозволяє своєчасно виявляти небезпечні ділянки. Оцінка рівності дорожнього покриття має вирішальне значення для комфорту водіїв і зменшення витрат на обслуговування транспортних засобів. Світлотехнічні характеристики дороги впливають на видимість і безпеку в умовах поганого освітлення. Усі ці аспекти разом створюють підґрунтя для розробки комплексної системи моніторингу стану доріг. Результати дослідження підкреслюють важливість інтеграції сучасних технологій для підвищення ефективності управління дорожньою мережею.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з удосконаленням технологій оцінки дорожнього покриття, зокрема, у напрямку розвитку мобільних систем моніторингу та аналізу взаємозв'язків між параметрами стану доріг і характеристиками руху.

Література

1. Смолянюк Р. В., Смолянюк Н. В. Автоматизація процесу виявлення дорожньої розмітки. *SWorldJournal*. 2023. № 18. С. 155-162.

2. Мороз Т. М. Аналіз методів діагностування показників якості автомобільних доріг. *Будівництво та цивільна інженерія*. 2022. № 112. С. 93-103.

3. Рибіцький Л., Павлюк Д. Удосконалення методів і засобів оцінки зчіпних якостей дорожніх покриттів в Україні. *European Journal of Intelligent Transportation Systems.* 2021. № 1. С. 1-7.

4. Про метрологію та метрологічну діяльність: закон України від 05.06.2014 № 1314-VII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18 (дата звернення 20.12.2024).

5. Саркісян Г. С., Тимошевський В. В., Урдзік С. М. Метрологічне забезпечення геодезичних робіт при визначенні рівності дорожнього покриття. *Комунальне господарство міст.* 2021. № 166. С. 130-133.

6. Завальний О. В., Линник І. Е. Експлуатація та утримання міських територій : підручник. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 407 с.

7. Савенко В. Я., Кіяшко Д. І. Зв'язок між оцінками рівності поверхні дорожнього покриття за показниками поштовхоміра та IRI. *Вісник ХНАДУ*. 2011. № 53. С. 83-86.

8. Назаренко Л. А., Можаровська Т. В., Чернець В. С. Мезопічна фотометрія та вуличне освітлення. *Український метрологічний журнал*. 2016. № 2. С. 9-14.

MATHEMATICAL MODELS AND ALGORITHMS FOR ROAD ASSESSMENT

Sokolova Natalia M., PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of Transport Construction and Property Management, Associate Professor, National University of Transport, Kyiv, Ukraine e-mail: nata_ns@ukr.net, тел. +380675872662, https://orcid.org/0000-0003-0678-8882

Koncha Pavlo A., Postgraduate student, National University of Transport, Kyiv, Ukraine, e-mail: pasha.av.80@gmail.com, тел +380503537308, https://orcid.org/0000-0001-6867-0172

References

1. Smolianyuk, R.V., Smolianyuk, N.V. (2023), "Automation of the process of road marking detection", *SWorldJournal*, no. 18, pp. 155-162.

2. Moroz, T.M. (2022), "Analysis of methods for diagnosing the quality indicators of highways", *Construction and Civil Engineering*, no. 112, pp. 93-103.

3. Rybitskyi, L., Pavlyuk, D. (2021), "Improvement of methods and tools for assessing the adhesion properties of road surfaces in Ukraine", *European Journal of Intelligent Transportation Systems*, no. 1, pp. 1-7.

4. Pro metrologiiu ta metrologichnu diialnist, "On Metrology and Metrological Activity: Law of Ukraine of June 5, 2014 No. 1314-VII", available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18 (Accessed 20 Dec 2024).

5. Sarkisian, H.S., Tymoshevskyi, V.V., Urdzik, S.M. (2021), "Metrological support for geodetic works in determining the smoothness of road surfaces", *Municipal Economy of Cities*, no. 166, pp. 130-133.

6. Zavalii, O.V., Linnik, I.E. (2023), "Operation and maintenance of urban areas: textbook", Kharkiv National University of Urban Economy named after O.M. Beketov, Kharkiv, 407 p.

7. Savenko, V.Ya., Kiyashko, D.I. (2011), "Relationship between surface evenness indicators of road pavement measured by bump integrator and IRI", *Bulletin of KhNADU*, no. 53, pp. 83-86.

8. Nazarenko, L.A., Mozharovska, T.V., Chernets, V.S. (2016), "Mesopic photometry and street lighting", *Ukrainian Metrological Journal*, no. 2, pp. 9-14.

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-100-108

МЕТОД РОЗРАХУНКУ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ПОСИЛЕНОГО ГЕОҐРАТКАМИ ПОЛІМЕРНИМИ ЖОРСТКИМИ БАГАТОВІСНООРІЄНТОВАНИМИ

CALCULATION METHOD OF FLEXIBLE ROAD PAVEMENT REINFORCED WITH POLYMERIC RIGID MULTIAXIAL POLYMER GEOGRIDS



Харін Павло Леонідович, *директор за напрямом проєктування та інжинірингу, ТОВ «Уніпром», Київ, Україна, e-mail: kxarin@ukr.net,*

https://orcid.org/0000-0001-7858-0912



***Плитус Ростислав Михайлович**, аспірант, інженер за напрямом проєктування та інжинірингу, ТОВ «Уніпром», Київ, Україна,*
e-mail: rostmuh@gmail.com

https://orcid.org/0000-0001-7319-4094

Анотація. У зв'язку зі значним зростанням транспортних навантажень і підвищенням вимог до транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг, посилення конструкцій дорожнього одягу геогратками є актуальним завданням. На сьогодні залишається відкритим питання створення теоретичних засад проєктування, улаштування та експлуатування дорожніх конструкцій із використанням геосинтетичних матеріалів. У статті авторами запропоновано удосконалений метод конструювання та розрахунку дорожнього одягу, посиленого полімерною жорсткою багатовісноорієнтованою геограткою. Для врахування ефекту підсилення завдяки застосуванню полімерної жорсткої багатовісноорієнтованої геоґратки ТМ «Tensar» запропоновано до традиційного методу розрахунку (ГБН В.2.3-37641918-559) ввести коефіцієнт посилення, який отриманий у процесі експериментальних досліджень. Вибір матеріалу для посилення та ефект, що досягається в результаті його застосування, залежить від типу геоґратки, характеристик основи, міцнісних і деформаційних властивостей підстильних ґрунтів, а також від розташування геоґратки в конструкції.

Отриманий ефект посилення проявляється у збільшенні терміну служби дорожніх конструкцій, підвищенні їхньої експлуатаційної надійності, покращенні транспортно-експлуатаційних показників автомобільних доріг, а також у можливості зменшення товщини шарів дорожнього одягу.

Ключові слова: дорожній одяг, геоґратки, коефіцієнт посилення, інтенсивність, навантаження, модуль пружності, автомобільна дорога

Вступ. Застосування геосинтетичних матеріалів у практиці проєктування дорожніх одягів, у порівнянні з традиційними рішеннями, забезпечує технічний ефект, що сприяє підвищенню надійності конструкцій, якості будівництва та довговічності. Однак цей ефект не завжди піддається точній кількісній оцінці. У складних погодно-кліматичних та ґрунтово-гідрологічних умовах його наявність, за умови належного технічного обґрунтування, може мати значно більше значення для працездатності та покращення транспортно-експлуатаційних характеристик конструкції, ніж разова економія коштів у межах інших порівнюваних варіантів.

Додатковий технічний ефект від застосування геосинтетичних матеріалів полягає у збереженні цілісності шару основи та підстильного ґрунту на всіх етапах будівництва. Цей ефект набуває особливої важливості в умовах інтенсивного будівельного навантаження і значних механічних впливів на ці шари. Застосування геоґраток дозволяє ефективно перерозподіляти навантаження, забезпечуючи зменшення деформацій та уникнення пошкодження шарів дорожнього одягу в процесі виконання будівельних робіт. Це не лише сприяє збереженню проєктних характеристик дорожньої конструкції, а й зменшує потребу у додаткових витратах на її відновлення перед завершальними етапами будівництва.

Виклад основного матеріалу. Введення геоґраток в конструкцію дорожнього одягу забезпечує підвищення його несної здатності та структурної цілісності, а також запобігає змішуванню матеріалів різнозернистих шарів. Ефект посилення досягається завдяки спільній роботі геоґратки з незв’язними матеріалами конструкції, що сприяє утворенню стабілізованого посиленого шару.

Механізм посилення реалізується через блокування переміщень окремих зерен заповнювача в осередках геоґратки, що обмежує їх мобільність та зменшує ризик структурного руйнування шару під дією навантажень. Утворений композитний шар «геоґратка + зернистий матеріал» демонструє покращені механічні характеристики, зокрема підвищену жорсткість, стійкість до зсувів та втрати форми, а також кращу стійкість до динамічних навантажень від транспортних засобів. Це сприяє збільшенню довговічності дорожньої конструкції та зниженню ризику передчасних деформацій.

Важливим фактором ефективності посилення є вибір типу геоґратки, зокрема її конструктивні особливості та механічні характеристики.

Геоґратки ТМ «Tensar» вирізняються наявністю багатовісного орієнтування (рисунок 1), що формується в процесі їх виробництва. Це забезпечує більш рівномірний розподіл механічних властивостей у різних напрямках площини матеріалу порівняно з двовісними геоґратками, що відповідають вимогам ГБН В.2.3-37641918-544 [3].

Додатковими перевагами багатовісноорієнтованих геоґраток є оптимізована геометрія ребер та збільшена кількість зв’язків між ними. Зокрема, у розрахунку на 1 м² матеріалу такі геоґратки містять на 40% більше ребер порівняно з двовісними аналогами. Це сприяє покращенню взаємодії з зернистими матеріалами, підвищенню ефективності розподілу навантажень і додатковому зміцненню дорожньої конструкції.

Зазначені характеристики дозволяють класифікувати ці геоґратки як окрему групу геосинтетичних матеріалів. На основі цих особливостей було розроблено ДСТУ 8888:2019 [3], в якому встановлені загальні технічні вимоги до таких матеріалів та який регламентує їх застосування.

Вимоги щодо застосування геоґраток у шарах із незв’язних матеріалів та конструктивні рішення дорожнього одягу встановлені ГБН В.2.3-37641918-559 [2].

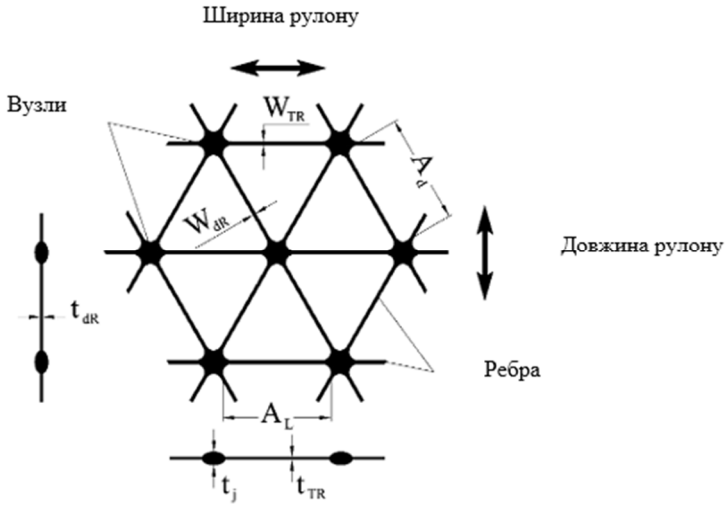
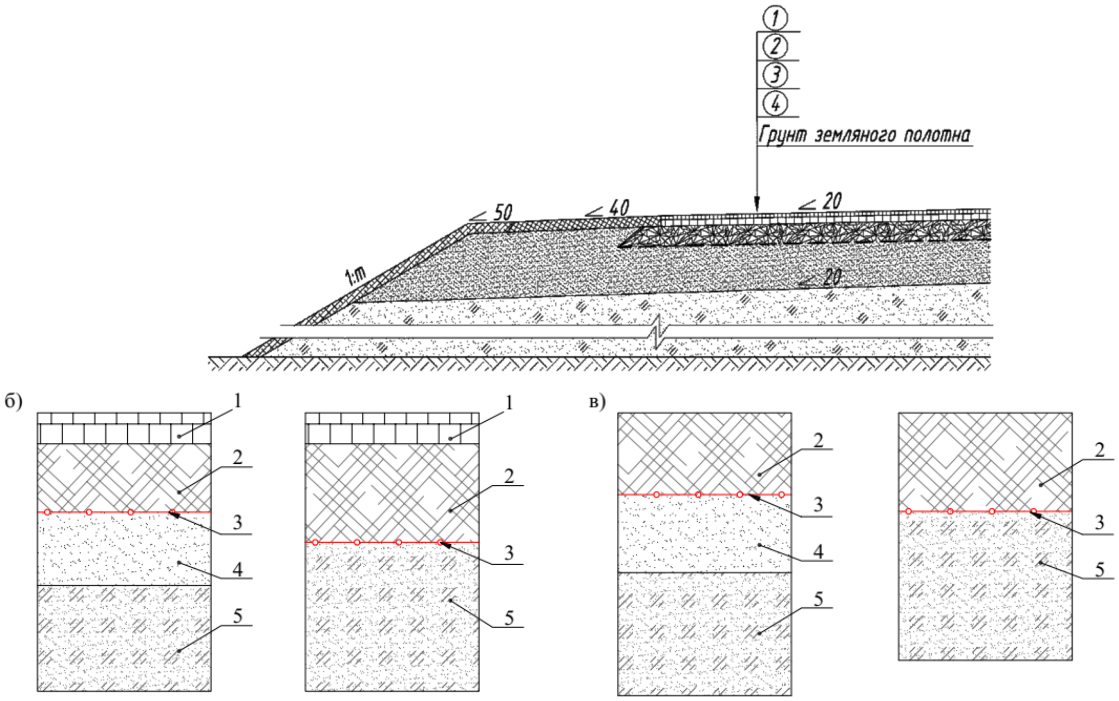


Рисунок 1 – Схема загального вигляду геоґратки полімерної жорсткої багатовісноорієнтованої ТМ «Tensar»

Figure 1 – Diagram of the geogrid appearance of a polymeric rigid triaxial geogrid TM “Tensar”

а)



1 – асфальтобетонне покриття, 2 – щебенева основа, 3 – геоґратка, 4 – піщаний дренувальний шар, 5 – ґрунт земляного полотна

Рисунок 2 – Посилення основ дорожнього одягу капітального (а), удосконалого полегшеного (б) та перехідного (в) типів

Figure 2 – Strengthening the foundations of a road pavement (a), the design of a road pavement, a improved lightweight (б) and a transitional type (в)

Основні конструктивні рішення посиленя дорожнього одягу геоґратками під час будування та реконструювання автомобільних доріг представлені рисунку 2. Вони можуть бути застосовані під час будівництва та реконструкції автомобільних доріг.

В рамках проведення дисертаційного дослідження пропонується методика розрахунку конструкції дорожнього одягу, що посилена тривісноорієнтованими геоґратками в межах щебеневого шару. Авторами запропоновано виконання розрахунків відповідно до вимог ГБН В.2.3-37641918-559 [2], із додатковим введенням коефіцієнтів посилення. Запропоновані коефіцієнти залежать від деформативних властивостей геоґраток, товщин шарів, механічних властивостей матеріалів дорожніх одягів та ґрунтів робочого шару земляного полотна. Кореляційно-регресивні рівняння та коефіцієнти посилення, що наводяться, справедливі для матеріалів ТМ «Tensar», що розміщені у незв'язних шарах дорожнього одягу.

Коефіцієнти посилення пропонується вводити при розрахунку за трьома критеріями першої групи граничних станів: критерієм пружного прогину, критерієм зсувостійкості незв'язних шарів і підстильного ґрунту (ґрунту земляного полотна) і критерієм опору матеріалів монолітних шарів напругам розтягу, що виникають в них.

Розрахунок посилених дорожніх одягів за опором пружному прогину, виконують з урахуванням розрахункової схеми (рисунок 3).

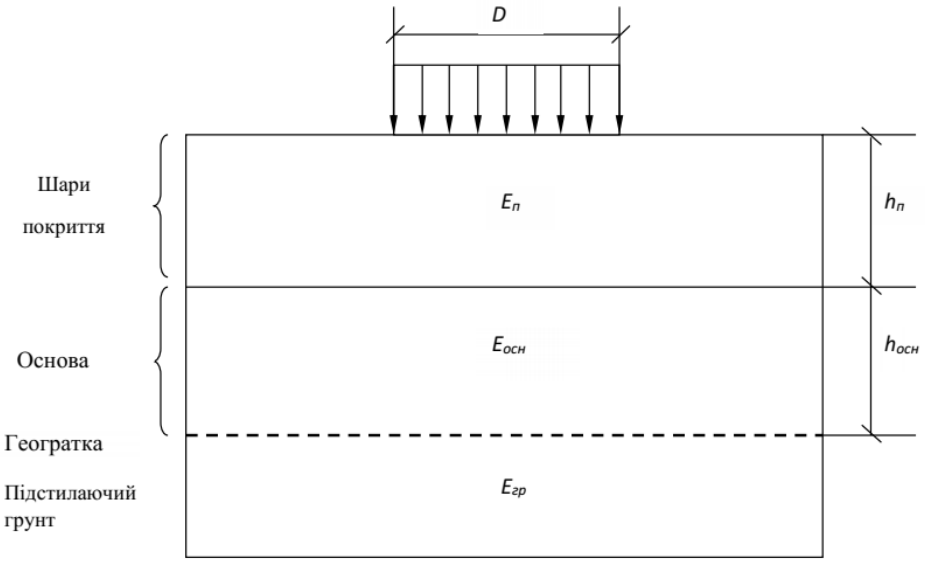


Рисунок 3 – Розрахункова схема дорожніх одягів капітального та удосконаленого полегшеного типів, посилених геоґраткою

Figure 3 – Calculated diagram of road pavement of capital type and improved lightweight type, reinforced with geogrid

Конструкція загалом задовольняє вимогам міцності та надійності за величиною пружного прогину за умови

$$\frac{h_{екв}}{D} = \frac{2h_i}{D}\sqrt[3]{\frac{E_{заг}^{(i+1)}}{E_i}}; \quad (1)$$

$$E_{\text{заг}}^{(i)} = \frac{\left[1{,}05-0{,}1\frac{h_i}{D}\left(1-\sqrt[3]{E_{\text{заг}}^{(i+1)}/E_i}\right)\right]E_i}{0{,}71\sqrt[3]{\frac{E_{\text{заг}}^{(i+1)}}{E_i}}arctg\left(\frac{1{,}35h_{\text{екв}}}{D}\right)+\frac{E_i}{E_{\text{заг}}^{(i+1)}}\frac{\pi}{2}arctg\frac{D}{h_{\text{екв}}}}, \quad (2)$$

де *i* – номер розглянутого шару дорожнього одягу, рахуючи зверху вниз (i = 1,2,3,…);

hi – товщина і-го шару, м;

D – діаметр навантаженої площі, м;

$E_{\text{заг}}^{(i+1)}$ – загальний модуль пружності напівпростору, який розташований під і-м шаром, МПа;

Ei – модуль пружності матеріалу і-го шару, МПа.

α_1 – коефіцієнт посилення, який визначається за формулою

$$\alpha_1 = \left[a_0 + a_1\frac{h_n}{D} + a_2\frac{h_{осн}}{D} + b_1 \cdot E_n + b_2 \cdot E_{осн} + b_3 \cdot E_{гр}\right]^{-1}, \quad (3)$$

де h_n – Сумарна товщина монолітних шарів покриття, см (м);

$h_{осн}$ – сумарна товщина несучих шарів основи, см (м);

D – діаметр відбитка колеса розрахункового транспортного засобу, см(м);

E_n – середньозважений модуль пружності монолітних шарів покриття, МПа;

$E_{осн}$ – середньозважений модуль пружності несучих шарів основи, МПа;

$E_{гр}$ – загальний модуль пружності на поверхні ґрунтової основи, МПа;

a_0, a_1, a_2, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти рівняння, що призначаються на основі експериментальних досліджень [8], та наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Коефіцієнти для визначенняα_1

Table 1 – Coefficients for determining α_1

коефіцієнт	a_0	a_1	a_2	b_1	b_2	b_3
значення	0,3237	0,247	0,352	0,00033	0,00035	0,000131

Критерій зсувостійкості ґрунту, що підстилає композитний шар «шар з нез'вязних матеріалів разом з геограткою», забезпечується при дотриманні умови

$$\frac{1}{\alpha_3} \cdot T \le \frac{T_{пр}}{K_{мц}}, \quad (4)$$

де *T* – активна розрахункова напруга зсуву;

$T_{пр}$ – гранична величина активної напруги зсуву;

$K_{мц}$ – Необхідний коефіцієнт міцності;

α_3 – коефіцієнт посилення (коефіцієнт зниження активної напруги зсуву), визначається за рівнянням:

$$\alpha_3 = (b_0 + b_1\frac{h_n}{D} + b_2\frac{h_{осн}}{D} + b_3\frac{E_n}{E_{пос}} + b_4\frac{E_{осн}}{E_{пос}} + b_5\frac{E_{гр}}{E_{пос}} + b_{11}\left(\frac{h_n}{D}\right)^2 + b_{12}\frac{h_n}{D}\frac{h_{осн}}{D} + b_{13}\frac{h_n}{D}\frac{E_n}{E_{пос}} +$$
$$+b_{14}\frac{h_n}{D}\frac{E_{осн}}{E_{пос}} + b_{15}\frac{h_n}{D}\frac{E_{гр}}{E_{пос}} + b_{22}\left(\frac{h_{осн}}{D}\right)^2 + b_{23}\frac{h_{осн}}{D}\frac{E_n}{E_{пос}} + b_{24}\frac{h_{осн}}{D}\frac{E_{осн}}{E_{пос}} + b_{25}\frac{h_{осн}}{D}\frac{E_{гр}}{E_{пос}} +$$
$$+b_{33}\left(\frac{E_n}{E_{пос}}\right)^2 + b_{34}\frac{E_n}{E_{пос}}\frac{E_{осн}}{E_{пос}} + b_{35}\frac{E_n}{E_{пос}}\frac{E_{гр}}{E_{пос}} + b_{44}\left(\frac{E_{осн}}{E_{пос}}\right)^2 + b_{45}\frac{E_{осн}}{E_{пос}}\frac{E_{гр}}{E_{пос}} + b_{55}\left(\frac{E_{гр}}{E_{пос}}\right)^2)^{-1}, \quad (5)$$

де $E_{пос}$ - умовний модуль пружності посиленого шару (шар з нез'вязних матеріалів із геограткою», що призначаються на основі експериментальних досліджень [8], та наведені в таблиці 1;

b_0, b_1, …(b_{ij}) – коефіцієнти, що приймають залежно від значень кута внутрішнього тертя ґрунту основи і призначаються на основі експериментальних досліджень [8] (таблиця 2). Інші позначення у рівнянні (5) ті ж, що й у формулі (3).

Таблиця 2 – Коефіцієнти для визначення α_3
Table 2 – Coefficients for determining α_3

Коефіцієнти	φ, град						
	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35
b_0	0,1674	0,1650	0,1607	0,1546	0,1452	0,1314	0,1098
b_1	0,3045	0,2895	0,2703	0,2497	0,2267	0,2010	0,1744
b_2	0,1533	0,1207	0,0801	0,0339	-0,0174	-0,0742	-0,1342
b_3	-0,0089	-0,0060	-0,0016	0,0047	0,0138	0,0270	0,0465
b_4	1,0089	1,0051	0,9983	0,9871	0,9705	0,9433	0,9015
b_5	3,0644	3,2141	3,4207	3,6658	3,9781	4,3842	4,9121
b_{11}	-0,0613	-0,0581	-0,0534	-0,0492	-0,0442	-0,0390	-0,0343
b_{12}	-0,1488	-0,1475	-0,1464	-0,1454	-0,1450	-0,1447	-0,1459
b_{13}	0,0507	0,0548	0,0601	0,0664	0,0738	0,0831	0,0942
b_{14}	-0,2140	-0,1994	-0,1806	-0,1594	-0,1352	-0,1069	-0,0748
b_{15}	-0,1394	-0,1685	-0,2089	-0,2573	-0,3123	-0,3888	-0,4813
b_{22}	0,0135	0,0247	0,0387	0,0547	0,0727	0,0926	0,1137
b_{23}	-0,0027	-0,0071	-0,0126	-0,0194	-0,0278	-0,0385	-0,0522
b_{24}	-0,0394	-0,0058	0,0369	0,0865	0,1439	0,2112	0,2902
b_{25}	-0,5233	-0,5608	-0,6109	0,6644	-0,7313	-0,8142	-0,9145
b_{33}	0,0073	0,0076	0,0078	0,0075	0,0067	0,0048	0,0013
b_{34}	-0,0517	-0,0544	-0,0575	0,0608	-0,0645	-0,0678	-0,0702
b_{35}	0,0382	0,0351	0,0275	0,0179	0,0030	-0,0210	-0,0618
b_{44}	-0,1391	-0,1426	-0,1457	-0,1480	-0,1494	-0,1477	-0,1434
b_{45}	-5,2945	-5,3866	-5,4889	-5,5664	-5,6081	-5,5865	-5,4449
b_{55}	-7,2670	-7,4487	-7,7980	-8,4032	-9,4184	-11,0547	-13,6543

Критерій опору матеріалів монолітних шарів руйнуванню на втому від розтягування при згині для конструкцій, посилених геоґраткою, дотримується при забезпеченні умови

$$\mathrm{K_{мц}} \le \frac{\mathrm{R_{зг}}}{\sigma_r}, \tag{6}$$

де Rзг – гранично допустима напруга розтягу матеріалу шару з урахуванням втоми, МПа, яке визначають за температури 0оС та тривалості дії навантаження 0,1с.;

σr – найбільша напруга розтягу у розглянутому шарі, що встановлюється розрахунком, МПа.

Найбільші розтягувальні напруги при згині в монолітному шарі посиленої конструкції $\sigma_r^{пос}$ визначають за залежністю:

$$\sigma_r^{пос} = 1{,}53 \cdot P \cdot \frac{h_1}{D} \cdot \frac{E_1}{E_{заг.пос}} \cdot \left(1 - \frac{2}{\pi} \cdot arctg\frac{h_э}{D}\right) \cdot arctg^2\frac{D}{h_e}, \tag{7}$$

де P – питомий тиск колеса розрахункового автомобіля, МПа;
D – розрахунковий діаметр відбитка колеса, см;
h_1 – товщина покриву, см;
E_1 – модуль пружності матеріалу покриву, МПа;
h_e – еквівалентна товщина шару, см;
$E_{заг.пос}$ – загальний модуль пружності посиленої основи, що підстилає покрив, МПа;

При посилені несного шару основи геоґраткою загальний модуль пружності основи слід визначати за залежністю

$$E_{заг.пос} = \alpha_2 \cdot E_{заг}, \quad (8)$$

де $E_{заг.}$ – загальний модуль пружності, МПа;
α_2 – коефіцієнт посилення, що визначається за формулою.

$$\alpha_2 = \left[c_0 + c_1 \frac{h_п}{D} + c_2 \frac{h_{осн}}{D} + d_1 \cdot E_п + d_2 \cdot E_{осн} + d_3 \cdot E_{гр}\right]^{-1}, \quad (9)$$

де $h_п$ – Сумарна товщина монолітних шарів покриття, см;
$h_{осн}$ – сумарна товщина несних шарів основи дорожнього одягу, см;
D – діаметр відбитка колеса розрахункового автомобіля, см;
$E_п$ –середньозважений модуль пружності монолітних шарів покриву, МПа;
$E_{осн}$ – середньозважений модуль пружності несних шарів основи, МПа;
$E_{гр}$ – загальний модуль пружності основи, що підстилає посилений шар, МПа;
$c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$ – коефіцієнти рівняння, що призначаються на основі експериментальних робіт [8], та наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Коефіцієнти для визначенняα_2
Table 3 – Coefficients for determining α_2

c_0	c_1	c_2	d_1	d_2	d_3
0,3234	0,1153	0,2864	0,000237	0,000341	0,0000025

Як показали проведені експериментальні дослідження, при посиленні дорожніх одягів геоґратками відбувається збільшення еквівалентного модуля деформації:

$$E_{екв.п.} = K_п \cdot E_{екв} \quad (10)$$

де $K_п$ - коефіцієнт посилення (величина коефіцієнта залежить від типу геоґраток, глибини її залягання і співвідношень деформаційних характеристик ґрунтової основи і шару засипки).

Так для різних типів геоґраток коефіцієнт $K_п$ становить:
для геоґраток типу Tensar TriAx 150

$$K_п = 1{,}59 - 1{,}075 \times \frac{E_{гр}}{E_{до}} + 0{,}0772 \times \frac{h_{до}}{D} + 0{,}693 \times \left(\frac{E_{гр}}{E_{до}}\right)^2 - 0{,}0942 \times \frac{E_{гр}}{E_{до}} \times \frac{h_{до}}{D} - 0{,}201 \times \left(\frac{h_{до}}{D}\right)^2$$

для геоґраток типу Tensar TriAx 160

$$K_{\text{п}} = 1{,}94 - 1{,}075 \times \frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}} + 0{,}0772 \times \frac{h_{\text{до}}}{D} + 0{,}693 \times \left(\frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}}\right)^2 - 0{,}0942 \times \frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}} \times \frac{h_{\text{до}}}{D} - 0{,}201 \times \left(\frac{h_{\text{до}}}{D}\right)^2$$

для геограток типу Tensar TriAx 170

$$K_{\text{п}} = 2{,}3 - 1{,}075 \times \frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}} + 0{,}0772 \times \frac{h_{\text{до}}}{D} + 0{,}693 \times \left(\frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}}\right)^2 - 0{,}0942 \times \frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{до}}} \times \frac{h_{\text{до}}}{D} - 0{,}201 \times \left(\frac{h_{\text{до}}}{D}\right)^2$$

Ефект посилення дорожніх конструкцій георешітками виражається коефіцієнтом зміцнення конструкції K_n.

Модуль деформації посиленої дорожньої конструкції визначається за залежністю:

$$E_{\text{екв.п.}} = K_{\text{п}} \cdot E_{\text{екв}} \tag{11}$$

Проведені дослідження посилених конструкцій показують, що наявність геогратки змінює напружено деформований стан дорожньої конструкції. Внаслідок перерозподілу напруги змінюються умови роботи практично всіх шарів дорожнього одягу. Геогратка, що підстилає незв'язний шар, сприяє збільшенню діючих у ньому вертикальних напруг і, разом з тим, зниженню його деформацій, що говорить про збільшення як жорсткості шару, так і всієї конструкції в цілому.

Висновок. У статті запропоновано удосконалений метод розрахунку конструкцій дорожнього одягу, який враховує застосування багатовісноорієнтованої геогратки в неукріплених шарах основи. Введення коефіцієнта посилення дозволяє більш точно врахувати збільшення модуля пружності посиленого шару, що, у свою чергу, сприяє підвищенню загального модуля пружності конструкції.

Результати експериментальних досліджень та числових розрахунків показують, що в слабозв'язних шарах основи під шаром щебеню виникають напруги розтягу (σ_3 приймають негативні значення). Водночас під шаром щебеню, посиленим геограткою, в усіх досліджених конструкціях спостерігаються напруги стиску. Це свідчить про значну зміну механічних властивостей конструкцій завдяки використанню геограток.

Урахування розташування шару посилення в конструкціях дорожнього одягу, а також цілеспрямоване регулювання жорсткості окремих шарів дозволяє суттєво підвищити надійність і довговічність дорожніх конструкцій із забезпеченням їх стабільності та ефективності в умовах збільшеного транспортного навантаження.

Перелік посилань

1. ДСТУ 8888:2019 Георешітки полімерні жорсткі тривісноорієнтовані. Загальні технічні вимоги

2. ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги

3. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування

4. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво

5. СОУ 42.1-21483639 – 004 : 2017 Георешітки полімерні жорсткі тривісноорієнтовані «TENSAR TX». Методи проектування дорожніх одягів та штучних основ з георешітками

6. Tensar A Division of CMC. Офіційний вебсайт. https://www.tensarinternational.com/applications/roads-pavements-trafficked-areas. Дата доступу: 10 березня 2025 року.

7. Ряпухін В.М., Павленко Н.В. Вплив дискретності шарів дорожнього одягу на міцність грунтової основи. Науково-технічний збірник. 2011. Вип. 40. С. 264 – 269.

8. Usychenko O.YU., Kharin P.L. Eksperemenal′ni doslidzhennya konstruktsiy dorozhnikh odyahiv posylenykh zhorstkymy bahatovisnooriyentovanymy polimernymy heoreshitkamy. Avtomobil′ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo. 2024. Vyp. 115. S. 284-291

CALCULATION METHOD OF FLEXIBLE ROAD PAVEMENT REINFORCED WITH POLYMERIC RIGID MULTIAXIAL POLYMER GEOGRIDS

Pavlo Kharin, Uniprom LLC, Director of Design and Engineering, e-mail: kxarin@ukr.net, tel. +38 050 4135950, Ukraine, 03150, Kyiv, street Predslavynska 37, office 303, orcid.org/0000-0001-7858-0912

Plytus Rostyslav M., postgraduate student, National Transport University, e-mail: rostmuh@gmail.com, tel. +380683023326, Ukraine, 01042, Kyiv, 32, John McCain Str., orcid.org/0000-0001-7319-4094.

Summary. T Due to the significant increase in traffic loads and increased requirements for the transport and operational condition of highways, strengthening road pavement structures with geogrids is a pressing issue. To date, the issue of creating theoretical foundations for the design, construction and operation of road structures using geosynthetic materials remains open. In this article, the authors propose an improved method for designing and calculating road pavement reinforced with a polymer rigid multiaxially oriented geogrid. To take into account the reinforcement effect due to the use of a polymer rigid multiaxially oriented geogrid TM Tensar, it is proposed to introduce a reinforcement coefficient obtained in the course of experimental studies to the traditional calculation method (GBN B.2.3-37641918-559). The choice of reinforcement material and the effect achieved as a result of its use depend on the type of geogrid, foundation characteristics, strength and deformation properties of underlying soils, as well as on the location of the geogrid in the structure.

The resulting reinforcement effect is manifested in an increase in the service life of road structures, an increase in their operational reliability, an improvement in the transport and operational performance of highways, as well as the possibility of reducing the thickness of the road surface layers.

Keywords: road blanket, geogrid, strength coefficient, intensity, tension, modulus of elasticity, highway

References

1. DSTU 8888:2019 Heoreshitky polimerni zhorstki tryvisnooriyentovani. Zahal′ni tekhnichni vymohy

2. GBN V.2.3-37641918-544:2014 Avtomobil′ni dorohy. Zastosuvannya heosyntetychnykh materialiv u dorozhnikh konstruktsiyakh. Osnovni vymohy

3. GBN V.2.3-37641918-559:2019 Avtomobil′ni dorohy. Dorozhniy odyah nezhorstkyy. Proektuvannya

4. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobil′ni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya. Chastyna II. Budivnytstvo

5. SOU 42.1-21483639 – 004 : 2017 Heoreshitky polimerni zhorstki tryvisnooriyentovani «TENSAR TX». Metody proektuvannya dorozhnikh odyahiv ta shtuchnykh osnov z heoreshitkamy 6. Tensar A Division of CMC. Official website. https://www.tensarinternational.com/
applications/roads-pavements-trafficked-areas. Access date: March 10, 2025.

7. Ryapukhin V.M., Pavlenko N.V. Vplyv dyskretnosti shariv dorozhn′oho odyahu na mitsnist′ hruntovoyi osnovy. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. 2011. Vyp. 40. S. 264 – 269.

8. Usychenko O.Y., Kharin P.L. Experimental studies on strengthening of road pavements with polymer rigid multi-axial oriented geogrids // Highways and road construction. Kyiv, – 2024 – Issue 115 – P. 284-291.

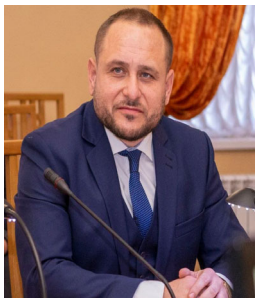
УДК 528.4:332.3 **DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-109-115**
UDC 528.4:332.3

ПРОСТОРОВЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕМЛЕВПОРЯДНОГО ПРОЕКТУВАННЯ
SPATIAL AND ECOLOGICAL SUPPORT OF LAND MANAGEMENT DESIGN



Вяткін Роман Сергійович, *кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: viatkinr@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0001-8807-9988



Мамонов Костянтин Анатолійович, *доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com*

http://orcid.org/0000-0002-0797-2609



Штерндок Ернест Сергійович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: shterndok@ukr.net*

https://orcid.org/0000-0003-1107-7401



Корогодін Артем Володимирович, *студент групи МЗУК-2024-2, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: artem.korogodin@kname.edu.ua*

https://orcid.org/0009-0001-5365-6519

Анотація. Доведено, що для розвитку та організації використання земель на регіональному рівні застосовуються сучасні методи і моделі землевпорядного проектування. Для зростання ефективності землевпорядного проектування необхідно сформувати та реалізовувати напрями створення й застосування його просторового і екологічного забезпечення. У роботі досягнута мета відносно визначення просторового й екологічного забезпечення землевпорядного проектування.

Реалізовані задачі дослідження: характеристика просторового забезпечення землевпорядного проектування; обґрунтування екологічного забезпечення землевпорядного проектування.

Просторове забезпечення землевпорядного проектування складається із картографічного та геодезичного забезпечення використання земель та характеризується відповідними рівнями. До просторового забезпечення відносяться також функціональні параметри використання земель, які пов'язані із їх типологічними характеристиками, результатами інвентаризації та бонітування грунтів, встановлення меж територій, визначеними ціннісними параметрами земельних ресурсів.

Запропоновано екологічне забезпечення землевпорядного проектування: стан навколишнього природного середовища чи його об'єктів; сформоване біологічного різноманіття і його компоненти, включаючи генетично видозмінені організми та їх взаємодію з об'єктами навколишнього природного середовища; вплив факторів, матеріалів, речовин, продукції, енергії, фізичних факторів (шум, вібрацію, електромагнітне випромінювання, радіацію) на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей; визначені загрози виникнення і причини надзвичайних екологічних ситуацій, результати ліквідації цих явищ; реалізація рекомендацій щодо заходів, спрямованих на зменшення їх негативного впливу на природні об'єкти та здоров'я людей; наявність розроблених екологічних прогнозів, планів і програм, заходів, в тому числі адміністративних, які впливають на державну екологічну політику, законодавство про охорону навколишнього природного середовища; здійснення витрат, пов'язаних зі здійсненням природоохоронних заходів за рахунок фондів охорони навколишнього природного середовища, інших джерел фінансування; наявність результатів економічного аналізу, проведеного у процесі прийняття рішень з питань, що стосуються довкілля; коефіцієнти, що враховують екологічне значення водних об'єктів.

У результаті дослідження визначена необхідність формування просторового й екологічного забезпечення землевпорядного проектування. Охарактеризовані елементи та напрями формування просторового й екологічного забезпечення землевпорядного проектування, що забезпечило зростання його ефективності у контексті територіального розвитку використання земель регіонів для сталого розвитку держави.

Ключові слова: землевпорядне проектування, просторове забезпечення, екологічне забезпечення, сталий розвиток, збалансоване землекористування, територіальний розвиток використання земель.

Вступ. Для розвитку та організації використання земель на регіональному рівні застосовуються сучасні методи і моделі землевпорядного проектування. Для розвитку системи землевпорядкування актуальним питанням є формування національних напрямів та виокремлення проблеми не стільки практичного, скільки, і більше, базового – теоретичного рівня [1]. Для забезпечення та трансформації землевпорядкування особливого значення мають напрями сталого розвитку, які спрямовані на: забезпечення доступності та сталого управління водними ресурсами та санітарією; забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії для всіх; сприяння поступальному, всеохоплюючому та сталому економічному зростанню, повній і продуктивній зайнятості та гідній праці для всіх; створення стійкої інфраструктури, сприяння всеохоплюючій і сталій індустріалізації та інноваціям; скорочення нерівності; забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст, інших населених пунктів; забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва; захист та відновлення екосистем суші та сприяння їх раціональному використанню, раціональне лісокористування, боротьба з опустелюванням, припинення і повернення назад (розвертання) процесу деградації земель та зупинка процесу втрати біорізноманіття; зміцнення засобів здійснення й активізація роботи в рамках глобального партнерства в інтересах сталого розвитку [2].

Поряд з цим, для зростання ефективності землевпорядного проектування необхідно сформувати та реалізовувати напрями створення й застосування його просторового і екологічного забезпечення.

Таким чином, тема дослідження щодо просторового й екологічного забезпечення землевпорядного проектування є казуальною і має важливого значення.

Огляд існуючих теоретичних розробок. В існуючих наукових розробках для забезпечення сталого розвитку у контексті збалансованого землекористування на основі здійснення землеустрою та землевпорядкування сфокусована увага на переосмисленні підходів та виокремленні проблемних аспектів щодо нездатності національних інституцій попереджувати еколого-економічним кризам землекористування; обмеженості системи землевпорядкування у забезпеченні запитів гравців економіки земле- та природокористування і земельної політики; ігнорування низки суттєвої інформації, що породжує національні, регіональні та місцеві проблеми асиметрії інформації [1, 3–5]. На напрямах та особливостях використання земель для забезпечення землевпорядного проектування зосерджували увагу [6–8].

Інформаційні аспекти забезпечення землевпорядкування визначені у роботі [9]. Інноваційні параметри формування землевпорядкування виокремлені у розробках [10–11]. На інструментарії здійснення землевпорядкування фокусується увагу у [12–13].

Отже, узагальнюючи вищенаведене, узагальнені теоретичні положення щодо формування напрямів та особливостей землевпорядкування. Це дозволяло створити умови для розробки теоретико-методичної платформи землевпорядного проектування.

Метою дослідження є визначення просторового й екологічного забезпечення землевпорядного проектування. Задачами дослідження є:

– характеристика просторового забезпечення землевпорядного проектування;
– обгрунтування екологічного забезпечення землевпорядного проектування.

Виклад основного матеріалу. Просторове забезпечення землевпорядного проектування складається із картографічного та геодезичного забезпечення використання земель та характеризується рівнями: додержання вимог стандартів та нормативно-технічної документації; впровадження прогресивних технологій і методів організації топографо-геодезичного і картографічного виробництва; розроблення, впровадження та організації програмного, технологічного і технічного забезпечення ефективного використання цифрових карт і геоінформаційних систем; виконання робіт методами і способами, безпечними для життя і здоров’я людей, стану довкілля та об’єктів, що мають історико-культурну цінність; зберігання та обліку топографо-геодезичних, картографічних, аерозйомочних і космічних матеріалів, систематичністю аналізу державної астрономо-геодезичної основи на території України та відповідності картографічних матеріалів сучасному стану місцевості; виконання топографічних, картографічних, кадастрових зйомок та оновлення карт і планів, зйомок континентального шельфу та водних об'єктів в єдиній системі координат і висот; створення, розвитку і підтримки в робочому стані геодезичних мереж, створення і оновлення картографічної основи державного кадастру, створення місцевих систем координат; створення геодезичних та картографічних матеріалів і даних для планування території, проектування, будівництва і реконструкції об'єктів капітального будівництва, створення інженерної та транспортної інфраструктури, а також проведення необхідних для цього інженерних вишукувань; створення географічних інформаційних систем; створення тематичних карт, планів і атласів спеціального призначення в графічній, цифровій та іншій формах, видання таких карт, планів і атласів; геодезичних, топографічних, аерозйомочних та інших спеціальних робіт під час інших вишукувань і спеціальних робіт; технічного забезпечення топографо-геодезичної і картографічної діяльності, яке базується на використанні засобів обчислювальної та інформаційної техніки, технічних засобів для виконання топографо-геодезичних і картографічних робіт; вдосконалення системи проведення державної топографічної зйомки, поліпшення координації та кооперування топографо-геодезичної та картографічної діяльності для загальнодержавних та галузевих, зокрема військових, а також регіональних та місцевих потреб; забезпечення включення до планів та програм навчальних закладів, які готують фахівців у сфері топографо-геодезичної та картографічної діяльності, вивчення відповідних новітніх технічних засобів, методик та технологій; рівнем взаємодії регіональних органів влади з органами державного геодезичного нагляду в питаннях

виконання топографо-геодезичних та картографічних робіт, а також використання носіїв топографо-геодезичної та картографічної інформації, що є державною власністю.

До просторового забезпечення відносяться також функціональні параметри використання земель, які пов'язані з їх типологічними характеристиками, результатами інвентаризації та бонітування ґрунтів, встановлення меж територій, визначеними ціннісними параметрами земельних ресурсів.

Запропоновано екологічне забезпечення землевпорядного проектування: стан навколишнього природного середовища чи його об'єктів; сформоване біологічного різноманіття і його компоненти, включаючи генетично видозмінені організми та їх взаємодію з об'єктами навколишнього природного середовища; вплив факторів, матеріалів, речовин, продукції, енергії, фізичних факторів (шум, вібрацію, електромагнітне випромінювання, радіацію) на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей; визначені загрози виникнення і причини надзвичайних екологічних ситуацій, результати ліквідації цих явищ; реалізація рекомендацій щодо заходів, спрямованих на зменшення їх негативного впливу на природні об'єкти та здоров'я людей; наявність розроблених екологічних прогнозів, планів і програм, заходів, в тому числі адміністративних, які впливають на державну екологічну політику, законодавство про охорону навколишнього природного середовища; здійснення витрат, пов'язаних зі здійсненням природоохоронних заходів за рахунок фондів охорони навколишнього природного середовища, інших джерел фінансування; наявність результатів економічного аналізу, проведеного у процесі прийняття рішень з питань, що стосуються довкілля; коефіцієнти, що враховують екологічне значення водних об'єктів.

Для удосконалення системи забезпечення землевпорядного проектування запропоновані заходи: збільшення функціональних показників на основі зростання рівня використання земель житлової та громадської забудови, повноти та якості проведення інвентаризації земель при здійсненні землеустрою, врахування у системі кадастрової інформації територіально-планувальних, інженерно-геологічних, історико-культурних, природно-ландшафтних, санітарно-гігієнічних та інших умов, їх збалансування у системі просторового забезпечення, зростання якості та повноти інформаційного забезпечення щодо стану та використання земель сільськогосподарського призначення у загальному фонді земель за регіонами; формування системи просторової інформації щодо стану та використання підземної нерухомості; забезпечення повноти та якості картографічного та геодезичного забезпечення використання земель регіонів на основі додержання вимог стандартів та нормативно-технічної документації, впровадження та розвитку прогресивних технологій і методів організації топографо-геодезичного і картографічного виробництва, зростання рівня розроблення, впровадження та організації програмного, технологічного і технічного забезпечення ефективного використання цифрових карт і геоінформаційних систем, рівня геодезичних, топографічних, аерозйомочних та інших спеціальних робіт під час інших вишукувань і спеціальних робіт, забезпечення взаємодії і партнерства регіональних органів влади з органами державного геодезичного нагляду в питаннях виконання топографо-геодезичних та картографічних робіт, а також використання носіїв топографо-геодезичної та картографічної інформації, що є державною власністю; забезпечення екологічного розвитку на основі зростання рівня охорони навколишнього природного середовища чи його об'єктів - землі, вод, надр, атмосферного повітря, рослинного і тваринного світу та рівні їх забруднення; зростання рівня якості поводження з відходами у системі територіального розвитку використання земель регіону на основі забезпечення повного збирання і своєчасного знешкодження та видалення відходів, а також дотримання правил екологічної безпеки при поводженні з ними; зведення до мінімуму утворення відходів та зменшення їх небезпечності; забезпечення зниження утворених відходів порівняно із обсягами їх утилізації, спалення та видалення у спеціально відведених місцях чи об'єктів і середньої чисельності населення; зростання обсягу витрат на охорону навколишнього середовища, які впливають на територіальний розвиток використання земель регіонів; зростання обсягу капітальних інвестицій на охорону навколишнього середовища за регіонами; забезпечення зростання співвідношення витрат на охорону навколишнього середовища та середньої чисельності у регіонах; формування системного середовища щодо нормування та обліку поводження з відходами; зростання рівня оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій; зростання рівня інформування про виникнення та

попередження надзвичайних ситуацій; системна реалізація заходів щодо укриття населення у захисних спорудах цивільного захисту; здійснення комплексу заходів з евакуації шляхом реалізації напрямів з планування евакуації, визначення безпечних районів, придатних для розміщення евакуйованого населення та майна, організації оповіщення керівників суб'єктів господарювання і населення про початок евакуації, організації управління евакуацією; забезпечення інженерного захисту територій; зростання рівня інформатизації щодо будівництва протизсувних, протиповіневих, протиселевих, протилавинних, протиерозійних та інших інженерних споруд спеціального призначення, їх утримання у функціональному стані; забезпечення повноти та систематичності обстеження будівель, споруд, інженерних мереж і транспортних комунікацій, розроблення та здійснення заходів щодо їх безпечної експлуатації; забезпечення рівня інформаційного забезпечення радіаційного і хімічного захисту населення і територій шляхом збільшення рівнів: виявлення та оцінки радіаційної і хімічної обставин; організації та здійснення дозиметричного і хімічного контролю; розроблення та впровадження типових режимів радіаційного захисту; використання засобів колективного захисту; використання засобів індивідуального захисту, приладів радіаційної та хімічної розвідки, дозиметричного і хімічного контролю аварійно-рятувальними службами, формуваннями та спеціалізованими службами цивільного захисту, які беруть участь у проведенні аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, гасінні пожеж в осередках ураження радіаційно і хімічно небезпечних об'єктів та населення, яке проживає у зонах небезпечного забруднення; характеристика інформаційного забезпечення рівня пожежної безпеки в системі територіального розвитку використання земель регіонів шляхом збільшення рівня забезпечення пожежної безпеки на території України, регулювання відносин у цій сфері органів державної влади, органами місцевого самоврядування та суб'єктами господарювання і громадянами; рівня забезпечення пожежної безпеки суб'єктами господарювання; рівня повноважень у сфері пожежної безпеки асоціацій, корпорацій, концернів, інших господарських об'єднань; рівня виконання обов'язків із забезпечення пожежної безпеки під час проектування та забудови населених пунктів, будівництва будівель і споруд покладається на органи архітектури, замовників, забудовників, проектні та будівельні організації; рівня виконання обов'язків із забезпечення пожежної безпеки в жилих приміщеннях державного, комунального, громадського житлового фонду, фонду житлово-будівельних кооперативів покладається на квартиронаймачів і власників квартир, а в жилих приміщеннях приватного житлового фонду та інших спорудах, приватних житлових будинках садибного типу, дачних і садових будинках з господарськими спорудами та будівлями - на їх власників або наймачів, якщо це обумовлено договором найму.

Висновки. У результаті дослідження визначена необхідність формування просторового й екологічного забезпечення землевпорядного проектування. Охарактеризовані елементи та напрями формування просторового й екологічного забезпечення землевпорядного проектування, що забезпечило зростання його ефективності у контексті територіального розвитку використання земель регіонів для сталого розвитку держави.

Перелік посилань

1. Третяк А. М., Третяк В. М., Прядка Т. М., Капінос Н. О. Розвиток системи землевпорядкування на засадах новітньої інституціонально-поведінкової теорії. Економіка та держава № 6. 2021. С. 27 – 33. URL: http://www.economy.in.ua/pdf/6_2021/6.pdf

2. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року. Указ Президента України. Документ 722/2019. Прийняття від 30.09.2019. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text

3. Третяк А. М. Землеустрій в Україні: теорія, методологія: Монографія. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. 488 с.

4. Третяк А. М., Третяк В. М., Скляр Ю. Л., Капінос Н.О., Третяк Н. А. Концепція державної програми розвитку земельних відносин в україні на період до 2030 року. Агросвіт. № 19-20. 2020. С. 24–31.

5. Третяк А., Третяк В., Прядка Т. Законодавчо-нормативне запровадження зонування земель за типами (підтипами) землекористування в замін чинних категорій земель. Землевпорядний вісник. 2021. № 2. С. 16–20.

6. Бутенко Є. В., Зарічнюк С. М. Динаміка розвитку нормативно-правової бази управління земельним ресурсами в Україна. Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. 2015. № 1. С. 20–26. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemleustriy_2015_1_5

7. Гадзало Я. М. Проблеми завершення земельної реформи. Вісник аграрної науки. 2015. № 8. С. 5–10.

8. Добряк Д. Сучасний стан земельної реформи та перспективи розвитку земельних відносин в Україні. Землевпорядний вісник. 2015. № 4. С. 2–4.

9. Грещук Г. І. Інформаційне забезпечення землевпорядкування у сільському господарстві. Збалансоване природокористування. 2018. № 3. С. 133–140.

10. Данкевич В. Є. Інновації як невід'ємна складова сучасного землекористування. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Економічні науки. 2014. Вип. 5. Ч. 3. С. 141–144.

11. Шкуратов О. І. Інноваційні засади формування екобезпечного землекористування в сільському господарстві. Інноваційна економіка. 2011. № 6. С. 10–13.

12. Reed M. S., Buenemann M., Atlhopheng J. Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: a methodological framework for knowledge management. Land Degrad. Develop. 2011. № 22. P. 261–271.

13. Williamson I., Enemark S., Wallace J. Sustainability and Land Administration Systems. Melbourne: Department of Geomatics, 2006. 271 p.

SPATIAL AND ECOLOGICAL SUPPORT OF LAND MANAGEMENT DESIGN

Viatkin Roman, Candidate of technical sciences, docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: viatkinr@gmail.com, tel. +380950034439, https://orcid.org/0000-0001-8807-9988

Mamonov Kostiantyn, Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com, tel. +380992917354, http://orcid.org/0000-0002-0797-2609

Shterndok Ernest, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: shterndok@ukr.net, tel. +380934289234, https://orcid.org/0000-0003-1107-7401

Korohodin Artem, Student of MZUK-2024-2, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: artem.korogodin@kname.edu.ua, https://orcid.org/0009-0001-5365-6519

Summary. It is proved that modern methods and models of land management are used for the development and organization of land use at the regional level. In order to increase the efficiency of land management design, it is necessary to form and implement the directions of creation and use of its spatial and environmental support. The work has been achieved regarding the definition of spatial and ecological support of land management design. Implemented research tasks: characteristics of spatial support of land management design; substantiation of environmental support of land management design.

The spatial provision of land management consists of cartographic and geodetic provision of land use and is characterized by appropriate levels. Spatial support also includes the functional parameters of land use, which are related to their typological characteristics, results of inventory and soil boning, establishing boundaries of territories defined by value parameters of land resources.Ecological support of land management design is proposed: the state of the environment or its objects; formed biological diversity and its components, including genetically modified organisms and their interaction with objects of the environment; the influence of factors, materials, substances, products, energy, physical factors (noise, vibration, electromagnetic radiation,

radiation) on the state of the environment and human health; identified threats to the occurrence and causes of environmental emergencies, the results of the elimination of these phenomena; implementation of recommendations on measures aimed at reducing their negative impact on natural objects and human health; availability of developed environmental forecasts, plans and programs, measures, including administrative, which influence the state environmental policy, legislation on environmental protection; implementation of costs related to the implementation of environmental measures at the expense of environmental protection funds, other sources of financing; the results of economic analysis conducted in the decision -making process on environmental issues; coefficients that take into account the environmental value of water bodies.

As a result of the study, the need to form the spatial and ecological support of land management. Characterized elements and directions of formation of spatial and ecological support of land management design, which ensured its efficiency in the context of territorial development of land use of regions for sustainable development of the state.

Keywords: land management design, spatial support, environmental support, sustainable development, balanced land use, territorial development of land use.

References

1. Tretyak, A. M., Tretyak, V. M., Pryadka, T. M., Kapinos, N. O. (2021) Development of the land management system on the basis of the latest institutional-behavioral theory. Economics and State № 6. Pp. 27–33. http://www.economy.in.ua/pdf/6_2021/6.pdf [in Ukrainian].
2. On the goals of sustainable development of Ukraine for the period up to 2030. Presidential Decree. Document 722/2019. Adoption dated September 30, 2019. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text [in Ukrainian].
3. Tretyak, A. M. (2013) Land Management in Ukraine: Theory, Methodology: Monograph. Kherson: Oldi-Plus, 488 p.
4. Tretyak, A. M., Tretyak, V. M., Sklyar, Yu. L., Kapinos, N. O., Tretyak, N. A. (2020) The concept of the state program of development of land relations in Ukraine for the period up to 2030. Agrosvit. № 19-20. Pp. 24–31.
5. Tretyak, A., Tretyak, V., Pryadka, T. (2021) Legislative and regulatory introduction of land zoning by types (subtypes) of land use in replacement of existing land categories. Land management. № 2. Pp. 16–20.
6. Butenko, E. V., Zarichnyuk, S. M. (2015) Dynamics of development of the normative legal framework of land management in Ukraine. Land management, cadastre and land monitoring. № 1. Pp. 20–26. http://nbuv.gov.ua/en/zemleustriy_2015_1_5
7. Gadzal, Ya. M. (2015) Problems of completion of land reform. Bulletin of agrarian science. № 8. Pp. 5–10.
8. Dobryak, D. (2015) The current state of land reform and prospects for the development of land relations in Ukraine. Land management. № 4. Pp. 2–4.
9. Greshchuk, G. I. (2018) Information support of land management in agriculture. Balanced nature management. № 3. P. 133–140.
10. Dankevich, V. E. (2014) Innovation as an integral part of modern land use. Scientific Bulletin of Kherson State University. Series: Economic Sciences. Iss. 5. Part 3. P. 141–144.
11. Shkuratov, O. I. (2011) Innovative principles of formation of eco-hazardous land use in agriculture. Innovative economy. № 6. P. 10–13.
12. Reed, M. S., Buenemann, M., Atlhopheng, J. (2011) Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: a methodological framework for knowledge management. Land Degrad. Develop. № 22. P. 261–271.
13. Williamson, I., Enemark, S., Wallace, J. (2006) Sustainability and Land Administration Systems. Melbourne: Department of Geomatics, 271 p.

УДК 528:332.3
UDC 528:332.3
DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-116-123

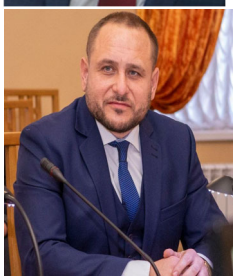
НАПРЯМИ ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ ВІДБУДОВИ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ

DIRECTIONS FOR THE FORMATION OF ECOLOGICAL SUPPORT OF LAND USE TO RESTORE TRANSPORT INFRASTRUCTURE AT THE REGIONAL LEVEL



Гой Василь Васильович, *кандидат економічних наук, докторант кафедри економіки та маркетингу, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: vasssgoi@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0003-1822-4478



Мамонов Костянтин Анатолійович, *доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com*

http://orcid.org/0000-0002-0797-2609



Телюра Наталья Олександрівна, *кандидат технічних наук, доцент, Начальник науково-дослідної частини, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: Natalya.Telyura@kname.edu.ua*

https://orcid.org/0000-0003-0732-7789



Нелін Євген Олександрович, *аспірант кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, Україна, e-mail: zhekanelin@gmail.com*

https://orcid.org/0009-0000-8224-3062

Анотація. Встановлено, що на формування та реалізацію земельних відносин впливають процеси побудови транспортної інфраструктури, яка виступає кровоносними сосудами економіки держави. Формування транспортної інфраструктури залежить від землекористування. Трансформаційні процеси, що відбуваються у сфері земельних відносин, потребують переосмислення підходів до зростання ефективності використання земель транспортної інфраструктури на регіональному рівні. На сучасному етапі стан земельних відносин характеризуються неоднозначними тенденціями. Зокрема, спостерігається скорочення рівня посівних площ, уповільнюються основні показники функціонування транспортної інфраструктури, впливають наслідки ведення бойових дій, знижується рівень інвестиційної привабливості земель, забудови територій, виникають регіональні

диспропорції. Посилюють представлені проблемні аспекти зниження рівня екологічного забезпечення та безпеки.

У результаті дослідження досягнута мета відносно визначення напрямів формування екологічного забезпечення використання земель для відбудови транспортної інфраструктури регіонів. Вирішені поставлені завдання щодо: визначення впливу наслідків агресії на землекористування на регіональному рівні; обґрунтування екологічних напрямів використання земель для відбудови транспортної інфраструктури.

Визначені чинники, що обумовлюють поглиблення кризових явищ за рахунок наслідків агресії РФ у сфері використання земель транспортної інфраструктури регіонів та екологічної безпеки.

Для прийняття обґрунтованих рішень у сфері землекористування транспортної інфраструктури, враховуючи екологічні напрями, запропоновано сформувати кількісну основу, яка базується на застосуванні підходів до оцінки земель, земельних поліпшень, нерухомості у цілому. Потребують подальшого удосконалення напрями використання інструментарію математичного моделювання. Формування сучасної системи управління земельними відносинами визначається необхідністю застосування геоінформаційних систем та подальшого розвитку процесів регулювання оціночної діяльності.

Визначені напрями для забезпечення відбудови транспортної інфраструктури, що враховують наслідки агресивних дій, особливості землекористування та формування екологічної безпеки на регіональному рівні.

Ключові слова: використання земель, екологічне забезпечення, відбудова транспортної інфраструктури, геоінформаційні системи, оцінка нерухомості, аналіз ринку нерухомості, оцінка земель, земельні поліпшення, регулювання оціночної діяльності.

Вступ. Формування сучасної системи використання земель на регіональному рівні спрямовано на створення та застосування інструментарію геоекологічного моніторингу. Він передбачає використання геоінформаційних систем, реалізація яких представлена у нормативно-правовому забезпеченні [1–3]. Для формування сучасної геоінформаційної системи, розробки й впровадження відповідного просторового забезпечення регламентується Конституцією України, Земельним, Водним, Лісовим кодексами України, законами України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність», «Про Державний земельний кадастр», «Про землеустрій», «Про регулювання містобудівної діяльності», «Про державну реєстрацію речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень», «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про природно-заповідний фонд України», «Про наукову і науково-технічну експертизу», «Про стандартизацію», «Про космічну діяльність», «Про доступ до публічної інформації», «Про телекомунікації», «Про географічні назви», «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України», «Про культуру», «Про охорону культурної спадщини», «Про музеї та музейну справу», іншими законодавчими актами.

На формування та реалізацію земельних відносин впливають процеси побудови транспортної інфраструктури, яка виступає кровоносними сосудами економіки держави. Формування транспортної інфраструктури залежить від землекористування. Трансформаційні процеси, що відбуваються у сфері земельних відносин, потребують переосмислення підходів до зростання ефективності використання земель транспортної інфраструктури на регіональному рівні. На сучасному етапі стан земельних відносин характеризуються неоднозначними тенденціями. Зокрема, спостерігається скорочення рівня посівних площ, уповільнюються основні показники функціонування транспортної інфраструктури, впливають наслідки ведення бойових дій, знижується рівень інвестиційної привабливості земель, забудови територій, виникають регіональні диспропорції. Посилюють представлені проблемні аспекти зниження рівня екологічного забезпечення та безпеки.

Таким чином, для вирішення представлених проблемних питань актуальним завданням є розробка й реалізація напрямів формування екологічного забезпечення використання земель для відбудови транспортної інфраструктури на регіональному рівні.

Огляд існуючих теоретичних розробок. На проблемні аспекти екологічних наслідків ведення бойових дій наголошується у роботах [4–7]. Для забезпечення розвитку земельних відносин визначаються напрями та особливості землекористування [8–9].

Крім того, визначені ознаки та надзвичайні параметри впливу військових дій на екологічний стан територій [10–14].

Розроблені теоретико-методичні підходи та виокремлені практичні аспекти формують наукову платформу до формування екологічного забезпечення земельних відносин. Проте на недостатньому рівні визначені відповідні напрями у контексті землекористування у сфері транспортної інфраструктури, враховуючи особливості реалізації екологічної політики та безпеки.

Метою дослідження є визначення напрямів формування екологічного забезпечення використання земель для відбудови транспортної інфраструктури регіонів.

Досягнення мети роботи визначається наступними завданнями:

– визначення впливу наслідків агресії на землекористування на регіональному рівні;
– обґрунтування екологічних напрямів використання земель для відбудови транспортної інфраструктури.

Виклад основного матеріалу. Характеризуючи екологічний стан за наслідками ведення бойових дій, станом на травень 2023 р. в атмосферне повітря вже потрапило близько 1,2 мільйона тон забруднюючих речовин, у тому числі 430 тисяч тон оксиду вуглецю, 700 тисяч тон пилу та 40 тисяч тон неметанових летких органічних сполук, значний обсяг важких металів та інших шкідливих речовин [15].

Екологічними факторами, що впливали на забруднення повітря, внаслідок агресії РФ, є:

– викиди дизельних і паливних генераторів;
– результати атаки на промислові об’єкти;
– детонація боєприпасів;
– лісові пожежі [16].

Слід вказати на негативні фактори, пов’язані із забрудненням води:

– результати затоплення шахт;
– більш ніж 6 млн. осіб стикнулись з проблемами доступу до води;
– здійснення обстрілів дам, зокрема у Кривому Розі у результати обстрілу дамби завдано збитків на рівні 77 млн. грн.;
– результати знищення військової техніки [16].

Наслідками ведення бойових дій є забруднення ґрунтів:

– більш ніж третина території України є замінованою;
– на думку фахівців забруднення ґрунтів перевищує показників більш ніж у 6 – 8 разів від норми;
– проблемні питання із похованням померлих;
– вплив руху військової техніки на ґрунтовий покрив;
– випалені чорноземи – перевищення важких металів у ґрунтах більш ніж у 25 разів [16].

Визначена шкода, що нанесена екологічній безпеці внаслідок агресії РФ, яка представлена у табл. 1.

Узагальнюючи думки експертів з екологічної безпеки, визначені відповідні проблемні питання:

– встановлено масштабний удар по екології (The Gurdian);
– формування токсичної екологічної спадщини (France 24);
– визначена висока екологічна ціна війни в Україні (Green European Journal);
– визначені катастрофічні екологічні втрати вторгнення Росії в Україні (Radio Free Europe);
– охарактеризовані катастрофічні наслідки для навколишнього середовища (Polskie Radio);
– визначено, що Донбас є потенційною бомбою (Business Insider) [18].

Запропонований комплекс заходів, спрямованих на подолання наслідків впливу ведення військових дій на зовнішнє природне середовище (рис. 1).

Таблиця 1 – Шкода, що нанесена екологічній безпеці внаслідок агресії РФ за даними [17]
Table 1 – *It is a pity that environmental safety is caused by Russian aggression according to data [17]*

Назва шкоди	Одиниця вимірів	Кількісні параметри
Забруднено небезпечними речовинами грунти	$м^2$	280904
Засмічено залишками знищених об'єктів та боєприпасів землі	$м^2$	12277512
Згоріло нафтопродуктів під час обстрілів, які забруднюють атмосферне повітря небезпечними речовинами	т	686816
Випалено ракетами та снарядами лісів та інших насаджень	га	33132
Знищено об'єктів у економіці держави	$м^2$	1063947
Обсяг забруднюючих речовин, що потрапили у водні об'єкти	т	1597
Обсяг сторонніх предметів, матеріалів, відходів та/або інших речовин, які потрапили у водні об'єкти	кг	2903513
Обсяг використаної води самовільно	$м^3$	410150000



Рисунок 1 – *Комплекс заходів, спрямованих подолання наслідків впливу ведення військових дійна на зовнішнє природне середовище за [17]*
Figure 1 – *A set of measures aimed at overcoming the effects of the impact of hostilities on the external environment for [17]*

Висновки. Таким чином, визначені чинники, що обумовлюють поглиблення кризових явищ за рахунок наслідків агресії РФ у сфері використання земель транспортної інфраструктури регіонів та екологічної безпеки.

Для прийняття обґрунтованих рішень у сфері землекористування транспортної інфраструктури, враховуючи екологічні напрями, запропоновано сформувати кількісну основу, яка базується на застосуванні підходів до оцінки земель, земельних поліпшень, нерухомості у цілому. Потребують подальшого удосконалення напрями використання інструментарію математичного моделювання. Формування сучасної системи управління земельними відносинами визначається необхідністю застосування геоінформаційних систем та подальшого розвитку процесів регулювання оціночної діяльності.

Визначені напрями для забезпечення відбудови транспортної інфраструктури, що враховують наслідки агресивних дій, особливості землекористування та формування екологічної безпеки на регіональному рівні.

Перелік посилань

1. Про національну інфраструктуру геопросторових даних. Закон України. Документ 554-IX. Редакція від 31.12.2023. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text
2. Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних. Постанова Кабінету міністрів України від 26 травня 2021 р. № 532. Документ 532-2021-п. Редакція від 05.12.2024. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-п#Text
3. Уряд затвердив правила роботи Геоінформаційної системи регіонального розвитку. Урядовий портал. URL: https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-zatverdyv-pravyla-roboty-heoinformatsiinoi-systemy-rehionalnoho-rozvytku
4. Російські екологічні злочини. З чим нам доведеться боротися у майбутньому? URL: https://www.savednipro.org/rosijski-ekologichni-zlochini-2022/
5. Нікітченко І. В., Прокопенко Н. Ю. Вплив військових конфліктів на навколишнє середовище та екологію. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції 17-18 квітня 2015 р., м. Сєвєродонецьк, с. 153–156.
6. Забруднення та стрес для тварин: як на стан Чорного моря впливає агресія рф. URL: https://suspilne.media/248393-zabrudnenna-ta-stres-dla-tvarin-ak-na-stan-cornogo-mora-vplivae-agresia-rf/
7. Бомба сповільненої дії: чому світ не може ігнорувати екологічні наслідки війни в Україні. Офіційний сайт Українська правда. 2022. URL: https://life.pravda.com.ua/columns/2022/06/22/249216/
8. Mamonov K., Pilicheva M., Shterndok E., Goi V. The Cartographic Basis of the Stormwater System in Kharkiv. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024», Oct 2024, Volume 2024, p. 1–5. URL: https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2024510043
9. Mamonov K., Holovachov V., Horb O., Palamar A. Integrated Method for Assessing Information Support of Real Estate Cadastre at Regional Level. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024», Oct 2024, Volume 2024, p. 1–5. URL: https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2024510086
10. Війна в Україні залишає довгий слід забруднень, хвороб та зруйнованої промисловості. URL: http://www.climateinfo.org.ua/content/viina-v-ukrajni-zalishae-dovgii-slid-zabrudnen-khvorob-ta-zruinovanoj-promislovosti
11. Війна і довкілля: заповідники в зоні АТО. URL: https://life.pravda.com.ua/society/2015/03/7/190398/
12. Донбас на порозі екологічної катастрофи. URL: http://24tv.ua/donbas_na_porozi_ekologichnoyi_katastrofi_n530959

13. Кравченко О., Василюк О., Войціховська А., Норенко К. Дослідження впливу військових дій на довкілля на Сході України. Філософія. 2015. №2 (134). С. 118–123.
14. Лісова Н. О. Вплив військових дій в Україні на екологічний стан територій. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. 2017. Том 43. № 2. URL: http://nzg.tnpu.edu.ua/article/view/157493
15. Яких екологічних наслідків зазнала Україна за час війни окрім збитків від підриву Каховської ГЕС. URL: https://kse.ua/ua/about-the-school/news/yakih-ekologichnih-naslidkiv-zaznala-ukrayina-za-chas-viyni-okrim-zbitkiv-vid-pidrivu-kahovskoyi-ges/
16. Війна та екологія: чому природа стає жертвою збройного конфлікту? URL: https://iaa.org.ua/articles/vijna-ta-ekologiya-chomu-pryroda-staye-zhertvoyu-zbrojnogo-konfliktu/
17. Єрмолаєва Т. В., Войтюк Д. В., Гроза Д. В. Наслідки впливу військових дій на стан навколишнього природного середовища. Міжнародний науковий журнал «Грааль науки». 2023. № 28. С. 122–129. DOI: https://doi.org/10.36074/grail-of-science.09.06.2023.19
18. Екологічні наслідки війни в Україні: що пишуть світові ЗМІ. Екосвіт. 2023. № 8. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/05/DP-Harkivskyj-zavod-spetsialnyh-mashyn.pdf

DIRECTIONS FOR THE FORMATION OF ECOLOGICAL SUPPORT OF LAND USE TO RESTORE TRANSPORT INFRASTRUCTURE AT THE REGIONAL LEVEL

Goi Vasyl V., PhD (Candidate of Economic Science), Doctoral Candidate at the Department of Economics and Marketing, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine, e-mail: vasssgoi@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-1822-4478

Mamonov Kostiantyn A., Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com, tel. +380992917354, http://orcid.org/0000-0002-0797-2609

Teliura Natalia O., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Research Department O. M. Beketov Nationa lUniversity of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: natalya.telyura@kname.edu.ua, https://orcid.org/0000-0003-0732-7789

Nelin Yevhen O., Postgraduate student of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: zhekanelin@gmail.com, https://orcid.org/0009-0000-8224-3062

Summary. It is established that the formation and implementation of land relations is influenced by the processes of construction of transport infrastructure, which acts as a circulatory vessel of the economy of the state. The formation of transport infrastructure depends on land use. Transformation processes occurring in the field of land relations require rethinking approaches to increasing efficiency of land use of transport infrastructure at the regional level. At the present stage, the state of land relations are characterized by ambiguous trends. In particular, there is a reduction in the level of acreage, the main indicators of the functioning of transport infrastructure are slowed down, the effects of hostilities are influenced, the level of investment attractiveness of land, the development of territories, regional disproportions occur. Increase the problematic aspects of reducing environmental and safety.

As a result of the study, the purpose was to determine the directions of formation of ecological support of land use to restore the transport infrastructure of the regions. Tasks set out to: determine the impact of the effects of aggression on land use at the regional level; Substantiation of ecological directions of land use to restore transport infrastructure.

The factors that determine the deepening of crisis due to the consequences of Russian aggression in the field of land use of transport infrastructure of regions and environmental safety.In order to make sound decisions in the field of land use of transport infrastructure, taking into account environmental directions, it is

proposed to form a quantitative basis, which is based on the application of approaches to land valuation, land improvements, real estate as a whole. The directions of use of mathematical modeling tools need to be further improved. The formation of a modern system of land relations is determined by the need for the use of geoinformation systems and the further development of processes of regulation of evaluation activity.

Defined directions for ensuring the reconstruction of transport infrastructure that take into account the consequences of aggressive actions, peculiarities of land use and formation of environmental safety at the regional level.

Keywords: land use, environmental support, reconstruction of transport infrastructure, geoinformation systems, real estate assessment, real estate market, land valuation, land improvements, regulation of valuation activity.

References

1. About the national infrastructure of geospatial data. Law of Ukraine. Document 554-IX. Editorial board dated 31.12.2023. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#text [in Ukrainian].
2. On approval of the procedure for functioning of the national infrastructure of geospatial data. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of May 26, 2021 № 532. Document 532-2021-p. Editorial from 05.12.2024. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-P#text [in Ukrainian].
3. The government approved the rules of operation of the geoinformation system of regional development. Government portal. https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-zatveryv-pravyla-roboty-heinformatsiinoi-systemy-rehionalnoho-rozvytku [in Ukrainian].
4. Russian environmental crimes. What will we have to fight in the future? https://www.savednipro.org/rosijski-ekologichni-zlochini-2022/ [in Ukrainian].
5. Nikitchenko, I. V., Prokopenko, N. Yu. (2015) The influence of military conflicts on the environment and ecology. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Severodonetsk. Pp. 153–156.
6. Pollution and stress for animals: how the Black Sea is affected by Russian aggression. https://suspilne.media/248393-zabrudnenna-ta-stres-dla-tvarin-ak-na-stan-stan-chornogo-mra-vplivae-agresia-rf/rf/rf/ [in Ukrainian].
7. Slow-acting bomb: Why the world cannot ignore the environmental effects of war in Ukraine. The official site is Ukrainian truth. 2022. https://life.pravda.com.ua/columns/2022/06/22/249216/ [in Ukrainian].
8. Mamonov, K., Pilicheva, M., Shterndok, E., Goi, V. (2024) The Cartographic Basis of the Stormwater System in Kharkiv. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024», Volume 2024, p. 1–5. https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2024510043 [in Ukrainian].
9. Mamonov, K., Holovachov, V., Horb, O., Palamar, A. (2024) Integrated Method for Assessing Information Support of Real Estate Cadastre at Regional Level. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024», Volume 2024, p. 1–5. https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2024510086 [in Ukrainian].
10. The war in Ukraine leaves a long trace of pollution, disease and destroyed industry. http://www.climateinfo.org.ua/content/viina-v-ukrajni-zalishae-dovgii-slid-zabrudnen-khvorob-ta-zruinovanoj-promislovosti [in Ukrainian].
11. War and environment: Reserves in the ATO area. https://life.pravda.com.ua/society/2015/03/7/190398/
12. Donbas on the threshold of ecological disaster. http://24tv.ua/donbas_na_porozi_ekologichnoyi_katastrofi_n530959 [in Ukrainian].
13. Kravchenko, O., Vasilyuk, O., Voytsykhovskaya, A., Norenko, K. (2015) Investigation of the impact of hostilities on the environment in eastern Ukraine. Philosophy. №2 (134). Pp. 118–123.
14. Lisova, N. O. (2017) The influence of hostilities in Ukraine on the ecological status of the territories. Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Volume 43. № 2. http://nzg.tnpu.edu.ua/article/view/157493 [in Ukrainian].

15. What environmental consequences did Ukraine experience during the war, except for losses from Kakhovka hydroelectric power supply. https://kse.ua/ua/about-the-school/news/yakih-ekologichnih-naslidkiv-zaznala-ukrayina-za-chas-viyni-okrim-zbitkiv-vid-pidrivu-kahovskoyi-ges/ [in Ukrainian].

16. War and ecology: Why does nature become a victim of armed conflict? https://iaa.org.ua/articles/vijna-ta-ekologiya-chomu-pryroda-staye-zhertvoyu-zbrojnogo-konfliktu/ [in Ukrainian].

17. Yermolaieva, T. V., Voitiuk, D. V., Hroza, D. V. (2023) The consequences of the influence of hostilities on the state of the environment. Grail Science International Scientific Journal. № 28. Pp. 122–129. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.09.06.2023.19 [in Ukrainian].

18. Environmental consequences of war in Ukraine: what the world media is writing (2023) Ecosvit. № 8. https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/05/DP-Harkivskyj-zavod-spetsialnyh-mashyn.pdf [in Ukrainian].

ДК 528.4:332.3 **DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-124-131**
UDC 528.4:332.3

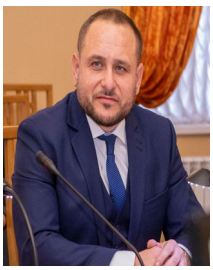
СУЧАСНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ КАРТОГРАФІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

MODERN ASPECTS OF CARTOGRAPHIC SUPPORT DEVELOPMENT



Євдокімов Андрій Анатолійович, *кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: akim050776@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0002-7538-8922



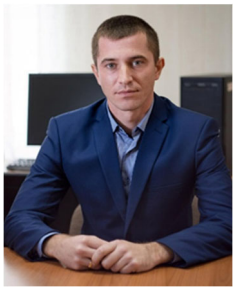
Мамонов Костянтин Анатолійович, *доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com*

http://orcid.org/0000-0002-0797-2609



Афанасьєв Олександр Валерійович, *кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: AfanasyevAV@ kname.edu.ua*

https://orcid.org/0000-0001-7649-7576



Нестеренко Сергій Григорович, *кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформацій-них систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: nesterenkosg34@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0001-5124-9728

Анотація. Визначена актуальність теми дослідження щодо виокремлення сучасних аспектів розвитку картографічного забезпечення.Вирішені завдання: проаналізувати спільні та від'ємні риси паперових та електронних карт; визначені основні переваги та недоліки електронних та паперових карт; охарактеризовані можливості електронної та паперової карт для картографічних досліджень та картографічного забезпечення; визначені умови використання картографічного моделювання та зазначити його складові; сформувані сучасні напрями розвитку картографічного забезпечення засобами ГІС-технологій лоя моделювання об'єктів нерухомості у міському середовищі.

У статті доведено, що незважаючи на розвиток технологій та доступність електронних карт, паперові картки завдяки своїй надійності, візуальній наочності та культурній цінності продовжують залишатися важливим інструментом для вирішення ряду завдань. Зазначено, що недоліки паперових карт протилежні перевагам електронних.

Зазначається ключова роль методу картографічного дослідження для отримання картографічної інформації для її подальшого використання при картографічному моделюванні.

Зазначається необхідність звернення до картографічного моделювання з отриманням цифрових моделей на підставі даних картографічних джерел, цифрових і аналогових картографічних моделей, даних, що отримані при картографічному дослідженні.

Встановлено, що через брак картографічного забезпечення, у тому числі для картографічного моделювання, паперові карти різних періодів друку представляють історичну, культурну, інформаційну цінність в якості універсального картографічного джерела. Сучасні досягнення картографії дозволяють вдосконалювати картографічний метод досліджень, де паперові карти грають ключову роль, а значить сприяють подальшому розвитку наукової складової даного напряму.

З появою сучасних технологій традиції паперової картографії також вдосконалися. Нові технології та можливості автоматизованої картографії не привели до зникнення традиційної, паперової картографії, а дозволили доповнити та вдосконалити її. У цьому конексті заслуговують на увагу геоінформаційні системи і технології.

Сучасні аспекти розвитку картографічного забезпечення характеризуються формуванням якісного нового міського середовища у контексті зростання ефективностю управління нерухомістю шляхом підвищення якості і повноти просторової інформації. Доведена важливість і необхідність застосування геоінформаційних систем і технологій для розвитку картографічного забезпчення, зокрема, у міському середовищі.

Ключові слова: електронні карти, картографічне дослідження, картографічне моделювання, картографічне забезпечення, геоінформаційні системи і технології, моделювання об’єктів нерухомості, міське господарство.

Вступ. Технологічні можливості суспільства постійно розвиваються та вдосконалюються. Представлені процеси надають можливості для користування електронними картами [1], що підвищує ефективність міського господарства, дозволяє створити умови зростання рівня використання об’єктів нерухомості. Такі можливості додатків електронних карт як навігатор, супутниковий перегляд, перегляд вулиць, 3D-формат та інші інструменти перетворили їх на повноцінно геоінформаційну систему (ГІС), які трансформуються інструментарієм ГІС-технологій. Особливої уваги набуває моделювання об’єктів нерухомості як складний процес, що своорюєумови для розробки заходів формування сучасної системи управління нерухомістю засобами ГІС-технологій. Крім того, актуальним питанням є формування еклектронних карт на основі картографічного дослідження та моделювання, створення повної і достовірної інформації для картографічного забезпечення. Таким чином, тема дослідження щодо виокремлення сучасних аспектів розвитку картографічного забезпчення є актуальним і своєчасним завданням.

Огляд існуючих теоретичних розробок. У результаті ретроспективного аналізу визначено, що значний внесок в географічному напрямі зробив В. Н. Каразін; автором багатьох географічних карт початку ХХ ст. був географ та картограф Степан Рудницький, створенням детальних карт України займався картограф Є. Л. Лавренов; географ та картограф І. Є. Корольов займався створенням атласів і карт; М. Г. Калачов займався історією картографії; Б. В. Вєтров є автором чисельних карт та атласів; В. В. Голубцов вдосконалював топографічні карти України.

У сучасних умовах актуальність створення паперових карт значно менша ніж за часів великих відкриттів [2] та більш пізніх часів, на передодні виникнення електронних карт, але використання паперових карт як картографічного забезпечення для ряду потреб, в тому числі, в якості картографічних джерел при створенні електронних карт, викликає необхідність в картографічних дослідженнях.

За останні роки картографічне забезпечення трасформується засобами ГІС-технологій у системи управління, зокрема, міським господарством. На важливість застосування геоінформаційних систем і технологій вказується у розробках [3–7].

Метою дослідження є визначення сучасних аспектів розвитку картографічного забезпечення та картографічних досліджень із застосуванням ГІС-технологій.

Для досягнення мети ставляться наступні завдання:

– проаналізувати спільні та від'ємні риси паперових та електронних карт;

– визначити основні переваги та недоліки електронних та паперових карт;

– охарактеризовані можливості електронної та паперової карт для картографічних досліджень та картографічного забезпечення;

– визначити умови використання картографічного моделювання та зазначити його складові;

– сформувати сучасні напрями розвитку картографічного забезпечення засобами ГІС-технологій лоя моделювання об'єктів нерухомості у міському середовищі.

Виклад основного матеріалу. На перший погляд електронні та паперові карти відрізняються за форматом, умовами використання та можливостями. Одночасно з цим електронні та паперові карти мають багато спільного. У них може бути однакова мета для використання, наприклад, навігація або орієнтування за місцевістю, планування або пошук об'єктів. Електронні і парові карти можуть мати однаковий загальногеографічний зміст. На електронних і паперових картах застосовуються тотожні стандартні позначення, обидві карти можуть відображати той самий контекст. Зміст електронних і паперових карт вимагає постійного оновлення, наприклад зі зміною напрямку руху на проїзній частині або перебудовою інфраструктури міста. Представлені карти дають однакові просторові уявлення про взаємне розташування об'єктів.

Проте, кожна з карт має як свої переваги так і недоліки. До переваг електронних карт слід віднести оновлення інформації карти в режимі реального часу; електронна карта завжди із собою в смартфоні; використання електронних карт дозволяє скоротити споживання паперу; інтерактивність електронної карти робить її використання цікавим та робить її необхідним інструментом повсякдення для багатьох людей.

До недоліків електронної карти слід віднести наявність додаткового технологічного приладу для її візуалізації; залежність роботи електронної карти від підключення до глобальної мережі та від рівня заряду акумуляторної батареї; можливі проблеми з конфіденційністю; наявність технічних збоїв під час використання карти; точність інформації.

На коректну роботу електронної карти впливає технологічний рівень гаджета, що використовує споживач. Для регулярного оновлення операційної системи і самого додатку карт будь який смартфон або комп'ютер повинен бути відносно новим. Сучасні гаджети, в залежності від виробника, в середньому мають підтримку протягів 2 – 4 років [8], що вимагає регулярної покупи нової техніки та утилізації старої. Виробництво комп'ютерної техніки – видобуток рідкоземельних металів для виробництва акумуляторних батарей, виробництво матеріалів для складових гаджетів, зокрема пластику, та подальша утилізація відпрацьованих гаджетів (тут треба звернути увагу на те, що більшість з них не утилізується належним чином, а потрапляє на сміттєзвалище) робить велике антропогенне навантаження на оточуюче середовище, та в перспективі загрожує глобальним екологічним забрудненням планети [9–10].

Незважаючи на очевидну зручність та досконаліть електронних карт, у паперових карт є свої переваги. Серед них можна виокремити такі:

– використовуючи паперові карти можна не турбуватися про наявність підключення до інтернету, або про достатній заряд акумуляторної батареї, що підвищує їх надійність та доступність, наприклад у подорожах;

– за паперовою картою зручніше визначати масштаб, вимірювати довжини та кути;

– на паперовій карти одразу можна побачити набагато більшу за обсягом територію (в електронній карті видимий контекст території залежить від розмірів дисплею гаджету та деталізації), що підвищує її тактильне сприйняття та полегшує орієнтування за картою, візуальне планування;

– використання навчальних паперових карт сприяє кращому розумінню географії та просторового мислення у учнів та здобувачів вищої освіти;

– паперові карти можуть представляти культурну та історичну цінність, документальна значимість таких карт завжди буде залишатися високою;

– паперова карта створюється з використанням певної картографічної проєкції, розпізнавши яку, можна дізнатися про існуючі на карті спотворення.

Паперові карти можуть бути зручнішими для ряду завдань. Незважаючи на розвиток технологій та доступність електронних карт, паперові картки продовжують залишатися важливим інструментом у різних сферах життя завдяки своїй надійності, візуальній наочності та культурній цінності.

Недоліки паперових карт протилежні перевагам електронних. Це і неможливість оновлення інформації карти в режимі реального часу; паперова карта не завжди є під рукою, її розміри викликають незручності у використанні; паперову карту необхідно розгорнути на горизонтальній поверхні, що унеможливлює її використання при ряді умов та обставин; паперові карти, на відміну від електронних, в залежності від їх призначення, можуть використовуватися для вирішення вузького кола завдань переважно фахівцями; для виробництва таких карт потрібен папір лак, фарба та інші небезпечні для організму людини речовини, що викликає питання екології та підвищеної уваги до шкідливих умов праці (при їх виробництві).

В якості картографічного забезпечення для певних потреб можна використовувати як електронні так і паперові карти. Для ефективного їх аналізу та отримання максимально повної та точної інформації з карти можна використовувати метод картографічного дослідження, що представляє собою метод дослідження географічних карт для опису, аналізу та пізнання явищ, для отримання нових знань і характеристик, для вивчення процесів розвитку, встановлення просторових взаємозв'язків та прогнозу явищ [11].

Практика показує, що не завжди в наявності можна знайти необхідні картографічні матеріали, особливо, якщо мова йде про відносно малі за площею території, наприклад тематичні карти адміністративних районів, або територіальних громад. В такому випадку потрібно звертатися до картографічного моделювання з отриманням цифрових моделей на підставі даних картографічних джерел, в тому числі як цифрових так і аналогових картографічних моделей [12]. Перехід до моделювання, а по суті до цифрового картографування щодо створення та оновлення кадастрових карт (планів), належать до основних загально-державнихтопографо-геодезичних і картографічних робіт [13]. Картографічне моделювання спирається на такі складові, як картографічне дослідження, картографічне джерелознавство, та невід'ємно пов'язане із автоматизованим картографуванням. На етапі картографічного моделювання важко виділяти переваги цифрової карти перед паперовою через постійний взаємозв'язок та перетинання процесів, залежності його етапів як від електронних так і від аналогових джерел. Наприклад, при необхідності визначення довжин за електронною картою можна використати перехід від деталізації до масштабу, а при використанні паперової карти, як картографічного джерела для створення моделі електронної, необхідно навпаки переходити від масштабу до деталізації та використовувати певні інструменти генералізації карт.

Сформувані сучасні напрями розвитку картографічного забезпечення засобами ГІС-технологій лоя моделювання об'єктів нерухомості у міському середовищі:

– формування інформаційного базису для створення картографічного забезпечення;

– створення просторового забезпечення для моделювання об'єктів нерухомості у міському середовищі;

– характеристика аналітичного забезпечення для формування кількісної основи моделювання об'єктів нерухомості у міському середовищі;

– аналіз та обробка картографічного забезпечення та трансформація його засобами ГІС-технологій;

– формування кількісної основи розподілу та використання об'єктів нерухомості у міському середовищі;

– проведення ГІС-аналізу розподілу та використання нерухомості міського середовища;

– моделювання об’єктів нерухомості у міському середовищі засобами ГІС-технологій;
– визначення технологічних аспектів трансформації картографічного забезпечення засобами ГІС-технологій.

Висновки. Отже, при виконанні картографічного моделювання використовуються картографічні джерела якими є як електронні карти та їх складові, так і паперові. Необхідну інформацію або її складові, результати картографічних досліджень або їх складові можна отримати як із електронної так із паперової карти з подальшим її перетворенням у необхідний формат за допомогою технічних засобів, розрахункових або будь яких інших методик. Зважаючи на брак картографічного забезпечення, в тому числі для картографічного моделювання, паперові карти різних періодів друку представляють історичну, культурну, інформаційну цінність в якості універсального картографічного джерела.

Сучасні досягнення картографії дозволяють вдосконалювати картографічний метод досліджень, де паперові карти грають ключову роль, а значить сприяють подальшому розвитку наукової складової даного напряму.

Описані в статті переваги паперових карт говорять про їх цінність в якості картографічних джерел або картографічного забезпечення. З появою сучасних технологій традиції паперової картографії значно змінилися в кращій бік. Точність та якість друку, збір картографічної інформації, технології створення паперових карт з використанням сучасних технологій також вдосконалися. Сьогодні з повною впевненістю можна стверджувати той факт, що нові технології та можливості автоматизованої картографії не привели до зникнення традиційної, паперової картографії, а дозволили доповнити та вдосконалити її.

Сучасні аспекти розвитку картографічного забезпечення характеризуються формуванням якісного нового міського середовища у контексті зростання ефективностю управління нерухомістю шляхом підвищення якості і повноти просторової інформації. Доведена важливість і необхідність застосування геоінформаційних систем і технологій для розвитку картографічного забезпчення, зокрема, у міському середовищі.

Перелік посилань

1. Про затвердження Порядку загально-державного топографічного і тематично гокартографування. Постанова КМУ України № 661-2013-п від 14.06.2023 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-2013-%D0%BF#Text
2. Афанасьєв О. В. Дослідження теоретичних аспектів становлення картографії. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 2022. Том 3. Вип. 170. С. 190–194. URL: https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5973/5889
3. Мамонов К. А., Пілічева М. О., Штерндок Е. С., Фролов В. О. Особливості формування геоінформаційних моніторингових систем використання земель територіальних громад на регіональному рівні. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2024. Випуск 115. Частина 2. С. 207–213. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/115.2/207.pdf
4. Мамонов К. А., Паламар А. Ю., Вяткін Р. С., Гой В. В. Просторове забезпечення використання нерухомості регіонів для розробки геоінформаційних моніторингових карт. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2024. Випуск 115. Частина 2. С. 199–206. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/115.2/199.pdf
5. Мамонов К. А., Кондращенко О. В., Метешкін К. О., Нестеренко С. Г. Містобудівне забезпечення розробки геоінформаційних моніторингових карт використання нерухомості регіонів. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2024. Випуск 115. Частина 2. С. 190–198. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/115.2/190.pdf

6. Mamonov K., Viatkin R., Frolov V. Land use monitoring of the regions: geoinformation aspects. Комунальне господарство міст. Серія: Інженерні науки і архітектура. 2023. Том 6. Вип. 180. С. 98–102. DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-6-180-98-102

7. Mamonov K., Liu Chang. A Geographic information system for territorial development of the marine regions of China. Shipbuilding & marine infrastructure. Admiral Makarov National University of Shipbuilding. 2020. № 1 (13). Pp. 69–74.

8. Fedewa Joe. How Long Will My Android Phone Be Supported With Updates? How-To Geek, 19 Jan. 2024. URL: https://www.howtogeek.com/797200/how-long-will-my-android-phone-be-supported-with-updates/

9. European Environmental Bureau (EEB). Electronics demand booms in Europe, NGOs call on European Commission to curtail environmental damage. EEB, 25 Oct. 2023. URL: https://eeb.org/electronics-demand-booms-in-europe-ngos-call-for-eu-action-on-e-waste/

10. European Parliament and Council Directive 2012/19/EU on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Title: Directive 2012/19/EU on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Source: Official Journal of the European Union URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/19/oj/eng

11. Дудун Т. В., Тітлва С. В. Географічні карти та картографічний метод дослідження. Том 2. Картографічний метод дослідження. Київ, 2017. 150 с.

12. Козаченко Т. І., Пархоменко Г. О., Молочко А. М. Картографічне моделювання: Навчальний посібник. Вінниця: ТОВ «Антекс», 1999. 320 с.

13. Про топографо-геодезичну діяльність. Закон України № 353-XIV від 27.07.2013 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text

RELEVANCE OF PAPER CARDS

Yevdokimov Andrey A., Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: akim050776@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-7538-8922

Mamonov Kostiantyn A., Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com, tel. +380992917354, http://orcid.org/0000-0002-0797-2609

Afanasiev Oleksandr V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Land Administration and Geoinformation Systems, Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine, e-mail: AfanasyevAV@ kname.edu.ua, tel. +380662278395, https://orcid.org/0000-0001-7649-7576

Nesterenko Serhii, Candidate of technical sciences, Associate professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: nesterenkosg34@gmail.com, tel.+ 380669291752, https://orcid.org/0000-0001-5124-9728

Summary. The technological capabilities of mankind today have led to the fact that electronic maps have become an integral part of the lives of many people, paper maps, which have their own advantages, have not lost their relevance.

The article substantiates the relevance of the chosen topic and achieves the goal of determining the relevance of using paper maps for cartographic support and cartographic research. The following tasks are solved: the common and negative features of paper and electronic maps are analyzed; the main advantages and disadvantages of electronic and paper maps are analyzed; the possibilities of electronic and paper maps for cartographic research and cartographic support are determined; the conditions for using cartographic modeling are determined and its components are noted; the role and relevance of paper maps in modern cartography are determined.

Paper maps are more convenient for a number of tasks. The article establishes that despite the development of technology and the availability of electronic maps, paper maps, due to their reliability, visual clarity and cultural value, continue to be an important tool for solving a number of tasks. It is noted that the disadvantages of paper maps are opposite to the advantages of electronic ones. In the production of paper maps, paint, varnish and other substances hazardous to the human body are used, which are not present in electronic ones. However, the production of the components of technical means for visualizing electronic maps is also such that it disrupts the ecological balance.

The key role of the cartographic research method for obtaining cartographic information for its further use in cartographic modeling is noted.

The need to resort to cartographic modeling to obtain digital models based on data from cartographic sources, digital and analog cartographic models, and data obtained during cartographic research is noted.

It has been established that due to the lack of cartographic support, including for cartographic modeling, paper maps of different printing periods represent historical, cultural, and informational value as a universal cartographic source. Modern achievements in cartography allow us to improve the cartographic research method, where paper maps play a key role, and therefore contribute to the further development of the scientific component of this direction.

With the advent of modern technologies, the traditions of paper cartography have also improved. New technologies and capabilities of automated cartography have not led to the disappearance of traditional, paper cartography, but have allowed it to be supplemented and improved.

Keywords: electronic maps, paper maps, cartographic research, cartographic modeling, cartographic sources, visualization, detailing.

References

1. On approval of the Procedure for state-wide topographic and thematic cartography. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine. Document №. 661-2013-p dated 14.06.2023. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-2013-%D0%BF#Text [in Ukrainian].

2. Afanasiev, O. V. (2022) Research into the theoretical aspects of the development of cartography. Municipal economy of cities. Series: Technical sciences and architecture. Volume 3. Issue 170. Pp. 190–194. https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5973/5889 [in Ukrainian].

3. Mamonov, K. A., Pilicheva, M. O., Sterndok, E. S., Frolov, V. O. (2024) Features of formation of geoinformation monitoring systems of land use of territorial communities at the regional level. Automobile roads and road construction. Issue 115. Part 2. pP. 207–213. http://publications.ntu.edu.ua/vtodorogoi_i_stroitelstvo/115.2/207.pdf [in Ukrainian].

4. Mamonov, K. A., Palamar, A. Yu., Viatkin, R. S., Goi, V. V. (2024) Spatial provision of use of real estate of regions for the development of geoinformation monitoring maps. Automobile roads and road construction. Issue 115. Part 2. Pp. 199-206. http://publications.ntu.edu.ua/vtodorogoi_i_stroitelstvo/115.2/199.pdf [in Ukrainian].

5. Mamonov, K. A., Kondrashchenko, O. V., Meteshkin, K. O., Nesterenko, S. G. (2024) Urban planning support for the development of geoinformation monitoring maps for the use of real estate of regions. Automobile roads and road construction. Issue 115. Part 2. Pp. 190–198. http://publications.ntu.edu.ua/vtodorogoi_i_stroitelstvo/115.2/190.pdf [in Ukrainian].

6. Mamonov, K., Viatkin, R., Frolov, V. (2023) Land use monitoring of the regions: geoinformation aspects. Municipal economy of cities. Series: Technical sciences and architecture. Volume 6. Issue 180. Pp. 98–102. https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-6-180-98-102 [in Ukrainian].

7. Mamonov, K., Liu, Chang (2020) A Geographic information system for territorial development of the marine regions of China. Shipbuilding & marine infrastructure. Admiral Makarov National University of Shipbuilding. № 1 (13). Pp. 69–74.

8. Fedewa, Joe (2024) How Long Will My Android Phone Be Supported With Updates? How-To Geek. https://www.howtogeek.com/797200/how-long-will-my-android-phone-be-supported-with-updates/

9. European Environmental Bureau (EEB). «Electronics demand booms in Europe, NGOs call on European Commission to curtail environmental damage» EEB, 25 Oct. 2023. https://eeb.org/electronics-demand-booms-in-europe-ngos-call-for-eu-action-on-e-waste/

10. European Parliament and Council Directive 2012/19/EU on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Title: Directive 2012/19/EU on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Source: Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/19/oj/eng

11. Dudun, T. V., Titova, S. V. (2017) Geographical maps and cartographic research method. Volume 2. Cartographic research method. Kyiv, 150 p.

12. Kozachenko, T. I., Parkhomenko, G. O., Molochko, A. M. (1999) Cartographic modeling. Vinnytsia: LLC «Anteks», 320 p.

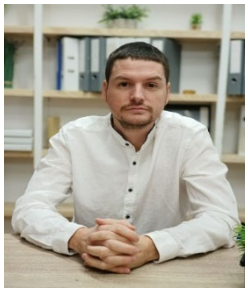
13. On topographic and geodetic activities. Law of Ukraine Document № 353-XIV від 27.07.2013 p. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text [in Ukrainian].

УДК 528.4:332.3 **DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-132-138**

UDC 528.4:332.3

УДОСКОНАЛЕННЯ МОНІТОРИНГОВИХ ПРОЦЕСІВ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОДЕЗИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

IMPROVEMENT OF MONITORING PROCESSES OF CONSTRUCTION OBJECTS USING GEODETIC INFORMATION SYSTEMS



Касьянов Володимир Володимирович, *кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kasyanow.vladimir@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0003-3506-5982



Мамонов Костянтин Анатолійович, *доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com*

http://orcid.org/0000-0002-0797-2609



Радзінська Юлія Борисівна, *кандидат технічних наук, Доцент кафедри Земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: radzinskayayb@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0002-1661-7975



Желтобрюх Андрій Олександрович, *магістр спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій», Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: takneprikolno@gmail.com*

https://orcid.org/0009-0004-7087-1394

Анотація. Визначена актуальність дослідження. Моніторинг характерзується системою формування повної, достовірної інформації про технічний стан об'єктів будівництва, який обумовлений просторовими, містобудівними, екологічними параметрами, для реалізації моніторингових процедур застосовуються сучасні геодезичні, геоінформаційні та інші системи.

Досягнута мета дослідження щодо характеристики моніторингових процесів об'єктів будівництва з використання геодезичних інформаційних систем. Для досягнення поставленої мети вирішені завдання: обгрунтування геодезичної інформаційної системи; інструментарій здійснення геодезичної інформаційної системи.

Використання геодезичних інформаційних систем у будівництві дозволяє забезпечити точність виконання робіт, підвищити ефективність управління проектами та зменшити ризики. Інтеграція із сучасними технологіями (такими як BIM і GNSS) відкриває нові можливості для координації учасників проекту, моніторингу виконання завдань і оптимізації ресурсів.

Характеризуючи практичні аспекти геодезичнох інформаційної системи визначено, що геодезичний моніторинг об'єкта будівництва виконаний із використанням сучасного обладнання, такого як електронний тахеометр South NTS 352 RL, забезпечив отримання високоточного аналізу стану конструктивних елементів будівлі. Завдяки впровадженню BIM-технологій результати геодезичних вимірювань інтегровані у цифрову систему, що дозволило створити тривимірну модель об'єкта, провести детальний аналіз змін геометрії конструкцій та оцінити ступінь їх пошкоджень.

Використання BIM-технологій дозволило ефективно інтегрувати всі геодезичні дані і перетворити їх у віртуальну модель будівлі, що дало змогу створити точне і детальне відображення об'єкта, яке включало кілька важливих елементів: положення ригелів на рівнях поверхів, що дозволило чітко візуалізувати їх стан і виявлені відхилення; деталі пошкоджених конструкцій, включаючи деформації, які стали результатом вибуху; геометрія фасадних стін, що була побудована з урахуванням вертикальних відхилень і деформацій, що виникли в результаті руйнувань. Цей процес, завдяки інтеграції різних даних у єдину віртуальну модель, дозволяє зробити модель максимально реалістичною і точною. Такий підхід є надзвичайно важливим для подальшого оцінювання потенційних загроз або визначення масштабів необхідних ремонтних робіт. Віртуальна модель дозволяє не тільки візуалізувати будівлю, але й здійснювати прогнози щодо її подальшого відновлення та оптимізації проекту.

Ключові слова: моніторинг, об'єкти будівництва, геодезичні інформаційні системи, геодезичний моніторинг, використання земель.

Вступ. Будівництво виступає індикатором розвитку економіки держави і є важливою сферою у контексті функціонування інших галузей та життєдіяльності населення. За останні роки спостерігаються неоднозначні процеси у будівельній сфері, де хвилеподібними тенденціями визначаються: індекс будівельної продукції, загальна площа житлових і нежитлових будівель. Найбільш постраждав від ведення військових дій житловий сектор. Тому виникає необхідність застосування сучасного інструментарію відбудови об'єктів земельно-майнового комплексу, забезпечення ефективності використання земель.

У цьому контексті заслуговує на увагу розробка та реалізація моніторингу об'єктів будівництва з використанням геодезичних інформаційних систем. Проблемним питанням залишається розробка геодезичних інформаційних систем, підготовка фахівців для їх застосування. Крім того, поглиблюють представлені процеси необхідність удосконалення моніторингових процесів об'єктів нерухомості. Отже, тема дослідження є актуальною і має своєчасний характер.

Огляд існуючих теоретичних розробок. В ісючих наукових дослідженнях обгрунтовані теоретичні положення до визначення моніторингу, інструментарій якого застосовується для об'єктів нерухомості. Зокрема, на методах моніторингу будівель і спорудо зосереджується увага у [1–3].

Визначено інструментарій автоматизації систем моніторингу:

- датчики деформації;
- датчики тиску;
- щілиноміри;
- акселерометри;
- інклінометри;
- тахеометри [4–5].

Моніторинг технічного стану будівель і споруд проводиться з метою:

– контролю та оцінення впливу природних, техногенних, антропогенних та інших факторів на технічний стан об'єкта, прилеглої забудови та навколишнього середовища;

– виявлення в об'єктах негативних змін напружено-деформованого стану;

– забезпечення безпечного функціонування об'єктів за рахунок своєчасного виявлення на ранній стадії негативних змін напружено-деформованого стану конструкцій та грунтів основ;

– відстеження міри і швидкості зміни технічного стану об'єкта для здійснення у разі потреби екстрених заходів із запобігання його обваленню [4, 6].

Для проведення моніторингу будівель і споруд застосовується нормативі документи: ДБН А.2.2-3-2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво», ДБН В.2.2-15-2019 «Житлові будинки. Основні положення», ДБН В.3.1-2-2016 «Ремонт і підсилення несучих і огороджувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд», ДСТУ Б В.2.6-210:2016 «Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються».

Запропоновані основі елементи моніторингу об'єктів будівництва:

– програма моніторингу, в якій встановлюються: необхідні контрольовані параметри; види фізичних вимірювань, кількість і місця проведення; періодичність виконання оцінення технічного стану будівлі чи споруди;

– інформаційна система забезпечує збір, систематизацію, обробку, зберігання, доступ, відображення і розповсюдження даних про стан будівельних конструкцій будівель і споруд в різні періоди будівництва та експлуатації;

– система обстежень технічного стану, спостережень і діагностики параметрів будівельних конструкцій [4].

Визначено, що моніторинг – це система, задачею якої є збирання достовірної і оперативної інформації про стан експлуатаційної спрацьованості елементів будівель і споруд та інженерних систем, аналіз інформації з метою оцінювання впливу факторів на стан експлуатаційної спрацьованості елементів, прогнозування термінів відновлення, оцінка ефективності експлуатації [4].

Отже, моніторинг характерзується системою формування повної, достовірної інформації про технічний стан об'єктів будівництва, який обумовлений просторовими, містобудівними, екологічними параметрами, для реалізації моніторингових процедур застосовуються сучасні геодезичні, геоінформаційні та інші системи.

Метою дослідження є характеристика моніторингових процесів об'єктів будівництва з використання геодезичних інформаційних систем. Для досягнення поставленої мети вирішуються завдання:

– обгрунтування геодезичної інформаційної системи;

– інструментарій здійснення геодезичної інформаційної системи.

Виклад основного матеріалу. Геодезична інформаційна система характеризується як комплексний інструмент, що включає апаратне, програмне забезпечення та алгоритми для збору, зберігання, аналізу, обробки та візуалізації геопросторових даних. Основна роль геодезичної інформаційної системи у будівництві полягає у тому, що вона дозволяє поєднати модельне зображення території (електронне відображення карт, схем, супутникових та аерозображень земної поверхні) з інформацією табличного типу (різноманітні статистичні дані, списки, тощо). Геодезична інформаційна система допомагає в оптимізації процесів управління проектами, підвищенні точності робіт та забезпеченні постійного моніторингу виконання будівельних робіт. У сучасних умовах зростання масштабів будівництва та ускладнення інженерних задач вимагає інноваційних підходів, зокрема інтеграції геодезичних систем у кожний етап реалізації будівельного процесу. Геодезичні інформаційні системи впливають на формування та реалізацію геодезичного моніторингу об'єктів будівництва. Виділяють наступні системи:

– моніторингові;

– проектні;

– будівельно-виробничі;

Моніторингові системи служать для безперервного спостереження за станом будівельних конструкцій як під час активного етапу будівництва, так і після завершення проекту, коли об'єкт здано в експлуатацію. Моніторинг здійснюється за допомогою сучасних високоточних приладів, зокрема лазерних сканерів, датчиків деформації, тахеометрів і супутникових технологій GNSS, які дозволяють фіксувати найменші зміни та зміщення у реальному часі [7].

Проектні геодезичні інформаційні системи займають важливе місце на етапі підготовки та проектування будівельних робіт. Вони забезпечують інтеграцію просторових і геологічних даних, що допомагає приймати обґрунтовані рішення стосовно вибору ділянок для будівництва, планування інфраструктури та використання відповідних будівельних технологій.

Будівельно-виробничі геодезичні інформаційні системи є безпосередньо пов'язаними з організацією та контролем процесів під час будівництва. Їх основна функція полягає в координації дій всіх учасників проекту, контролі термінів виконання робіт та оптимізації використання ресурсів. За допомогою таких систем будівельні компанії можуть інтегрувати проектну документацію з фактичними даними, відстежувати прогрес на кожному етапі будівництва та забезпечувати доступ до актуальної інформації у режимі реального часу.

Геодезична інформаційна система надає можливість інтегрувати екологічний моніторинг у процес будівництва, відстежуючи вплив робіт на повітря, ґрунт і воду. Наприклад, система може аналізувати рівень викидів транспортних засобів, що використовуються на об'єкті, або відстежувати стан водних ресурсів поблизу майданчика [8].

Застосування програмних платформ, призначених для обробки геодезичних даних, є ключовим елементом системи управління будівельними процесами. Платформа ArcGIS є однією з найважливіших у цій сфері завдяки розширеному набору інструментів для управління геоданими та створення інтегрованих картографічних моделей. Ця високопродуктивна геоінформаційна платформа дозволяє виконувати аналіз рельєфу, створювати тривимірні моделі території та будівельних об'єктів, а також проводити прогнозування впливу природних і техногенних факторів на проектовані споруди. Такий комплексний підхід дозволяє приймати обґрунтовані рішення на основі точних даних, що значно знижує будівельні ризики та підвищує рівень безпеки на об'єкті. ArcGIS забезпечує єдину інформаційну базу для всіх підрозділів підприємства, що дозволяє уникнути дублювання даних і сприяє ефективній координації між фахівцями [9].

Іншим важливим інструментом є AutoCAD Civil 3D, платформа для проектування та автоматизації інженерних робіт, яка поєднує геодезичні дані з будівельними проектами. Ця платформа дозволяє працювати з такими елементами, як поверхні, горизонтальні й вертикальні профілі, траси та інші інфраструктурні об'єкти, створюючи цифрові моделі об'єктів із високою точністю. Civil 3D забезпечує легку інтеграцію з геопросторовою інформацією, що значно підвищує ефективність проектування та знижує ризики, пов'язані з неточностями у побудові об'єктів. Таким чином, інженери можуть створювати точні цифрові моделі об'єктів, що слугують основою для подальшого аналізу та оптимізації процесів.

Застосовується спеціалізоване програмне забезпечення Leica Infinity, призначене для управління геодезичними даними. Leica Infinity дозволяє імпортувати й обробляти дані з різних геодезичних пристроїв компанії Leica, таких як GPS-приймачі, тахеометри та лазерні сканери. Платформа об'єднує дані з різних джерел у єдину інформаційну базу, що полегшує управління великими обсягами інформації та знижує ризик втрати важливих даних. Leica Infinity забезпечує високу точність вимірювань і можливість експорту даних у формати, сумісні з іншими програмами, що є важливим для інтеграції всієї системи підприємства.

Тахеометри є іншими важливими інструментами, що забезпечують точне розташування об'єктів завдяки вимірюванню відстаней, горизонтальних і вертикальних кутів. Тахеометри використовуються для дослідження складних і важкодоступних ділянок, включаючи лісові або густонаселені території. Перевагою тахеометрів є їхня інтеграція з програмним забезпеченням, що дозволяє передавати зібрані дані безпосередньо в геодезичну інформаційну систему. Це значно

скорочує час на обробку інформації й знижує ризик помилок, які можуть виникати при ручному введенні даних [10].

Висновки. Таким чином, використання геодезичних інформаційних систем у будівництві дозволяє забезпечити точність виконання робіт, підвищити ефективність управління проектами та зменшити ризики. Інтеграція із сучасними технологіями (такими як BIM і GNSS) відкриває нові можливості для координації учасників проекту, моніторингу виконання завдань і оптимізації ресурсів.

Характеризуючи практичні аспекти геодезичнох інформаційної системи визначено, що геодезичний моніторинг об'єкта будівництва виконаний із використанням сучасного обладнання, такого як електронний тахеометр South NTS 352 RL, забезпечив отримання високоточного аналізу стану конструктивних елементів будівлі. Завдяки впровадженню BIM-технологій результати геодезичних вимірювань інтегровані у цифрову систему, що дозволило створити тривимірну модель об'єкта, провести детальний аналіз змін геометрії конструкцій та оцінити ступінь їх пошкоджень.

Використання BIM-технологій дозволило ефективно інтегрувати всі геодезичні дані і перетворити їх у віртуальну модель будівлі, що дало змогу створити точне і детальне відображення об'єкта, яке включало кілька важливих елементів: положення ригелів на рівнях поверхів, що дозволило чітко візуалізувати їх стан і виявлені відхилення; деталі пошкоджених конструкцій, включаючи деформації, які стали результатом вибуху; геометрія фасадних стін, що була побудована з урахуванням вертикальних відхилень і деформацій, що виникли в результаті руйнувань. Цей процес, завдяки інтеграції різних даних у єдину віртуальну модель, дозволяє зробити модель максимально реалістичною і точною. Такий підхід є надзвичайно важливим для подальшого оцінювання потенційних загроз або визначення масштабів необхідних ремонтних робіт. Віртуальна модель дозволяє не тільки візуалізувати будівлю, але й здійснювати прогнози щодо її подальшого відновлення та оптимізації проекту.

Перелік посилань

1. Лучко І. Й., Коваль П. М., Дем'ян М. Л. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів і конструкцій. Львів: Каменяр, 2001. 425 с.
2. Попруга Д. В., Валовой О. І. Проблеми моніторингу технічного стану будівель і споруд. Вісник Криворізького національного університету. 2013. Вип 34. С. 186−190.
3. Трикоз Л. В., Юрченко Р. В. Систематизація дефектів залізобетонних мостів залізниць України за результатами їх обстеження. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2021. Вип. 197. С. 18−28.
4. Шатов С. В., Богаченко С. В. Аналіз методів моніторингу технічного стану будівельних конструкцій та законодавчих і нормативних документів. Український журнал будівництва та архітектури, № 6 (018), 2023. С. 136–142. URL: http://uajcea.pgasa.dp.ua/article/view/299126/291588
5. McRae J. B., Simmonds T. Long-term stability of vibrating wire instruments. One manufacturer's perspective. Proceedings of the 3th International Symposium on Field Measurements in Geomechanics. FMGM. Oslo, Norway, 1991. С. 283–293.
6. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ: ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», 2017. 44 с.
7. Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D. Geographic information science and systems. Wiley, 2015.
8. Дячун В. П., Шишкін С. В. Геоінформаційні системи та їх застосування у моніторингу навколишнього середовища. Вісник Харківського національного університету будівництва та архітектури. 2017. Т. 2. № 5.
9. Єрмаков О. В. Роль геоінформаційних систем у підвищенні ефективності управління будівництвом. Технології майбутнього. 2018.
10. Гончаренко В. М., Сидоренко Л. А. Роль високоточних gps-приймачів і тахеометрів у створенні геопросторових моделей. Сучасні технології в геодезії та картографії. 2018.

IMPROVEMENT OF MONITORING PROCESSES OF CONSTRUCTION OBJECTS USING GEODETIC INFORMATION SYSTEMS

Kasyanov Vladimir, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kasyanow.vladimir@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-3506-5982

Mamonov Kostiantyn, Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com, tel. +380992917354, http://orcid.org/0000-0002-0797-2609

Radzinska Yuliia, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: radzinskayayb@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1661-7975

Zheltobriukh Andrii, Master of Specialty 193 «Geodesy and Land Management», O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: takneprikolno@gmail.com, https://orcid.org/0009-0004-7087-1394

Summary. The relevance of the study is determined. Monitoring is characterized by a system of formation of complete, reliable information about the technical condition of construction objects, which is due to spatial, urban planning, environmental parameters, modern geodetic, geoinformation and other systems are used to implement monitoring procedures.

The purpose of the study has been achieved to characterize the monitoring processes of construction objects for the use of geodetic information systems. To achieve this goal, the task is solved: justification of the geodetic information system; tools for implementing a geodetic information system.

The use of geodetic information systems in construction allows to ensure the accuracy of work, increase the efficiency of project management and reduce risks. Integration with modern technologies (such as BIM and GNSS) opens up new opportunities to coordinate project participants, monitor tasks and optimize resources.

Characterizing the practical aspects of the geodetic information system, it is determined that geodetic monitoring of the construction object was made using modern equipment, such as an electronic tacheometer South NTS 352 RL, provided a high -precision analysis of the state of structural elements of the building. Due to the introduction of BIM technologies, the results of geodetic measurements are integrated into a digital system, which allowed to create a three-dimensional model of the object, to carry out a detailed analysis of changes in the geometry of structures and to evaluate the degree of damage. The use of BIM technologies has allowed to effectively integrate all geodetic data and turn them into a virtual model of the building, which made it possible to create an accurate and detailed display of the object, which included several important elements: the position of rogels at the levels of floors, which allowed them to clearly visualize their condition and detected deviation; details of damaged structures, including deformations that were the result of the explosion; The geometry of the facade walls, which was built taking into account the vertical abnormalities and deformities that arose from the destruction. This process, through the integration of different data into a single virtual model, makes the model as realistic and accurate as possible. This approach is extremely important for further assessment of potential threats or determining the extent of the necessary repair work. The virtual model not only visualizes the building, but also forecasts for its further restoration and optimization of the project.

Keywords: monitoring, construction objects, geodetic information systems, geodetic monitoring, land use.

References

1. Luchko, I. I., Koval, P. M., Demian, M. L. (2001) Methods of research and testing of building materials and structures. Lviv: Kamenar, 425 p.
2. Poproug, D. V., Valovoy, O. I. (2013) Problems of monitoring the technical condition of buildings and structures. Bulletin of Kryvyi Rih National University. Issue 34. Pp. 186–190.
3. Trikoz, L. V., Yurchenko, R. V. (2021) Systematization of defects of reinforced concrete bridges of Ukraine on the results of their survey. Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport. Issue 197. Pp. 18–28.
4. Shatov, S. V., Bogachenko, S. V. (2023) Analysis of methods of monitoring the technical condition of building structures and legislative and regulatory documents. Ukrainian Journal of Construction and Architecture. № 6 (018). Pp. 136–142. http://uajcea.pgasa.dp.ua/article/view/299126/291588 [in Ukrainian].
5. Mcrae, J. B., Simmonds, T. (1991) Long-Term Stability of Vibrating Wire Instruments. One Manufactura's Perspective. Proceedings of the 3th International Symposium on Field MeASUREMENTS IN GEOMECHANICS. FMGM. Oslo, Norway. Pp. 283–293.
6. DSTU-N B B.1.2-18: 2016. Guidelines for inspection of buildings and structures to determine and evaluate their technical condition. Kyiv: SE «Research Institute of Construction Production», 2017. 44 p.
7. Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., Rhind, D. (2015) Geographic Information Science and Systems. Wiley.
8. Dyachun, V. P., Shishkin, S. V. (2017) Geoinformation systems and their application in environmental monitoring. Bulletin of Kharkiv National University of Construction and Architecture. Vol. 2. № 5.
9. Yermakov, O. V. (2018) The role of geoinformation systems in improving the efficiency of construction management. Technologies of the future.
10. Goncharenko, V. M., Sidorenko, L. A. (2018) The role of high-precision GPS-receivers and tachometers in the creation of geospatial models. Modern technologies in geodesy and cartography.

УДК 528.4:332.3
UDC 528.4:332.3

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-139-145

ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТЕРИТОРІЙ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ

GEODETIC MONITORING OF TERRITORIES IN THE LAND RESOURCES MANAGEMENT SYSTEM



Мамонов Костянтин Анатолійович, *доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com*

http://orcid.org/0000-0002-0797-2609



Касьянов Володимир Володимирович, *кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kasyanow.vladimir@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0003-3506-5982



Радзінська Юлія Борисівна, *кандидат технічних наук, Доцент кафедри Земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: radzinskayayb@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0002-1661-7975



Фролов Вячеслав Олександрович, *кандидат технічних наук, асистент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: frolgis@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0001-8045-3963

Анотація. Встановлено, що забезпечення ефективності використання земельних ресурсів здійснюється шляхом формування та здійснення відповідних управлінських заходів. Управління земельними ресурсами є складним процесом, де взаємодіють елементи. У міжнародному досвіді використовується система управління земельними ресурсами, яка спрямована на комплексне на їх

формування, оцінку, використання та розвитку. Поряд з цим, на у практиці здійснення вітчизняних земельних відносин на недостатньому рівні реалізується системний підхід до управління земельними ресурсами. Зокрема, визначаються та застосовуються окремо представлені функції.

У результаті дослідження досягнута мета щодо визначення напрямів та особливостей формування й використання геодезичного моніторингу у системі управління земельними ресурсами. Досягнення поставленої мети здійснюється на основі завдань: визначення геодезичного моніторингу земель; характеристика напрямів формування та використання геодезичного моніторингу; характеристика сучасної системи управління земельними ресурсами.

Геодезичний моніторинг територій визначається як система спостережень, за станом земельно-майнового комплексу з метою своєчасного виявлення змін, їхньої оцінки, відвернення та ліквідації наслідків негативних процесів шляхом збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу геодезичної інформації для формування просторового забезпечення прийняття рішень щодо запобігання негативним змінам у системі територіального розвитку.

У результаті дослідження визначені напрями формування та використання геодезичного моніторингу територій для забезпечення управління земельними ресурсами. Геодезичний моніторинг характеризується як системний процес, що складається із сукупності взаємпов'язаних дій, які включають інструментальні й функціональні напрями, що дозволяє перманентно отримувати та формування геопросторове забезпечення територій для управління земельними ресурсами.

Ключові слова: геодезичний моніторинг територій, управління земельними ресурсами, функції управління, формування, оцінка, використання, розвиток, системний підхід, моніторинг, геоінформаційне забезпечення.

Вступ. Забезпечення ефективності використання земельних ресурсів здійснюється шляхом формування та здійснення відповідних управлінських заходів. Управління земельними ресурсами є складним процесом, де взаємодіють елементи. У міжнародному досвіді використовується система управління земельними ресурсами, яка спрямована на комплексне на їх формування, оцінку, використання та розвитку. Поряд з цим, на у практиці здійснення вітчизняних земельних відносин на недостатньому рівні реалізується системний підхід до управління земельними ресурсами. Зокрема, визначаються та застосовуються окремо представлені функції.

Розглядаючи питання управління земельними ресурсами, сформовано нормативно-правове забезпечення: Конституція України, Земельний кодекс України, Закони України «Про землеустрій», «Про охорону земель», «Про державний контроль за використанням та охороною земель», «Про оцінку земель».

Поряд з цим, актуальним питанням є удосконалення нормативно-правового забезпечення, яке спрямовано на формування сучасної системи управління земельними ресурсами, яке комплексно враховуватиме їх формування, оцінку, розміщення та розвиток.

Для забезпечення ефективності управління земельними ресурсами важливого значення набуває підвищення повноти та достовірності просторового забезпечення, застосування інструментарію геодезичного моніторингу.

Таким чином, тема дослідження є актуальною і своєчасною, оскільки надає можливості для зростання ефективності використання земельних ресурсів.

Огляд існуючих теоретичних розробок. Характеризуючи напрями та особливості здійснення геодезичного моніторингу земель, визначені його теоретико-методичні засади. Зокрема, виокремлені інструментальні та функціональні напрями реалізації геодезичного моніторингу земель [1–5].

Розділяючи положення системного підходу, моніторинг використання земель розглядається як система спостережень за станом та використанням земель, враховуючи особливості їх використання, нормативно-правове та технічне забезпечення, паспортизацію земельних ділянок, знімання, обстеження і дослідження, виявлення та оцінювання в ньому змін, екологічний вплив, що формує кількісну основу для прийняття обґрунтованих рішень [6].

Для реалізації геодезичного моніторингу особлива увага фокусується на його інформаційному забезпеченні [7–10].

Визначені базові характеристики, що формують інформаційне забезпечення моніторингової системи, які створюються Держгеокадастром:

1. Склад земель (за цільовим призначенням, угіддями та формою власності).

2. Кількість землевласників та землекористувачів: фізичних осіб; юридичних осіб, у тому числі державних та комунальних підприємств.

3. Середній розмір зареєстрованих земельних ділянок (за формою власності та цільовим призначенням), гектарів, усього у тому числі: приватної власності; державної власності; комунальної власності; колективної власності.

4. Кількість об'єднаних територіальних громад та населених пунктів [10].

На важливість нормативно-правового забезпечення щодо моніторингу земель вказують [11–13].

Поряд з цим визначаються організаційні аспекти формування та реалізації моніторингових процедур щодо використання земель. На них акцентують увагу [14–16].

Таким чином, геодезичний моніторинг територій визначається як система спостережень, за станом земельно-майнового комплексу з метою своєчасного виявлення змін, їхньої оцінки, відвернення та ліквідації наслідків негативних процесів шляхом збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу геодезичної інформації для формування просторового забезпечення прийняття рішень щодо запобігання негативним змінам у системі територіального розвитку.

Метою дослідження є визначення напрямів та особливостей формування й використання геодезичного моніторингу у системі управління земельними ресурсами. Досягнення поставленої мети здійснюється на основі завдань:

– визначення геодезичного моніторингу земель;
– характеристика напрямів формування та використання геодезичного моніторингу;
– характеристика сучасної системи управління земельними ресурсами.

Виклад основного матеріалу. Розділяючи положення системного підходу, перманентний геодезичний моніторинг територій формує систему, що забезпечує повноту та релевантність формування просторової інформації для управління земельними ресурсами.

Для здійснення моніторингових процедур застосовується сучасний інструментарій на якому наголошується у [17–20].

Розроблені напрями здійснення геодезичного моніторингу територій у системі управління земельними ресурсами:

– визначення та характеристика факторів, що впливають на використання земельних ресурсів;
– формування інформаційного забезпечення про територію за яким здійснюється геодезичний моніторинг;
– визначення інструментарію для проведення геодезичних вимірювань;
– проведення геодезичних вимірювань досліджених територій;
– формування просторової інформації для визначених територій;
– здійснення моніторингових процедур територій;
– перманентне дослідження територіальних змін із застосуванням геодезичного інструментарію;
– прийняття рішень щодо використання земельних ресурсів та забезпечення територіального розвитку;
– управління земельними ресурсами за отриманими результатами геодезичного моніторингу територій.

Для формування сучасної системи управління земельними ресурсами запропоновано комплексно враховувати функції земельного адміністрування: формування, оцінки, використання й розвитку земель. Крім того, розроблено та застосовується організаційно-просторовий механізм, який

характеризується як система, що включає сукупність взаємопов'язаних елементів та базується на інформаційно-аналітичному та просторовому забезпеченні геодезичного моніторингу використання земель й застосуванні розробленого методу інтегральної оцінки.

У цьому контексті особливого значення має виокремлення чинників просторового забезпечення та побудова багаторівневої системи показників, що застосовуються для інтегральної оцінки. Важливим елементом організаційно-просторового механізму є інтегральний показник, який формує кількісну основу для прийняття рішень. Зокрема, якщо цей узагальнюючий критерій менше 6, то реалізуються напрями відносно удосконалення інформаційно-аналітичного й просторового забезпечення геодезичного моніторингу використання.

Для забезпечення управління земельними ресурсами, застосовуючи результати геодезичного моніторингу, розроблений й використовується сучасний геоінформаційний інструментарій.

Висновки. Таким чином, у результаті дослідження визначені напрями формування та використання геодезичного моніторингу територій для забезпечення управління земельними ресурсами. Геодезичний моніторинг характеризується як системний процес, що складається із сукупності взаємпов'язаних дій, які включають інструментальні й функціональні напрями, що дозволяє перманентно отримувати та формування геопросторове забезпечення територій для управління земельними ресурсами.

Перелік посилань

1. Зацерковний В. І. Геоінформаційні системи і системи дистанційного зондування землі в задачах ефективного землекористування. Математичне моделювання в економіці. 2014. Вип. 1. С. 40– 48.

2. Зацерковний В. І., Кривоберець С. В. Аналіз можливості підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва при застосуванні ГІТ у задачах управління. Вісник ЧДТУ. Серія «Технічні науки». 2013. № 3(67). С. 174–183.

3. Лященко А., Горковчук М. Функціональна модель автоматизованої системи контролю та оцінювання якості геопросторових даних. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2014. Вип. I (27). С. 103−108.

4. Шелковська І. М., Пазульська Ю. М. Сутність та геоінформаційні моделі правового моніторингу земель прибережних територій. Містобудування та територіальне планування. 2008. Вип. 39. С. 440−444.

5. Wolski B. Monitoring of river embankments deformations in flood wave proragation conditions. Reports on Geodesy. 2005. № 3 (74). PP. 254−260.

6. Перович Л., Винарчук Л. Кадастровий моніторинг земель. Геодезія, картографія та аерофотознімання. 2009. № 73. С. 97–101.

7. Дорош О. С. Інвентаризація земель: методичні підходи до її проведення. Агросвіт. 2015. № 11. С. 24–30.

8. Маланчук М., Панас Р. Сучасні проблеми здійснення моніторингу грунтового покриву в Україні. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2013. Вип. 78. С. 201–204.

9. Пілічева М. О., Когдращенко О. В., Штерндок Е. С. Сучасні методи моніторингу використання земель міського середовища. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 2023. № 178. Том 4. С. 125–129. DOI: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-125-129

10. Про реалізацію пілотного проекту щодо проведення моніторингу земельних відносин та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України. Постанова Кабінету міністрів України від 23 серпня 2017 р. № 639. URL: https://www.kmu.gov.ua/npas/250225706

11. Андрійко О. Ф. Державний контроль в Україні: організаційно-правові засади. Київ: Наукова думка, 2004. 302 с.

12. Мірошниченко А. М., Марусенко Р. І. Науково-практичний коментар до Земельного кодексу України. Київ: Алерта, 2011. 516 с.

13. Мозальова М. В. Правові засади моніторингу ґрунтів : дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.06. Харків, 2011. 197 с.

14. Головкін О. В. Інспектування як форма державного контролю у галузі охорони довкілля в Україні. Часопис Київського університету права. 2011. № 3. С. 233–236.

15. Городецька І. А. Адміністративно-юрисдикційна діяльність державного інспектора з контролю за використанням та охороною земель: автореф. дис. … канд. юрид. наук. Київ, 2010. 19 с.

16. Курило В. І., Світличний О. П. До питання діяльності органів публічної влади у сфері контролю за використанням та охороною земельних ресурсів. Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. 2013. № 1–2. С. 47–52.

17. Мамонов К. А., Штерндок Е. С., Нестеренко С. Г., Радзінська Ю. Б., Касьянов В. В. Формування сучасної системи геодезичного забезпечення використання земель із застосуванням БПЛА та фотограмметричних методів. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2024. Випуск 116. Частина 1. С. 148–160. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/116.1/148.pdf

18. Радзінська Ю. Б., Нестеренко С.Г., Кондратюк І. В., Халіков С.А. Інструментальні методи моніторингу земель міст. Комунальне господарство міст. 2023. Том 3. Випуск 177. С. 98–103. URL: https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6130/6048

19. Мамонов К. А., Пілічева М. О., Штерндок Е. С., Фролов В. О. Особливості формування геоінформаційних моніторингових систем використання земель територіальних громад на регіональному рівні. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2024. Випуск 115. Частина 2. С. 207–213. DOI: https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.2-207-213

20. Mamonov K., Kanivets O., Dobrokhodova O., E. Shterndok. Monitoring of land use at the regional level: theoretical provisions and features of implementation. Комунальне господарство міст. 2023. № 180. Том 6. С. 103–109. URL: https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6201

GEODETIC MONITORING OF TERRITORIES IN THE LAND RESOURCES MANAGEMENT SYSTEM

Radzinska Yuliia, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: radzinskayayb@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1661-7975

Mamonov Kostiantyn, Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com, tel. +380992917354, http://orcid.org/0000-0002-0797-2609

Kasyanov Vladimir, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kasyanow.vladimir@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-3506-5982

Frolov Viacheslav, Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: frolgis@gmail.com, тел. +380509816112, https://orcid.org/0000-0001-8045-3963

Summary. It has been established that ensuring the efficiency of land resources use is carried out by forming and implementing appropriate management measures. Land resources management is a complex process where elements interact. In international experience, a land resources management system is used, which is aimed at their comprehensive formation, assessment, use and development. Along with this, in the practice of domestic land relations, a systematic approach to land resources management is not implemented at an adequate level. In particular, separately presented functions are defined and applied.

As a result of the study, the goal of determining the directions and features of the formation and use of geodetic monitoring in the land resources management system was achieved. The achievement of the set goal is carried out on the basis of the tasks: determining geodetic monitoring of lands; characterizing the directions of formation and use of geodetic monitoring; characterizing the modern land resources management system.

Geodetic monitoring of territories is defined as a system of observations of the state of the land and property complex in order to timely detect changes, assess them, prevent and eliminate the consequences of negative processes by collecting, processing, transmitting, storing and analyzing geodetic information to form spatial support for decision-making to prevent negative changes in the territorial development system.

As a result of the study, directions for the formation and use of geodetic monitoring of territories to ensure land resources management were determined. Geodetic monitoring is characterized as a systemic process consisting of a set of interrelated actions that include instrumental and functional areas, which allows for permanent receipt and formation of geospatial support of territories for land resources management.

Keywords: geodetic monitoring of territories, land resources management, management functions, formation, assessment, use, development, system approach, monitoring, geoinformation support.

References

1. Zatserkovny, V. I. (2014) Geographic information systems and remote sensing systems of the earth in the tasks of effective land use. Mathematical modeling in economics. Issue 1. Pp. 40– 48.
2. Zatserkovny, V. I., Kryvoberets, S. V. (2013) Analysis of the possibility of increasing the efficiency of agricultural production when using GIT in management tasks. Bulletin of ChSTU. Series «Technical Sciences». № 3(67). Pp. 174–183.
3. Lyashchenko, A., Gorkovchuk, M. (2014) Functional model of an automated system for monitoring and assessing the quality of geospatial data. Modern advances in geodetic science and production. Issue I (27). Pp. 103−108.
4. Shelkovska, I. M., Pazulska, Yu. M. (2008) The essence and geoinformation models of legal monitoring of coastal lands. Urban planning and territorial planning. Issue 39. Pp. 440−444.
5. Wolski, B. (2005) Monitoring of river embankments deformations in flood wave proragation conditions. Reports on Geodesy. № 3 (74). Pp. 254−260.
6. Perovych, L., Vynarchuk, L. (2009) Cadastral monitoring of lands. Geodesy, cartography and aerial photography. № 73. Pp. 97–101.
7. Dorosh, O. S. (2015) Land inventory: methodological approaches to its implementation. Agrosvit. № 11. Pp. 24–30.
8. Malanchuk, M., Panas, R. (2013) Current problems of soil cover monitoring in Ukraine. Geodesy, Cartography and Aerial Photography. Issue 78. Pp. 201–204.
9. Pilicheva, M. O., Kogdrashchenko, O. V., Shterndok, E. S. (2023) Modern methods of monitoring the use of urban land. Municipal economy of cities. Series: Technical sciences and architecture. № 178. Volume 4. Pp. 125–129. https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-125-129 [in Ukrainian].
10. On the implementation of a pilot project on monitoring land relations and amending some resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 23, 2017 № 639. https://www.kmu.gov.ua/npas/250225706 [in Ukrainian].
11. Andriyko, O. F. (2004) State control in Ukraine: organizational and legal principles. Kyiv: Naukova Dumka. 302 p.
12. Miroshnychenko, A. M., Marusenko, R. I. (2011) Scientific and practical commentary on the Land Code of Ukraine. Kyiv: Alerta. 516 p.
13. Mozalyova, M. V. (2011) Legal principles of soil monitoring: dissertation ... candidate of law sciences: 12.00.06. Kharkiv. 197 p.
14. Golovkin, O. V. (2011) Inspection as a form of state control in the field of environmental protection in Ukraine. Journal of the Kyiv University of Law. № 3. Pp. 233–236.

15. Gorodetska, I. A. (2010) Administrative and jurisdictional activities of the state inspector for control over the use and protection of land: author's abstract. dissertation ... candidate of law. sciences. Kyiv, 19 p.

16. Kurylo, V. I., Svitlychny, O. P. (2013) On the issue of the activities of public authorities in the field of control over the use and protection of land resources. Land management, cadastre and land monitoring. № 1–2. Pp. 47–52.

17. Mamonov, K. A., Shterndok, E. S., Nesterenko, S. G., Radzinska, Yu. B., Kasyanov, V. V. (2024) Formation of a modern system of geodetic support for land use using UAVs and photogrammetric methods. Automobile roads and road construction. Issue 116. Part 1. Pp. 148–160. http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/116.1/148.pdf [in Ukrainian].

18. Radzinska, Yu. B., Nesterenko, S.G., Kondratyuk, I. V., Khalikov, S. A. (2023) Instrumental methods of monitoring urban land. Municipal economy of cities. Volume 3. Issue 177. Pp. 98–103. https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6130/6048

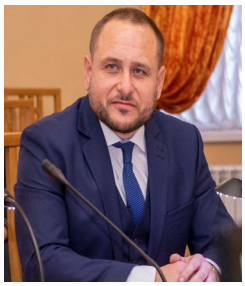
19. Mamonov, K. A., Pilicheva, M. O., Shterndok, E. S., Frolov, V. O. (2024) Features of the formation of geoinformation monitoring systems for the use of land of territorial communities at the regional level. Automobile roads and road construction. Issue 115. Part 2. Pp. 207–213. https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.2-207-213 [in Ukrainian].

20. Mamonov, K., Kanivets, O., Dobrokhodova, O., Shterndok, E. (2023) Monitoring of land use at the regional level: theoretical provisions and features of implementation. Municipal economy of cities. № 180. Vol. 6. Pp. 103–109. URL: https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6201 [in Ukrainian].

УДК 528.4:332.3 **DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-146-150**
UDC 528.4:332.3

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗДІЙСНЕННЯ ЗЕМЛЕВПОРЯДНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

PRACTICAL ASPECTS OF LAND MANAGEMENT DESIGN



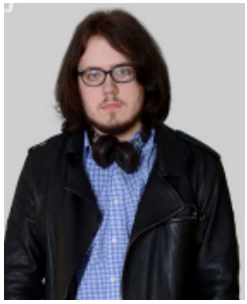
Мамонов Костянтин Анатолійович, *доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com*

http://orcid.org/0000-0002-0797-2609



Штерндок Ернест Сергійович, *кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: shterndok@ukr.net*

https://orcid.org/0000-0003-1107-7401



Мамонов Владислав Костянтинович, *здобувач вищої освіти Навчально-науковий інститут комп'ютерного моделювання, прикладної фізики та математики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна*
E-mail – thevladwork@gmail.com

https://orcid.org/0009-0009-9323-6760

Анотація. У сучасних умовах відбуваються трансформаційні процеси у сфері земельних відносин, які характеризуються розбалансуванням стейкхолдерних відносин, уповільненням або зниженням ефективності використання земель, впливом агресивних дій та ситуаціями, пов'язаних із військовим станом, внутрішніми диспропорціями. Крім того, слід вказати на гальмування територіального розвитку землекористування.

Досягнута мета щодо виокремлення практичних аспектів здійснення землевпорядного проектування. Вирішені наступні завдання: визначені напрями формування кількісної основи для прийняття рішень у системі використання земель; охарактеризовані документи, що застосовуються для здійснення землевпорядного проектування; виокремлені практичні аспекти організації використання земель.

У системі землевпорядного проектування виокремлені практичні аспекти організації використання земель, які складаються із системи стейкхолдерних відносин між зацікавленими особами: державними установами; місцевими органами державної влади; представники територіальних громад; проекті організації, що функціонують у сфері земельних відносин; підприємства, що здійснюють свою діяльність відносно розподілу та використання земель; безпекові організації; фінансово-кредитні організації; збройні сили; організації, що забезпечують інформаційну

політику; фізичні особи, що взаємодіють у сфері земельних відносин; інші юридичні особи, що взаємодіють у сфері земельних відносин; інші стейкхолдери, що взаємодіють у сфері земельних відносин.

Виокремлені практичні аспекти землевпорядного проектування, які визначаються функціональними, факторними, нормативно-правовими, організаційними напрямами та параметрами, що впливають на використання земель і територіальний розвиток. Визначено, що для забезпечення землевпорядного проектування запропоновано сформувати кількісну основу рівня використання земель для прийняття рішень у контексті збалансування функціональних, просторових, містобудівних, екологічних, інвестиційних чинників.

Ключові слова: землевпорядне проектування, використання земель, практичні аспекти, територіальний розвиток, організаційні аспекти, нормативно-правове забезпечення, функціональні, просторові, містобудівні, екологічні, інвестиційні чинники.

Вступ. У сучасних умовах відбуваються трансформаційні процеси у сфері земельних відносин, які характеризуються розбалансуванням стейкхолдерних відносин, уповільненням або зниженням ефективності використання земель, впливом агресивних дій та ситуаціями, пов'язаних із військовим станом, внутрішніми диспропорціями. Крім того, слід вказати на гальмування територіального розвитку землекористування.

На недостатньому рівні впроваджуються сучасні інформаційні й геоінформаційні системи у розподілі та використанні земель. Актуальним питанням є процес пошуку оптимальних рішень організації використання земель, формування правового режиму землекористування та інформації для прийняття управлінських рішень у вигляді землевпорядного проектування [1, 2].

Для розвитку та організації використання земель застосовується земельне законодавство: Земельний та Цивільний кодекси України; Закони України: Про Державний земельний кадастр, Про оренду землі, Про порядок виділення в натурі (на місцевості) земельних ділянок власникам земельних часток (паїв), Про землеустрій, Про відчуження земельних ділянок, інших об'єктів нерухомого майна, що на них розміщені, які перебувають у приватній власності, для суспільних потреб чи з мотивів суспільної необхідності, Про місцеве самоврядування в України, Про державну реєстрацію речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень, Про державну експертизу землевпорядної документації; Постанови Кабінету Міністрів України: Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру, Про затвердження Порядку ведення Державного реєстру речових прав на нерухоме майно, Про затвердження Порядку проведення інвентаризації земель, Про затвердження Типового договору оренди землі, Про затвердження Типового договору про розроблення проекту землеустрою щодо відведення земельної ділянки, Деякі питання надання Державним агентством земельних ресурсів та його територіальними органами платних адміністративних послуг, Про організацію робіт та методику розподілу земельних ділянок між власниками земельних часток (паїв), Про затвердження Положення про Державний фонд документації із землеустрою.

Важливого значення має здійснення землевпорядного проектування, враховуючи його практичні аспекти. Таким чином, тема статті є актуальною, її розробка має своєчасний характер.

Огляд існуючих теоретичних розробок. В існуючих наукових розробках виокремлені принципи та функції землевпорядного проектування. Функції землевпорядного проектування є:

– соціо-еколого-економічний аналіз існуючого землекористування та природних просторів;

– аналіз актуальних форм використання землі й простору в їх суспільному зв'язку з урахуванням потенціалу, проблем та конфліктів;

– встановлення економічної доцільності, соціальної та природної узгодженості, а також погодження умов із системами землекористування;

– оцінювання переваг використання землі;

– оцінювання узгодженості різних типів землекористування з багаторазовим використанням землі;

– мінімізація конфліктів використання земель;

– концептуальне обґрунтування заходів;
– розроблення форм використання земель та наслідків їх впливу на довкілля;
– оцінювання соціальних наслідків концептуальних заходів;
– визначення економічних та екологічних наслідків;
– створення концепції та планів дій найбільш ефективного і еколого-безпечного землекористування та територіального розвитку використання земель [1, 2].

Крім того, важливого значення має досягнення балансу між економікою, суспільством і довкіллям [3].

Для забезпечення землевпорядного проектування виокремлюються сценарії територіального розвитку використання земель регіонів: негативний, помірний, сценарій розвитку [4, 5].

У результаті систематизації теоретичних положень, обґрунтовані категоріальний апарат до визначення землевпорядного проектування, відповідні функції, його особливості у сучасних умовах.

Метою дослідження є виокремлення практичних аспектів здійснення землевпорядного проектування. Для досягнення поставленої мети вирішені наступні завдання:

– визначити напрями формування кількісної основи для прийняття рішень у системі використання земель;
– характеристика документів, що застосовуються для здійснення землевпорядного проектування;
– виокремлення практичних аспектів організації використання земель.

Виклад основного матеріалу. Здійснення землевпорядного проектування формується кількісна основа для прийняття рішень у системі використання земель. У цьому контексті здійснюється відповідна оцінка:

1. Проведення геофакторного аналізу для: формування комплексу просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних факторів, що впливають на використання земель на основі існуючих науково-методичних розробок та нормативно-правового забезпечення; побудова багаторівневої системи факторів; відбору факторів, що мають найбільший вплив на використання земель шляхом експертних оцінок.

2. Формування багаторівневої системи показників шляхом застосування квазиметричних моделей переходу від запропонованих факторів до відповідних просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних показників, враховуючи значення коефіцієнтів оцінки.

3. Оцінка системи просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних показників третього рівня на основі застосування аналітичного та методу експертних оцінок.

4. Визначення просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних показників другого рівня шляхом побудови математичних моделей на основі методу оцінки середньої геометричної величини.

5. Побудова математичної моделі визначення інтегральних просторового, містобудівного, інвестиційного, екологічного показників використання земель.

6. Визначення вагових коефіцієнтів, що характеризують важливість просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних показників у системі використання земель на основі застосування методу аналізу ієрархій.

7. Визначення інтегральних просторового, містобудівного, інвестиційного, екологічного показників використання земель.

8. Оцінка інтегрального показника використання земель.

9. Розробка та обґрунтування шкали рівнів використання земель.

10. Інтерпретація отриманих результатів.

Для здійснення землевпорядного проектування розробляються проекти землеустрою щодо впорядкування території для містобудівних потреб розробляються в межах кварталу, мікрорайону, іншої частини території населеного пункту та за межами населеного пункту з метою формування земельних ділянок, на яких передбачається будівництво чи реконструкція об’єктів нерухомого майна. Проекти землеустрою щодо впорядкування території для містобудівних потреб розробляються на підставі рішення відповідної сільської, селищної, міської ради або районної державної адміністрації.

Проекти землеустрою щодо впорядкування території для містобудівних потреб включають: завдання на складання проекту землеустрою; пояснювальну записку; матеріали геодезичних вишукувань та землевпорядного проектування; відомості про об'єкти нерухомого майна, розташовані на земельних ділянках, якщо права власності на такі об'єкти зареєстровані; перелік обмежень у використанні земельних ділянок; план організації території для містобудівних потреб; план меж зон обмежень у використанні земель (земельних ділянок); викопіювання з детального плану території. У разі формування земельної ділянки проект землеустрою щодо впорядкування територій для містобудівних потреб також включає: відомості про обчислення площі земельної ділянки; кадастровий план земельної ділянки; перелік обмежень у використанні земельної ділянки; відомості про встановлені межові знаки; відомості про межі охоронних зон, зон санітарної охорони, санітарно-захисних зон і зон особливого режиму використання земель, прибережних захисних смуг і пляжних зон (за наявності); матеріали перенесення меж земельної ділянки в натуру (на місцевість) [6].

У системі землевпорядного проектування виокремлені практичні аспекти організації використання земель, які складаються із системи стейкхолдерних відносин між зацікавленими особами:

- державними установами;
- місцевими органами державної влади;
- представники територіальних громад;
- проекті організації, що функціонують у сфері земельних відносин;
- підприємства, що здійснюють свою діяльність відносно розподілу та використання земель;
- безпекові організації;
- фінансово-кредитні організації;
- збройні сили;
- організації, що забезпечують інформаційну політику;
- фізичні особи, що взаємодіють у сфері земельних відносин;
- інші юридичні особи, що взаємодіють у сфері земельних відносин;
- інші стейкхолдери, що взаємодіють у сфері земельних відносин.

Для збалансованого землекористування запропоновано враховувати функціональні, просторові, екологічні, містобудівні, інвестиційні чинники.

Висновки. Таким чином, виокремлені практичні аспекти землевпорядного проектування, які визначаються функціональними, факторними, нормативно-правовими, організаційними напрямами та параметрами, що впливають на використання земель і територіальний розвиток. Визначено, що для забезпечення землевпорядного проектування запропоновано сформувати кількісну основу рівня використання земель для прийняття рішень у контексті збалансування функціональних, просторових, містобудівних, екологічних, інвестиційних чинників.

Перелік посилань

1. Третяк А. М. Теоретичні основи землеустрою. Київ: ІЗУ УААН, 2002. 152 с.
2. Третяк А. М. Землевпорядне проектування: теоретичні основи і територіальний землеустрій: навч. Посібник. Київ : ТОВ «ЦЗРУ», 2008. 576 с.
3. Мамонов К. А., Пілічева М. О. Методи землевпорядного проєктування у територіальному розвитку використання земель: конспект лекцій для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій). Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. 103 с.
4. Мамонов К. А. Територіальний розвиток використання земель регіону: напрями та особливості оцінки: монографія. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 403 с.
5. Mamonov K. Methodological approach to the integral assessment of the regional lands use territorial development. Geodesy and Cartography. 2019. Vol. 45. №. 3. P. 110–115.
6. Про землеустрій. Закон України. Документ 858-IV. Редакція від 15.11.2024. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text

PRACTICAL ASPECTS OF LAND MANAGEMENT DESIGN

Mamonov Kostiantyn, Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com, tel. +380992917354, http://orcid.org/0000-0002-0797-2609

Shterndok Ernest, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: shterndok@ukr.net, tel. +380934289234, https://orcid.org/0000-0003-1107-7401

Mamonov Vladyslav, student, Educational and Research Institute of Computer Modelling, Applied Physics and Mathematics, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine, E-mail - thevladwork@gmail.com, https://orcid.org/0009-0009-9323-6760

Summary. In modern conditions, transformation processes in the field of land relations, characterized by imbalance of stakeholder relations, slowing or reducing the efectivity of land use, influence of aggressive actions and situations related to military status, internal disproportions, are taking place. In addition, it is necessary to indicate the inhibition of territorial development of land use.

The goal has been achieved to distinguish practical aspects of land management. The following tasks are solved: defined directions of formation of quantitative basis for decision -making in the system of land use; described documents used for land design; Practical aspects of land use organization are highlighted.

In the system of land management design, practical aspects of the organization of land use, which consist of a system of stakeholder relations between interested persons: state institutions; local state authorities; representatives of territorial communities; Organization projects operating in the field of land relations; enterprises that carry out their activity in terms of distribution and use of land; security organizations; financial and credit organizations; armed forces; organizations that provide information policy; natural persons interacting in the field of land relations; other legal entities that interact in the field of land relations; Other stakeholders that interact in the field of land relations.Practical aspects of land management design, which are determined by functional, factor, regulatory, organizational directions and parameters affecting the use of land and territorial development, are distinguished. It is determined that in order to ensure green management design it is proposed to form a quantitative basis for the level of land use for decision -making in the context of balanced functional, spatial, urban planning, environmental, investment factors.

Keywords: land management design, land use, practical aspects, territorial development, organizational aspects, regulatory support, functional, spatial, urban planning, environmental, investment factors.

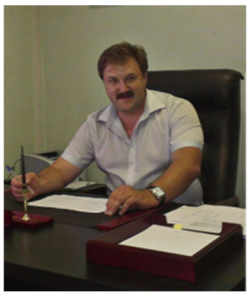
References

1. Tretyak, A. M. (2002) Theoretical foundations of land management. Kyiv: IDU UAAS, 152 p.
2. Tretyak, A. M. (2008) Land Management Design: Theoretical Foundations and Territorial Land Management: Educ. Manual. Kyiv: ZSRU LLC, 576 p.
3. Mamonov, K. A., Pilicheva, M. A. (2022) Methods of land management in territorial development of land use: a synopsis of lectures for applicants of the third (educational and scientific) level of higher education of specialty 193-geodesy and land management). Kharkiv: O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 103 p.
4. Mamonov, K. A. (2020) Territorial development of land use of the region: directions and features of valuation: monograph. Kharkiv: O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 403 p.
5. Mamonov, K. (2019) Methodological approach to the integral assessment of the regional lands use territorial development. Geodesy and Cartography. Vol. 45. №. 3. P. 110–115.
6. About land management. Law of Ukraine. Document 858-IV. Editorial from November 15, 2024. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15,5#text [in Ukrainian].

УДК 528.4:332.3 **DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-151-156**
UDC 528.4:332.3

ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ РОБОЧИХ ПРОЕКТІВ З РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ

TECHNOLOGY FOR DEVELOPING LAND RECLAMATION PROJECTS



Фролов В'ячеслав Олександрович, *кандидат технічних наук, асистент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: frolgis@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0001-8045-3963



Касьянов Володимир Володимирович, *кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kasyanow.vladimir@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0003-3506-5982



Фролов Олександр В'ячеславович, *аспірант кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: frolgis@gmail.com*

https://orcid.org/0009-0003-6968-5714

Анотація. Доведено, що забезпечення землеустрою здійснюється шляхом реалізації комплексних заходів, які враховують різні аспекти земельних ресурсів і використання земель. Землеустрій характеризується як сукупність соціально-економічних та екологічних заходів, спрямованих на регулювання земельних відносин та раціональну організацію території адміністративно-територіальних одиниць, суб'єктів господарювання, що здійснюються під впливом суспільно-виробничих відносин і розвитку продуктивних сил.

Для розробки робочих проектів з рекультивації земель визначаються технологічні аспекти, що обумовлює актуальність теми дослідження.

Досягнута мета відносно визначення напрямів та особливостей обґрунтування технології розробки робочих проектів з рекультивації земель.

Для проведення робіт по систематизації та аналізу зібраних матеріалів таких як топографічних, агротехнічних, землевпорядних вишукувань, у системі AutoCAD виконується пошарове зведення в одній системі координат наявних планових матеріалів, та матеріалів польових робіт: топографічний план земельної ділянки, матеріали ґрунтових обстежень, дані щодо меж земельних ділянок,

генеральний план території будівельного майданчика спорудження, наприклад, розвідувальної свердловини.

Запропонована технологія розробки робочих проектів з рекультивації земель. Обґрунтовані комплексні проектні рішення, які включають сукупність робіт та стадії землевпорядного проектування. Слід вказати на розробку графічних матеріалів робочих проектів на основі результатів топографічних, агротехнічних, землевпорядних вишукувань, що дозволяє забезпечити результативність землевпорядного проектування.

Ключові слова: землеустрій, робочий проект, рекультивація земель, землевпорядне проектування, геоінформаційні системи, техніко-економічне обґрунтування, технологія.

Вступ. Забезпечення землеустрою здійснюється шляхом реалізації комплексних заходів, які враховують різні аспекти земельних ресурсів і використання земель. Землеустрій характеризується як сукупність соціально-економічних та екологічних заходів, спрямованих на регулювання земельних відносин та раціональну організацію території адміністративно-територіальних одиниць, суб'єктів господарювання, що здійснюються під впливом суспільно-виробничих відносин і розвитку продуктивних сил [1]. У системі землеустрою виконуються робочі проекти, що визначаються сукупність економічних, проектних і технічних документів з використання та охорони земель, що включає розрахунки, опис, креслення технічних рішень, кошторис, реалізацію яких передбачається здійснити протягом строку, встановленого цим проектом [1]. Актуальним питанням є визначення та виокремлення особливостей землевпорядного проектування, яке спрямовано на прийняття рішень для сталого, соціально та еколого орієнтованого землекористування.

Завдання землевпорядного проектування щодо використання земель та її охорони полягає у збалансуванні земель між сферами виробничої діяльності, їх збереженні. При цьому особливого значення має здійснення протиерозійних і протисельових заходів, створення умов для широкої рекультивації земель і всебічної охорони їх від забруднення та засмічення. Для вирішення цих завдань розробляють у тому числі загальнодержавні та регіональні програми використання та охорони земель.

Для розробки робочих проектів з рекультивації земель визначаються технологічні аспекти, що обумовлює актуальність теми дослідження.

Огляд існуючих теоретичних розробок. В існуючих наукових розробках фокусується увага на інструментарії забезпечення проектування землекористування. Зокрема, обґрунтування і забезпечення досягнення раціонального землекористування забезпечується за допомогою: раціональної організації територій; своєчасного проведення внутрішньогосподарського та міжгосподарського землевпорядкування; чіткого дотримання вимог щодо повноти та своєчасності внесення земельно-кадастрових даних; запровадження механізмів приватизації та передачі земель у власність, розподілу та перерозподілу земель; здійснення координуючих, контрольних та експертних заходів з боку спеціально уповноважених органів охорони земель; економічного стимулювання раціонального землекористування [2].

Особливості землекористування, формування землеустрою, організаційні й інструментальні аспекти визначені у розробках [3–5].

Для здійснення землевпорядного проектування виконуються землевпорядні завдання у вигляді техніко-економічних обґрунтувань та техніко-економічних розрахунків, які виконуються при проектуванні. Землевпорядне проектування характеризується напрямами наукової і практичної діяльності, що спрямовано на досягнення певної мети, спрямованої на формування підґрунтя для складання проектів землеустрою.

Поряд з цим, залишаються актуальними питання відносно технологічних аспектів розробки робочих проектів з рекультивації земель.

Метою дослідження є визначення напрямів та особливостей обґрунтування технології розробки робочих проектів з рекультивації земель.

Виклад основного матеріалу. Для забезпечення розробки проекту землеустрою з рекультивації земель необхідно провести наступні роботи:

– топографо-геодезичні роботи;
– агротехнічні вишукування;
– землевпорядні вишукування.

Виокремлені стадії землевпорядного проектування:

– підготовчі роботи, пов'язані зі збиранням інформації та матеріалів;
– розроблення технологічних схем та прогнозів використання і охорони земель;
– складання проектів та іншої землевпорядної документації;
– розгляд і затвердження землевпорядної документації;
– винесення проекту в натуру (на місцевість);
– оформлення і видача землевпорядних матеріалів і документів;
– авторський нагляд за виконанням проекту власниками землі і землекористувачами.

Для проведення робіт по систематизації та аналізу зібраних матеріалів таких як топографічних, агротехнічних, землевпорядних вишукувань, у системі AutoCAD виконується пошарове зведення в одній системі координат наявних планових матеріалів, та матеріалів польових робіт: топографічний план земельної ділянки, матеріали ґрунтових обстежень, дані щодо меж земельних ділянок, генеральний план території будівельного майданчика спорудження, наприклад, розвідувальної свердловини (рис. 1, 2, 3).

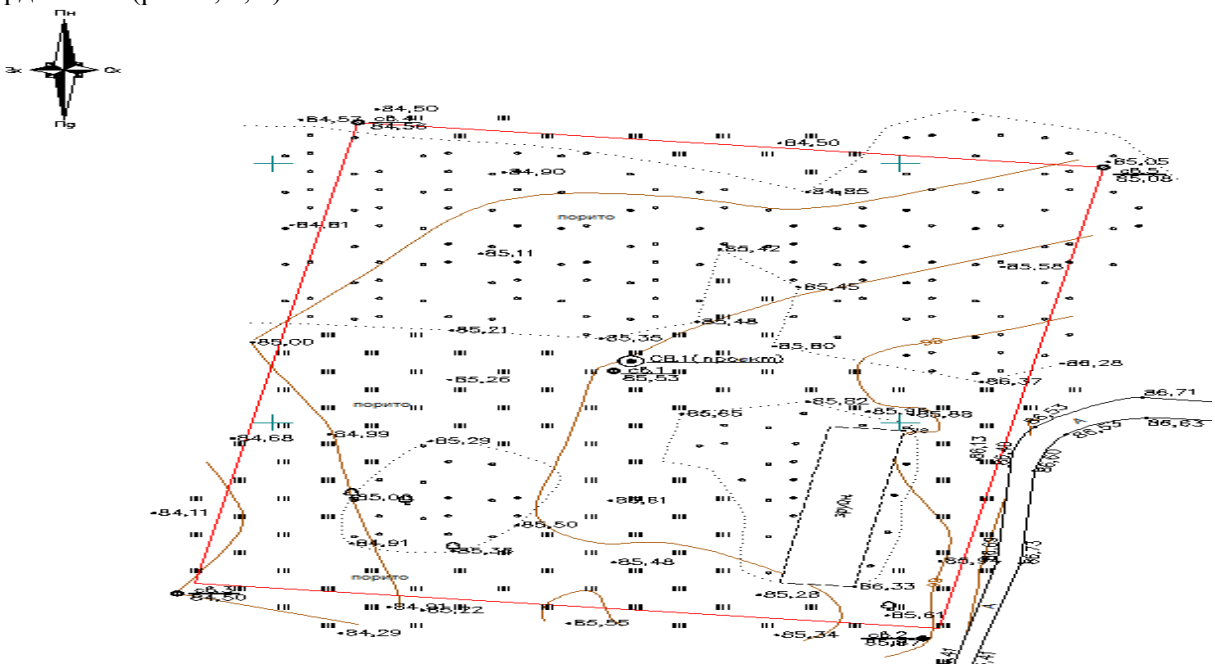


Рисунок 1 *– Топографічний план земельної ділянки*
Figure 1 – *Topographic plan of land plot*



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ:

– межа земельної ділянки

– межа агровиробничих груп ґрунтів

92в – агровиробнича група ґрунтів

1) 2) – місця закладки ґрунтових розрізів

Рисунок 2 *– Схема розташування ґрунтових розрізів*
Figure 2 – *The layout of soil incisions*

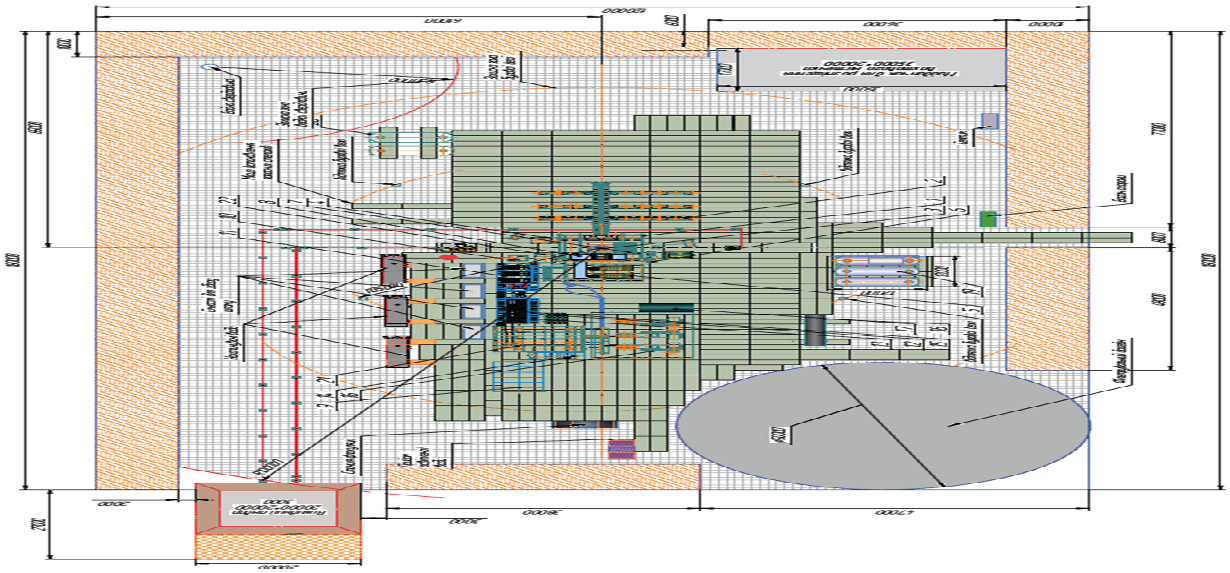


Рисунок 3 *– Генеральний план території будівельного майданчика*
Figure 3 – *General plan of the territory of the construction site*

З використанням матеріалів зазначених вишукувань розробляється технологічна схема зняття родючого шару ґрунту, яка включає: межі будівельного майданчика; місця складування (відвали) знятого родючого шару ґрунту та потенційно родючого шару ґрунту; напрямки планування (роботи техніки (бульдозерів) при знятті родючого і потенційно родючого шарів ґрунту; місце розміщення гирла свердловини.

Висновки. Таким чином, запропонована технологія розробки робочих проектів з рекультивації земель. Обґрунтовані комплексні проектні рішення, які включають сукупність робіт та стадії землевпорядного проектування. Слід вказати на розробку графічних матеріалів робочих проектів на основі результатів топографічних, агротехнічних, землевпорядних вишукувань, що дозволяє забезпечити результативність землевпорядного проектування.

Перелік посилань

1. Про землеустрій. Закон України. Документ 858-IV. Редакція від 15.11.2024. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text
2. Одарюк Т. С. Землевпорядне проектування: Навчальний посібник. Київ: Аграрна освіта, 2010. 292 с.
3. Гуцуляк Ю. Основні засади впорядкування еколого-ландшафтної та економічної типології земель. Землевпорядний вісник. 2008. № 6. С. 44–50.
4. Новаковський Л. Я., Олещенко М. А. Соціально-економічні проблеми сучасного землекористування. Київ: Урожай, 2009. 274 с.
5. Третяк А. М. Наукові основи землеустрою: Навчальний посібник. Київ: ТОВ ЦЗРУ, 2002. 342 с.

TECHNOLOGY FOR DEVELOPING LAND RECLAMATION PROJECTS

Frolov Viacheslav, Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: frolgis@gmail.com, тел. +380509816112, https://orcid.org/0000-0001-8045-3963
Kasyanov Vladimir, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kasyanow.vladimir@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-3506-5982
Frolov Oleksandr, Postgraduate student of the Department of Land Administration and Geoinformation Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: frolgis@gmail.com, https://orcid.org/0009-0003-6968-5714

Summary. It is proved that land management is carried out by implementing complex measures that take into account various aspects of land resources and land use. Land management is characterized as a set of socio-economic and environmental measures aimed at regulating land relations and the rational organization of the territory of administrative-territorial units, economic entities, which are influenced by social and production relations and the development of productive forces.

For the development of working projects for land reclamation, technological aspects are determined, which determines the relevance of the topic of research.

The goal has been achieved regarding the definition of directions and features of substantiation of technology of development of working projects for land reclamation.

For conducting works on the systematization and analysis of collected materials such as topographic, agrotechnical, land management surveys, in the AutoCAD system, a layer -by -layer erection in one system of coordinates of existing planned materials, and field work materials: topographic plan of land, materials of the plan, is made Construction, for example, a reconnaissance well.

The technology of development of work projects for land reclamation is proposed. Complex design solutions, which include a set of works and stages of land management design, are substantiated. It is necessary to point out the development of graphic materials of working projects on the basis of the results of topographic, agrotechnical, land management surveys, which allows to ensure the effectiveness of land management design.

Keywords: land management, working project, land reclamation, land management design, geoinformation systems, technical and economic justification, technology.

References

1. About land management. Law of Ukraine. Document 858-IV. Editorial from15.11.2024. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15,5#text [in Ukrainian].
2. Odaryuk, T. S. (2010) Land Management Design: A Textbook. Kyiv: Agrarian education, 292 p.
3. Gutsulyak, Y. (2008) Basic principles of ordering the ecological-landscape and economic typology of land. Land management. № 6. Pp. 44–50.
4. Novakovsky, L. Ya., Oleshchenko, M. A. (2009) Socio-economic problems of modern land use. Kyiv: Harvest, 274 p.
5. Tretyak, A. M. (2002) Scientific bases of land management: a textbook. Kyiv: CZRU LLC, 342 p.

УДК 528.4:332.3
UDC 528.4:332.3

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-157-165

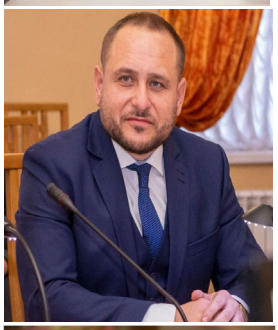
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЧИННИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ РЕГІОНІВ

MATHEMATICAL MODELING OF FACTORS OF EFFICIENCY OF LAND USE OF REGIONS



Штерндок Ернест Сергійович, *кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: shterndok@ukr.net*

https://orcid.org/0000-0003-1107-7401



Мамонов Костянтин Анатолійович, *доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com*

http://orcid.org/0000-0002-0797-2609



Гой Василь Васильович, *кандидат економічних наук, докторант кафедри економіки та маркетингу, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: vasssgoi@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0003-1822-4478



Радзінська Юлія Борисівна, *кандидат технічних наук, доцент кафедри Земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, e-mail: radzinskayayb@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0002-1661-7975

Анотація. Доведено, що формування сучасної системи земельних відносин спрямовано на зростання ефективності використання земель на регіональному рівні. На процес землекористування впливають сукупність чинників: функціональні, економічні, просторові, екологічні, інвестиційні, стейкхолдерні. У цьому контексті важливого значення має формування кількісної основи для

прийняття рішень шляхом застосування інструментарію математичного моделювання, який включає сукупність напрямів, методів і моделей. У процесі математичного моделювання чинниками ефективності використання земель регіонів здійснюється їх оцінка та визначення інтегрального показника.

Узагальнені та систематизовані теоретичні підходи до визначення й використання математичного моделювання у системі землекористування, що надало створити умови для розробки відповідної теоретико-методологічної основи й напрямів реалізації.

Досягнута мета щодо визначення практичних аспектів математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів. Для досягнення поставленої мети вирішені завдання: оцінені чинники ефективності використання земель регіонів; визначено інтегральний показник оцінки рівня ефективності використання земель регіонів; запропоновані напрями математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів.

Запропоновані напрями математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів: формування інформаційно-аналітичного забезпечення рівня ефективності використання земель регіонів; оцінка чинників рівня ефективності використання земель; визначення інтегрального показника рівня ефективності використання земель регіонів; розробка математичних моделей впливу чинників на інтегральний показник; визначення критеріїв адекватності математичних моделей; інтерпретація отриманих результатів.

У результаті дослідження визначені чинники та інтегральний показник рівня ефективності використання земель регіонів. У більшості регіонів відбувається посередній рівень ефективності використання земель. Встановлено, що зниження ефективності використання земель відбувається у регіонах, де відбуваються бойові дії або окупація територій, або у прифронтових областях. Доведено високий рівень впливу функціональних, економічних, просторових, екологічних, інвестиційних чинників на інтегральний показник. Знижується значення стейкхолдерних показників у системі землекористування. Отже, сформована кількісна основа для прийняття рішень щодо забезпечення ефективності використання земель на регіональному рівні.

Ключові слова: ефективність, використання земель, регіони, оцінка, земельні відносини, математичного моделювання, чинники.

Вступ. Формування сучасної системи земельних відносин спрямовано на зростання ефективності використання земель на регіональному рівні. На процес землекористування впливають сукупність чинників: функціональні, економічні, просторові, екологічні, інвестиційні, стейкхолдерні. У цьому контексті важливого значення має формування кількісної основи для прийняття рішень шляхом застосування інструментарію математичного моделювання, який включає сукупність напрямів, методів і моделей. У процесі математичного моделювання чинниками ефективності використання земель регіонів здійснюється їх оцінка та визначення інтегрального показника.

Проблемними питаннями залишаються формування інформаційно-аналітичного забезпечення для математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів. Особливого значення має повнота та достовірність отриманої інформації. Важливим питанням є практичні аспекти застосування інструментарію математичного моделювання із використання критеріїв адекватності. На основі результатів математичного моделювання розробляються науково обґрунтовані рекомендації для забезпечення ефективності використання земель регіонів.

Таким чином, тема дослідження щодо математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів є актуальною.

Огляд існуючих теоретичних розробок. Математичне моделювання характеризується як один з основних методів дослідження систем. Він передбачає створення концептуальної моделі об'єкта дослідження, її формалізацію та перетворення у математичну або комп'ютерну модель, перевірку адекватності й подальше дослідження отриманої моделі за допомогою аналітичних або чисельних методів і сучасних комп’ютерних технологій [1].

Математичне моделювання є процесом застосування математики до практичної задачі з метою її розуміння [2]. На сутнісних характеристиках математичного моделювання зосереджується увага у роботах [3–7].

Функціональні аспекти здійснення математичного моделювання систем виокремлені у розробках [8, 9]. У цьому контексті математичне моделювання комплекс дій, спрямований на одержання інформації про об'єкт або про процеси, що протікають у ньому шляхом відтворення за допомогою математичної моделі явищ, що відбуваються, зі збереженням їх логічної структури, взаємозв'язків і розташування у часі [10, 11].

Для здійснення математичного моделювання виокремлюються чинники, що впливають на процеси регіонального розвитку, що дозволяє визначити тенденції їх змін у контексті розробки й реалізації науково обґрунтованих рекомендацій [12].

Особливості формування кількісної основи шляхом застосування інструментарію математичного моделювання у системі земельних відносин територіальних громад представлені у роботах [13–15].

На напрямах та особливостях здійснення математичного моделювання у системі територіального розвитку використання земель зосереджена увага у роботах [16–19].

Таким чином, узагальнені та систематизовані теоретичні підходи до визначення й використання математичного моделювання у системі землекористування, що надало створити умови для розробки відповідної теоретико-методологічної основи й напрямів реалізації.

Метою дослідження є визначення практичних аспектів математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів. Для досягнення поставленої мети вирішуються завдання:

– оцінити чинники ефективності використання земель регіонів;

– визначити інтегральний показник оцінки рівня ефективності використання земель регіонів;

– запропонувати напрями математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів.

Виклад основного матеріалу. Для математичного моделювання здійснена оцінка чинників ефективності використання земель регіонів. Представлена оцінка здійснюється відповідно наступних факторів: функціональні, економічні, просторові, екологічні, інвестиційні, стейкхолдерні. Результати визначення представлених чинників висвітлені на рис. 1 – 6.

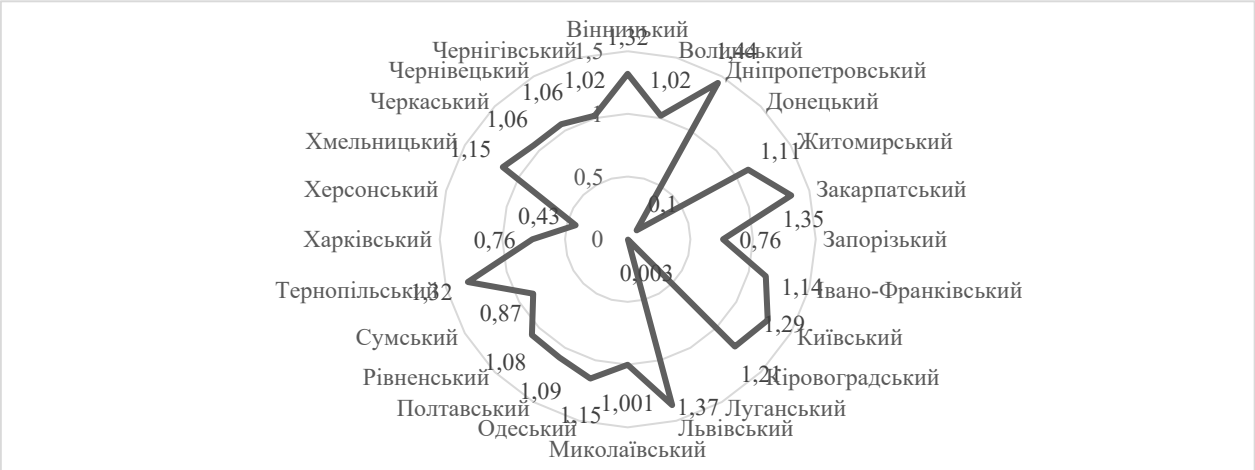


Рисунок 1 – Результати оцінки функціональних чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 1 – Results assessment of functional factors of efficiency of land use of regions, units

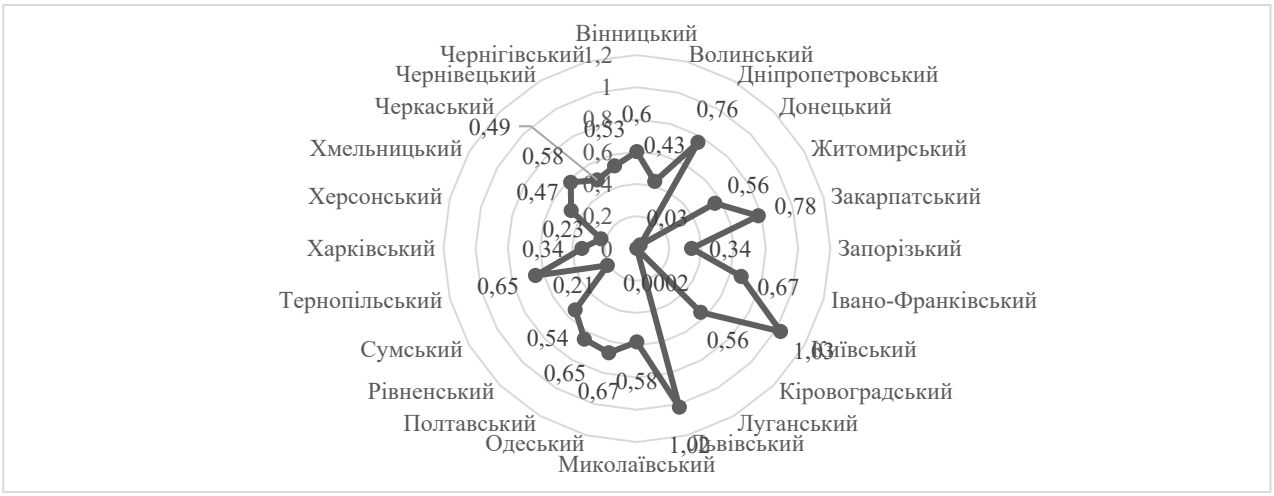


Рисунок 2 – Результати оцінки економічних чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 2 – Results assessment of economic factors of efficiency of land use of regions, units



Рисунок 3 – Результати оцінки просторових чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 3 – The results of the evaluation of spatial factors of efficiency of land use of regions, units

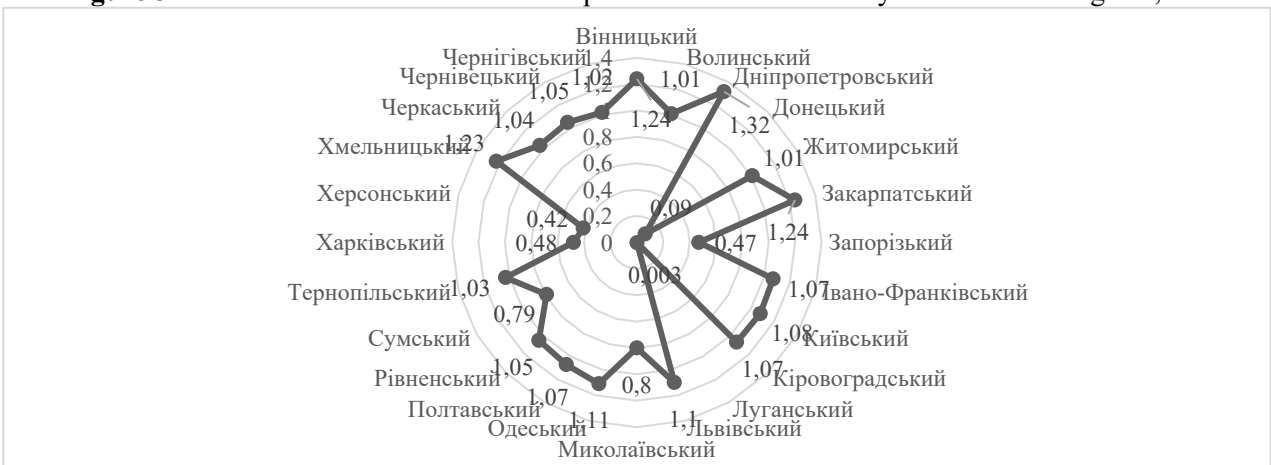


Рисунок 4 – Результати оцінки екологічних чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 4 – Results assessment of environmental factors of land use efficiency, units



Рисунок 5 – Результати оцінки інвестиційних чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 5 – Results assessment of investment factors of efficiency of land use of regions, units



Рисунок 6 – Результати оцінки стейкхолдерних чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 6 – Results assessment of stakeholder efficiency of land use of regions, units

Результати оцінки інтегрального показника оцінки рівня ефективності використання земель регіонів визначені на рис. 7.

Запропоновані напрями математичного моделювання чинників ефективності використання земель регіонів:

– формування інформаційно-аналітичного забезпечення рівня ефективності використання земель регіонів;
– оцінка чинників рівня ефективності використання земель;
– визначення інтегрального показника рівня ефективності використання земель регіонів;
– розробка математичних моделей впливу чинників на інтегральний показник;
– визначення критеріїв адекватності математичних моделей;
– інтерпретація отриманих результатів.

Результати математичного моделювання представлені у табл. 1.

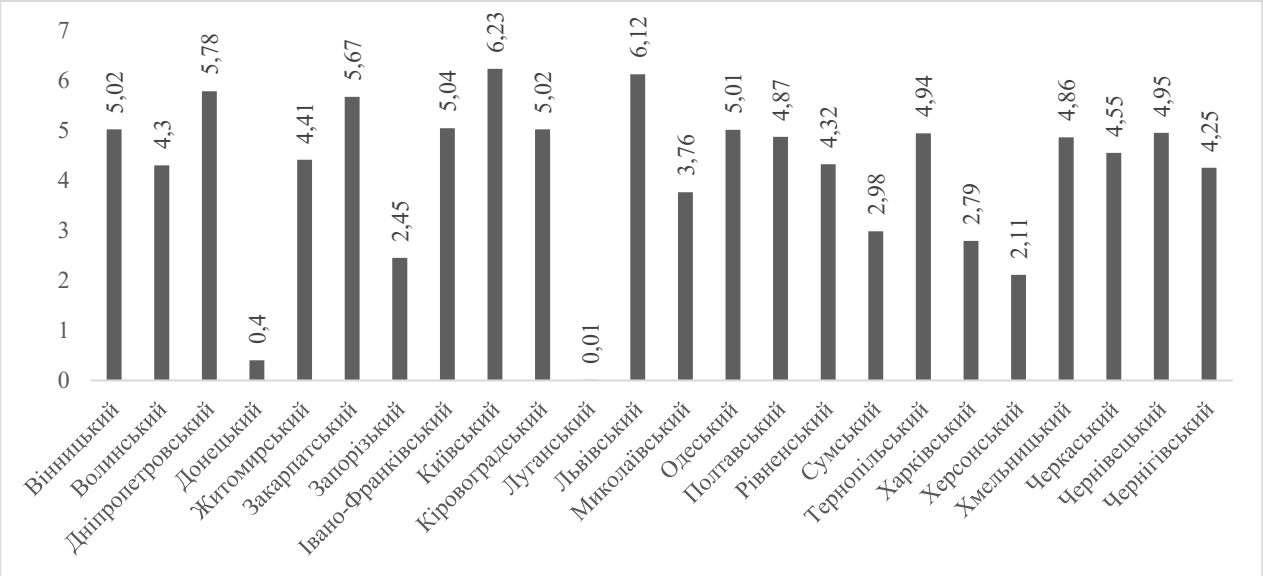


Рисунок 7 – Результати оцінки інтегрального показника оцінки рівня ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Figure 7 – The results of an integral assessment of the level of efficiency of land use of regions, units

Таблиця 1 – Результати математичного моделювання впливу чинників ефективності використання земель регіонів, відн. од.

Table 1 – Results of mathematical modeling of the impact of the factors of efficiency of land use of regions, units

Математична модель	R^2
$y = 4{,}256 * x_1 + 0{,}11$	0,943
$y = 5{,}903 * x_2 + 1{,}03$	0,863
$y = 4{,}377 * x_3 + 0{,}39$	0,892
$y = 4{,}347 * x_4 + 0{,}21$	0,911
$y = 5{,}639 * x_5 + 1{,}07$	0,862
$y = 4{,}874 * x_6 + 2{,}65$	0,321

y – інтегральний показник рівня використання земель регіонів, відн. од.; x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 - функціональні, економічні, просторові, екологічні, інвестиційні, стейкхолдерні чинники, відн. од.; R^2 – коефіцієнт детермінації, відн. од.

Критерії адекватності математичних моделей (F, t – критерії, критерії перевірки на гомо або гетероскедастичність, критерій Дарбіна-Уотсона) свідчать про повноту та достовірність встановлених зв'язків між чинниками рівнями ефективності використання земель регіонів.

Висновки. Таким чином, у результаті дослідження визначені чинники та інтегральний показник рівня ефективності використання земель регіонів. У більшості регіонів відбувається посередній рівень ефективності використання земель. Встановлено, що зниження ефективності використання земель відбувається у регіонах, де відбуваються бойові дії або окупація територій, або у прифронтових областях. Доведено високий рівень впливу функціональних, економічних, просторових, екологічних, інвестиційних чинників на інтегральний показник. Знижується значення стейкхолдерних показників у системі землекористування. Отже, сформована кількісна основа для прийняття рішень щодо забезпечення ефективності використання земель на регіональному рівні.

Перелік посилань

1. Семенова І. Ю. Математичні моделі МСС: навчальний підручник. Київ, 2014. 82 с.
2. Niss M., Blum W., Galbraith P. Introduction. Modelling and Applications in Mathematics Education. New ICMI Study Series, 2007. vol 10. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1_1
3. Станжицький О. М., Таран Є. Ю., Гординський Л. Д. Основи математичного моделювання. Київський університет, 2006. 96 с.
4. Blum W. Anwendungsbezüge im Mathematik-unterricht –Trends und Perspektiven. Trends und Perspektiven. Schriftenreihe Didaktik der Mathematik. 1996. № (23). Pp. 15–38.
5. Borromeo Ferri R. On the influence of mathematical thinking styles on learners' modelling behavior. Journal für Mathematik-Didaktik, 2010. № 31(1). Pp. 86–95.
6. Kutluca T., Kaya D. Mathematical modelling: A retrospective overview. Journal of Computer and Education Research, 2023. №11 (21). Pp. 240-274. https://doi.org/10.18009/jcer.1242785
7. Maaß K. What are modelling competencies? ZDM, 2006. № 38(2). Pp. 113–142.
8. Кваско М. З., Ладієва Л. Р., Піргач М. С. Математичне моделювання та ідентифікація одно- і багатовимірних систем: навч. посіб. К.: НТУУ «КПІ», 2006, 308 с.
9. Жученко А. І., Ладієва Л. Р., Піргач М. С., Жураковський Я. Ю. Математичне моделювання процесів і систем: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 351 с.
10. Burrows C. R. Fluid power – progress in a key technology. JSME International Journal, Series B, 1994. 701 p.
11. Матвійчук В. А., Веселовська Н. Р., Шаргородський С. А. Математичне моделювання новітніх технологічних систем: Монографія. Вінниця, 2021. 193 с.
12. Головачов В. В. Математичне моделювання регіонального розвитку. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2022. № 202. С. 48 – 61. URL: http://csw.kart.edu.ua/article/view/273621
13. Канівець О. М., Мамонов К. А., Лю Чан. Розробка методу інтегральної оцінки використання земель об'єднаних територіальних громад. Комунальне господарство міст. Серія: Інженерні науки і архітектура. 2022. Том 4. Вип. 171. С. 87–91.
14. Канівець О. М. Формування моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад: дис.. канд. техн. наук. Харків, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2023. 243 с. URL: https://eprints.kname.edu.ua/63882/1/Дисертація%20Канівець%20О.М.pdf
15. Штерндок Е. С. Моделювання впливу просторових факторів на оцінку та використання земель мегаполісу: дис…канд. техн. наук: 05.24.04. Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2017. 246 с.
16. Мамонов К. А., Метешкін К. О., Гой В. В., В'яткін Р. С. Математичне моделювання чинників, що впливають на функціонування складних систем територіального розвитку використання земель регіонів. Комунальне господарство міст. Серія: Інженерні науки і архітектура. 2024. Том 6. Вип. 187. С. 180–184. URL: https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6404/632
17. Мамонов К. А., Пілічева М. О., Фролов В. О., В'яткін Р. С., Войтенко О. Р. Математичне моделювання показників геопросторового розвитку територіальних громад. Український журнал прикладної економіки та техніки. 2024. Том 9. № 3. С. 287–292. DOI: https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-3-50
18. Mamonov K., Holovachov V., Horb O., Palamar A. Integrated Method for Assessing Information Support of Real Estate Cadastre at Regional Level. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024», Oct 2024, Volume 2024, p. 1–5. URL: https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2024510086
19. Mamonov K., Velychko V., Holovachov V., Kovalenko L. Theoretical and methodological provisions regarding the development and implementation of an integral method for assessing the level of information support of the multipurpose real estate cadastre at the regional level. Ukrainian Metrological Journal. 2023. № 2. Pp. 40–51.

MATHEMATICAL MODELING OF FACTORS OF EFFICIENCY OF LAND USE OF REGIONS

Shterndok Ernest, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: shterndok@ukr.net, tel. +380934289234, https://orcid.org/0000-0003-1107-7401

Mamonov Kostiantyn, Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: kostia.mamonov2017@gmail.com, tel. +380992917354, http://orcid.org/0000-0002-0797-2609

Goi Vasyl, PhD (Candidate of Economic Science), Doctoral Candidate at the Department of Economics and Marketing, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine, e-mail: vasssgoi@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-1822-4478

Radzinska Yuliia, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: radzinskayayb@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1661-7975

Summary. It is proved that the formation of a modern system of land relations is aimed at increasing the efficiency of land use at the regional level. The process of land use is influenced by the set of factors: functional, economic, spatial, environmental, investment, stakeholder. In this context, the formation of a quantitative basis for decision -making is important through the use of mathematical modeling tools, which includes a set of directions, methods and models. In the process of mathematical modeling, the factors of efficiency of land use of regions are evaluated and determining the integral indicator.

Generalized and systematized theoretical approaches to the definition and use of mathematical modeling in the land use system, which gave to create conditions for the development of a corresponding theoretical and methodological basis and areas of implementation.

The goal has been achieved to identify the practical aspects of mathematical modeling of factors of efficiency of land use of regions. To achieve this goal, the tasks are solved: assessed factors of efactivity of land use of regions; The integral indicator of the level of efficiency of land use of regions is determined; The directions of mathematical modeling of factors of efficiency of land use of regions are proposed.Proposed directions of mathematical modeling of factors of efficiency of land use of regions: formation of information and analytical construction of the level of efficiency of land use of region; assessment of factors of the level of efficiency of land use; determining the integral indicator of the level of efficiency of land use of regions; development of mathematical models of influence of factors on the integral indicator; determination of criteria for adequacy of mathematical models; Interpretation of the results.

As a result of the study, the factors and integral indicator of the level of efficiency of land use of the regions are determined. In most regions, there is a mediocre level of land use efficiency. It is established that the efficiency of land use occurs in the regions where hostilities or occupation of territories or in the frontal areas. A high level of influence of functional, economic, spatial, environmental, investment factors on an integral indicator has been proven. The value of stakehold indicators in the land use system is reduced. Therefore, a quantitative basis for making decisions to ensure the efficiency of land use at the regional level.

Keywords: efficiency, land use, regions, valuation, land relations, mathematical modeling, factors.

References

1. Semenova, I. Yu. (2014) Mathematical models of MSC: a textbook. Kyiv, 82 p.
2. Niss, M., Blum, W., Galbraith, P. (2007) Introduction. Modelling and Applications in Mathematics Education. New ICMI Study Series, Vol. 10. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1_1
3. Stanzhitsky, O. M., Taran, E. Yu., Gordynsky, L. D. (2006) Fundamentals of mathematical modeling. Kyiv University, 96 p.

4. Blum, W. (1996) Anwendungsbezüge im Mathematik-unterricht –Trends und Perspektiven. Trends und Perspektiven. Schriftenreihe Didaktik der Mathematik. № (23). Pp. 15 –38.
5. Borromeo, Ferri R. (2010) On the influence of mathematical thinking styles on learners' modelling behavior. Journal für Mathematik-Didaktik. № 31(1). Pp. 86–95.
6. Kutluca, T., Kaya, D. (2023) Mathematical modelling: A retrospective overview. Journal of Computer and Education Research. №11 (21). Pp. 240-274. https://doi.org/10.18009/jcer.1242785
7. Maaß, K. (2006) What are modelling competencies? ZDM. № 38(2). Pp. 113–142.
8. Kvasko, M. Z., Ladiyeva, L. R., Pirgach, M. S. (2006) Mathematical modeling and identification of one- and multidimensional systems: textbook a manual. K.: NTUU «KPI», 308 p.
9. Zhuchenko, A. I., Ladiyeva, L. R., Pirgach, M. S., Zhurakovsky, Ya. Yu. (2021) Mathematical modeling of processes and systems: textbook. a manual. Kyiv: KPI them. Igor Sikorsky, 351 p.
10. Burrows, C. R. (1994) Fluid power – progress in a key technology. JSME International Journal, Series B, 701 p.
11. Matviychuk, V. A., Veselovskaya, N. R., Shargorod, S. A. (2021) Mathematical modeling of the latest technological systems: monograph. Vinnitsa, 193 p.
12. Golovachev, V. V. (2022) Mathematical modeling of regional development. Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport. № 202. pp. 48–61. http://csw.kart.edu.ua/article/view/273621 [in Ukrainian].
13. Kanivets, O. M., Mamonov, K. A., Liu, Chan (2022) Development of the method of integral evaluation of land use of united territorial communities. Communal management of cities. Series: Engineering Sciences and Architecture. Volume 4. Iss. 171. P. 87–91.
14. Kanivets, O. M. (2023) Formation of monitoring the use of land of united territorial communities: dis. Techn. Sciences. Kharkiv, Kharkiv National University of Urban Economy named after OM Beketov, 243 p. https://eprints.kname.edu.ua/63882/1/Дисертація%20Канівець%20О.М.pdf [in Ukrainian].
15. Sterndok, E. S. (2017) Modeling the influence of spatial factors on the valuation and use of the land of the metropolis: disk… Cand. Techn. Sciences: 05.24.04. Kharkiv: OM Beketov Kharkiv National University of City Economy, 246 p.
16. Mamonov, K. A., Meteshkin, K. O., Goi, V. V., Viatkin, R. S. (2024) Mathematical modeling of factors that influence the functioning of complex systems of territorial development of land use of regions. Communal management of cities. Series: Engineering Sciences and Architecture. Volume 6. Iss. 187. P. 180-184. https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6404/632 [in Ukrainian].
17. Mamonov, K. A., Pilicheva, M. A., Frolov, V. O., Viatkin, R. S., Voitenko, O. R. (2024) Mathematical modeling of indicators of geospatial development of territorial communities. Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology. Volume 9. № 3. P. 287–292. https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-3-50 [in Ukrainian].
18. Mamonov, K., Holovachov, V., Horb, O., Palamar, A. (2024) Integrated Method for Assessing Information Support of Real Estate Cadastre at Regional Level. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024», Volume 2024, p. 1–5. https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2024510086 [in Ukrainian].
19. Mamonov, K., Velychko, V., Holovachov, V., Kovalenko, L. (2023) Theoretical and methodological provisions regarding the development and implementation of an integral method for assessing the level of information support of the multipurpose real estate cadastre at the regional level. Ukrainian Metrological Journal. № 2. Pp. 40–51.

УДК 625.7/.8 **DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-166-170**
UDC 625.7/.8

АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ РІЗНИХ ТИПІВ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ШВІВ НА МОСТОВИХ СПОРУДАХ: КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРЕВАГИ

ANALYSIS AND COMPARISON OF DIFFERENT TYPES OF EXPANSION JOINTS ON BRIDGE STRUCTURES: DESIGN FEATURES AND ADVANTAGES



Виноградов Владислав Олегович, *аспірант, кафедра «Мости, тунелі і гідротехнічні споруди» Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: vynogradov_v@ukr.net , тел.067-829-26-87*

https://orcid.org/0009-0006-8358-4962

Анотація: Мости, як важливі інфраструктурні об'єкти, піддаються постійному впливу різноманітних факторів: навантажень, температурних коливань, механічних деформацій та агресивного впливу навколишнього середовища. Всі ці фактори спричиняють зміщення окремих частин конструкції, що вимагає наявності спеціальних елементів для компенсації таких деформацій. Одним з таких елементів є деформаційні шви. Серед різноманітних типів деформаційних швів на мостах, щебенево-мастичні шви займають важливе місце завдяки своїй ефективності, довговічності та здатності адаптуватися до різних умов експлуатації.

Ключові слова: щебенево-мастичні шви, деформаційні шви, мости, мастика, компенсація деформацій, мостові конструкції.

Вступ.

Мости є одними з найбільш важливих і складних інфраструктурних об'єктів, що забезпечують транспортне сполучення та функціонування міських і міжміських мереж. Вони піддаються численним фізичним та механічним впливам, зокрема різноманітним навантаженням від транспортних засобів, температурним коливанням, вібраціям і природним явищам, таким як вітри, дощі або снігопади. Ці фактори можуть призвести до значних деформацій конструкцій, що вимагає застосування спеціальних технічних рішень для забезпечення безпечної експлуатації мостів.

Одним з таких рішень є деформаційні шви, які є невід'ємною частиною конструкції мостових споруд. Вони призначені для компенсації рухів окремих елементів мосту, спричинених зміною температури, механічними навантаженнями чи іншими факторами. Завдяки деформаційним швам мости здатні зберігати свою цілісність, зменшуючи ризик тріщин, розривів або інших пошкоджень конструкцій.

Деформаційні шви не тільки виконують функцію компенсації деформацій, але й мають важливе значення для герметизації мостових конструкцій. Вони запобігають проникненню води, бруду, агресивних хімічних речовин, що може призвести до корозії металевих елементів або руйнування бетонних частин моста. Крім того, шви забезпечують поглинання вібрацій і зниження шуму, що сприяє підвищенню комфорту для водіїв та пішоходів.

Вибір відповідних матеріалів і технологій для виготовлення та монтажу деформаційних швів є важливим завданням для інженерів і проектувальників. Одним з таких інноваційних рішень є

щебенево-мастичні деформаційні шви, які поєднують у собі міцність і гнучкість, забезпечуючи надійний захист від впливу навколишнього середовища. У даній статті розглянуто основні характеристики щебенево-мастичних швів, їх функціональні можливості, переваги та виклики, з якими можна зіткнутися при їх використанні, а також сучасні підходи до проєктування та експлуатації таких швів на мостах.

Матеріали та методи. У статті використано комбінацію теоретичних та експериментальних підходів для дослідження деформаційних швів на мостах, зокрема щебенево-мастичних швів. Було проведено огляд конструктивних особливостей щебенево-мастичних швів, включаючи геометрію швів, вибір матеріалів для мастики та щебеневої основи, а також технології їх виготовлення та монтажу. Використовувався порівняльний аналіз з іншими типами деформаційних швів, такими як гумово-бітумні та металеві шви.

Метою роботи є проведення порівняльного аналізу конструктивних властивостей деформаційних швів різних типів деформаційних швів, які влаштовують на мостах.

Виклад основного матеріалу.

Деформаційні шви мостів відіграють важливу роль у збереженні структурної цілісності та довговічності транспортної інфраструктури [1].

Деформаційні шви мостів є критично важливими елементами інфраструктури, проте вони стикаються з низкою проблем, які можуть значно вплинути на їх ефективність [2]. Однією з основних труднощів є передчасний знос і руйнування швів, що часто спричиняється впливом агресивних умов навколишнього середовища, таких як різкі перепади температур, інтенсивні опади та наявність корозійних агентів [3,4]. Крім того, недостатньо ефективні системи герметизації та водовідведення можуть сприяти накопиченню води та сміття в деформаційних швах, що значно прискорює процес їх деградації і ставить під загрозу безпеку мостових конструкцій [5].

На даний час основні вимоги щодо влаштування конструкцій деформаційних швів встановлено відповідно до діючих нормативних документів [6,7], які передбачають що проєктний термін служби таких конструкцій повинен становити не менше 20 років та забезпечувати плавний проїзд автомобільного транспорту по мосту.

Відповідно до класифікації прийнятої в [7] розрізняють наступні конструкції деформаційних швів на мостових спорудах:

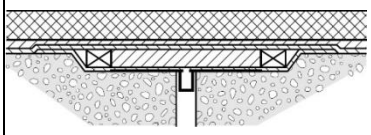
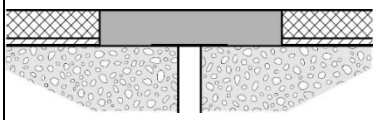
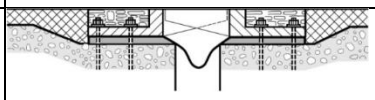
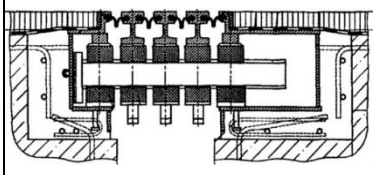
- деформаційні шви закритого типу;
- щебенево-мастикові деформаційні шви;
- деформаційні шви. що заповнюються;
- деформаційні шви, що перекриваються;
- деформаційні шви з еластомерним компенсатором.

Для проведення порівняльного аналізу деформаційних швів, які влаштовуються на мостових спорудах, під час їх реконструкції та капітального ремонту було розгляну їх основні технічні характеристики та існуючих досвід експлуатації таких швів. Основні переваги та недоліки різних типів деформаційних швів, зокрема щебенево – мастикових наведено в таблиці.1.

За результатами проведеного аналізу різних типів деформаційних швів, встановлено їх основі переваги безпосередньо під час експлуатації, а саме:

- деформаційні шви закритого типу, зокрема щебенево – мастикові забезпечують високу герметичність шва, так як передбачають влаштування гідроізоляційних шарів, висока міцність основних робочих елементів, що сприймають розтягувальні навантаження.
- деформаційні шви перекривного типу мають високу жорсткість та міцність основних робочих елементів шва, а також такі шви здатні витримувати високі механічні навантаження.

Таблиця 1 – Аналіз різних типів деформаційних швів, які влаштовують на мостових спорудах
Table 1 – Analysis of different types of expansion joints used in bridge structures

Тип деформаційного шва	Схема влаштування деформаційного шва	переваги та недолікі конструкції деформаційного шва
Деформаційний шов закритого типу		Міцність основних матеріалів, які застосовуються для влаштування даного типу деформаційного шва до впливу основних навантажень, зокрема до розтягуючих і стиснених напружень, які виникають через температурні коливання прогонових конструкцій. Проте, такі деформаційні щви є недостатньо герметичні , внаслідок цього в несних залізобетонних елементахмоста швидко знижується міцність через накопичення вологи
Щебенево – мастикові деформаційні шви		Міцність основних матеріалів, які застосовуються для влаштування даного типу деформаційного шва до впливу основних навантажень, зокрема до розтягуючих і стиснених напружень, які виникають через температурні коливання прогонових конструкцій. Додатковий компенсатор сприяє стіканню води та запобігає утриманню вологи (герметичність)
Деформаційні шви, що перекриваються гребінчастими плитами		Забезпечення міцності на основні проєктні навантаження. Основним недоліком, таких деформаційних швів є короткочасна спільна робота конструктивних елементів шва (гребінчастих плит), що в свою чергу зменшує стійкість до динамічного навантаження від автомобільного транспорту. Окрім цього, у разі порушення цілісності конструкцій деформаційних швів, зокрема гребінчастих плит можливе зменшення надійності конструкцій мосту, розташованих в їх зоні. А також такі шви мають надмірний шум при їх проїзді.
Модульний деформаційний шов		Міцність основних матеріалів, які застосовуються для влаштування даного типу деформаційного шва до впливу основних навантажень, зокрема до розтягуючих і стиснених напружень, які виникають через температурні коливання прогонових конструкцій. Відсутність надмірного шуму та віюраційних навантажень.

Висновки. У результаті проведеного аналізу різних типів деформаційних швів на мостах, можна зробити кілька важливих висновків. Так кожен тип шва має свої конструктивні особливості та переваги, що дозволяють ефективно вирішувати проблеми герметичності, міцності та довговічності мостових споруд.

Деформаційні шви закритого типу забезпечують високу герметичність і підвищену міцність завдяки застосуванню додаткових елементів, таких як гідроізоляційні шари, що суттєво покращують захист від впливу вологи.

Деформаційні шви перекритого типу мають підвищену жорсткість та міцність, що дозволяє зберігати їх функціональність під великими навантаженнями та в умовах постійних температурних коливань.

Усі зазначені типи деформаційних швів мають важливе значення для забезпечення надійної і довговічної експлуатації мостових конструкцій, а їх використання має бути вибрано з урахуванням специфіки кожного окремого об'єкта. Тому вибір оптимального типу деформаційного шва є ключовим фактором для покращення ефективності та безпеки мостових споруд.

Перелік посилань

1. Jiang, T.; Zhang, Y.; Wang, L.; Zhang, L.; Song, G. Monitoring Fatigue Damage of Modular Bridge Expansion Joints Using Piezoceramic Transducers. *Sensors* 2018, *18*, 3973.
2. Li, J.; Wen, F.; Chen, J.; Yang, C.; Du, W.; Xu, L.; Li, P. Experimental Study of Bridge Expansion Joint Damage Based on Natural Frequency. *Sensors* 2023, *23*, 6437.
3. Zhang, X.; Cheng, Z.; Du, L.; Du, Y. Progressive Classifier Mechanism for Bridge Expansion Joint Health Status Monitoring System Based on Acoustic Sensors. *Sensors* 2023, *23*, 5090.
4. Li, Y.; Lu, P.; Liu, C.; Ren, W.; Wen, J. Fatigue Life of a Comb Plate Expansion Joint. *Machines* 2023, *11*, 494.
5. Kong, F.; Xu, F.; Xiong, Q.; Xu, S.; Li, X.; Fu, W.; Guo, Z. Experimental Research on Properties of UHPC Based on Composite Cementitious Materials System. *Coatings* 2022, *12*, 1219.
6. ДБН В.2.3-22:2009 "Мости та труби. Основні вимоги проектування".
7. СОУ 42.1-37641918-111:2014 Споруди транспорту. Деформаційні шви автодорожніх мостів. Вимоги до вибору та влаштування.

ANALYSIS AND COMPARISON OF DIFFERENT TYPES OF EXPANSION JOINTS ON BRIDGE STRUCTURES: DESIGN FEATURES AND ADVANTAGES

Vladyslav Vynogradov O., PhD student, Department of Bridges and Tunnels National transport university, e-mail: *vynogradov_v@ukr.net*, *+38067-829-26-87,* https://orcid.org/0009-0006-8358-4962

Summary. Bridges, as important infrastructure facilities, are constantly exposed to a variety of factors: loads, temperature fluctuations, mechanical deformations, and aggressive environmental influences. All these factors cause displacement of certain parts of the structure, which requires special elements to compensate for such deformations. One of these elements is expansion joints. Among the various types of expansion joints on bridges, crushed stone mastic joints occupy an important place due to their efficiency, durability and ability to adapt to various operating conditions

Keywords: rubble-mastic joints, expansion joints, bridges, mastic, deformation compensation, bridge structures.

References

1. Jiang, T.; Zhang, Y.; Wang, L.; Zhang, L.; Song, G. Monitoring Fatigue Damage of Modular Bridge Expansion Joints Using Piezoceramic Transducers. *Sensors* **2018**, *18*, 3973.
2. Li, J.; Wen, F.; Chen, J.; Yang, C.; Du, W.; Xu, L.; Li, P. Experimental Study of Bridge Expansion Joint Damage Based on Natural Frequency. *Sensors* **2023**, *23*, 6437.
3. Zhang, X.; Cheng, Z.; Du, L.; Du, Y. Progressive Classifier Mechanism for Bridge Expansion Joint Health Status Monitoring System Based on Acoustic Sensors. *Sensors* **2023**, *23*, 5090.
4. Li, Y.; Lu, P.; Liu, C.; Ren, W.; Wen, J. Fatigue Life of a Comb Plate Expansion Joint. *Machines* **2023**, *11*, 494.
5. Kong, F.; Xu, F.; Xiong, Q.; Xu, S.; Li, X.; Fu, W.; Guo, Z. Experimental Research on Properties of UHPC Based on Composite Cementitious Materials System. *Coatings* **2022**, *12*, 1219.
6. DBN B.2.3-22:2009 “Bridges and pipes. Basic design requirements”.
7. DSTU 42.1-37641918-111:2014 “Transport facilities. Deformation joints of road bridges. Requirements for selection and installation.

УДК 629.113/.115; 534.836.2; 534.286; 534.322.3.699.84 DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-171-177
UDC 629.113/.115; 534.836.2; 534.286; 534.322.3.699.84

ЗВУКОПОГЛИНАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ЯК ЗАХИСТ ВІД ТРАНСПОРТНОГО ШУМУ

SOUND ABSORBING COMPLEX AS PROTECTION AGAINST TRANSPORT NOISE



Федоров Володимир Вікторович, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, Національний транспортний університету, Київ, Україна,*
e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com,

https://orcid.org/0000-0002-1085-5112



Корпач Олексій Анатолійович, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, Національний транспортний університету, Київ, Україна,*
e-mail: korpach1988@gmail.com,

https://orcid.org/0000-0002-2496-4395



Яценко Дмитро Миколайович, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, Національний транспортний університету, Київ, Україна,*
e-mail: y_d@ukr.net,

https://orcid.org/0000-0003-3674-0089



Босенко Володимир Миколайович, *кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів, Національний транспортний університету, Київ, Україна,*
e-mail: bosia4ok@ukr.net,

https://orcid.org/0000-0002-9654-949X

Анотація. Проблема шумового забруднення довкілля є вкрай актуальною. Шум за походженням (джерела шуму) буває побутовим, промисловим та транспортним. Джерелами побутового шуму можуть бути акустичні колонки, пилососи, перфоратори тощо. Джерелами промислового шуму можуть бути верстати різних типів, що працюють на заводах, залізничні потяги,

що курсують між цехами підприємства, тощо. Транспортний шум створюють наземний, залізничний, повітряний, водний види транспорту. Одним з найбільш поширеніших видів транспортного шуму є автомобільний. З шумом автомобілів борються різними шляхами, головним з яких є вимогою до виробників автомобілів створювати останніх у відповідності до норм по шуму. Шум, який створюють автомобілі при русі на дорогах, автомагістралях називають транспортним. У такому випадку автомобілі розглядаються не як одиночні об'єкти, а як сукупність, що складається з різних видів автомобілів, які в свою чергу рухаються з різними швидкостями. Як показала світова практика ефективним методом захисту мешканців при магістральних територій є застосування шумозахисних споруд (ШЗС). ШЗС бувають різних типів за будовою та конструктивними особливостями. До них висувають ряд вимог, вони повинні: займати, по можливості, меншу ширину смуги відведення; не сприяти снігозаносну земляного полотна автомобільних доріг; бути транспортабельними, простими при їх зведенні, монтажі та експлуатації, допускати швидку заміну пошкоджених секцій і стійок; відповідати естетичним вимогам, вдало вписуватися в ландшафт і не перешкоджати огляду навколишнього ландшафту тими, хто їде. Тонкі ШЗС прийнято називати акустичними екранами. Акустичні екрани, враховуючи дефіцит простору біля автомобільних трас, набули широкої популярності. Ці екрани повинні відповідати ряду вимог: бути акустично ефективними, стійкими до впливу на них атмосферних опадів, сонячної радіації, а також вітрового навантаження. Виконання останньої вимоги зобов'язує робити більш об'ємний, а значить і дорожчий, фундамент. У даній роботі пропонується вирішення згаданої проблеми: зменшити парусність (протистояння вітровому навантаженню). При цьому акустична ефективність (звукопоглинальні та звукоізоляційні властивості) не зменшуються.

Ключові слова: шумове забруднення, транспортний шум, автомобілі, автомобільні траси, шумозахисні споруди, акустичні екрани, звукопоглинальні властивості, парусність.

Вступ. Акустичний шум (шумове забруднення), як правило, шкідливий для здоров'я людини. Основними видами (за джерелами походження) шуму є побутовий, промисловий та транспортний. Свою увагу ми зупинимо на транспортному, точніше автомобільному, виду шуму. У даному разі джерелом шуму є не окремо взятий автомобіль, як їх певна кількість, потік. Цей вид шуму дошкуляє перш за все мешканцям будинків, що розташовані поруч із автомобільними трасами. Одним із видів боротьби з таким видом шуму – застосування шумозахисних споруд (ШЗС). Досить часто застосовують тонкі ШЗС – акустичні екрани (рис. 1). Ефективність останніх залежить від їх геометричних розмірів (висота, протяжність), матеріалу, з якого виготовлені, а також від певних конструктивних особливостей. Також є така характеристика екранів як парусність – здатність протистояти вітровому навантаженню. У даній роботі наведено рішення, яке значно зменшить дану проблему існуючих акустичних екранів.

Метою роботи є удосконалення існуючого акустичного екрану, а саме зниження парусності останього при збереженні його акустичних властивостей.

Виклад основного матеріалу. Нагадаємо, що у ШЗС застосовують звукоізоляційні та звукопоглинальні матеріали. Звукоізоляційні матеріали мають недолік, який полягає в тому, що, захищаючи один об'єкт від шуму, вони відбивають звукові хвилі на інший об'єкт. Звукопоглинальні ж матеріали шум поглинають, тобто знищують. Тому перевагу необхідно надавати звукопоглинальним матеріалам.

В [1] описана звукопоглинальна плита, яка складається з кількох пар «основа, наприклад металічний лист, – звукопоглинальний матеріал, наприклад скло», повернутих до центру плити основою, а назовні плити – звукопоглинальним матеріалом. Базовий варіант може бути спрощений застосуванням однієї спільної основи для звукопоглинального матеріалу з обох її сторін. Внутрішня поверхня звукопоглинальних матеріалів виконана неплоскою, наприклад хвилястою.

Для збільшення акустичних властивостей (звукопоглинання і звукоізоляції) між парами «основа – звукопоглинальний матеріал» з протилежним розміщенням у них основи і звукопоглинального матеріалу (останній ззовні) розміщений центральний елемент підвищеної

товщини і звукопоглинання. Таке розміщення високоакустичного матеріалу захищає його від негативного впливу зовнішніх факторів. В той же час як матеріал повинен бути і високоакустичним і стійким.



Рисунок 1 – Шумозахисні екрани (Житомирська обл.)
Figure 1 – Noise protection screens (Zhytomyr region)

Недоліком звукопоглинальної плити згідно [1] є великий аеродинамічний опір, який значно ускладнює використання останньої на відкритій місцевості.

Нашою метою було створення такого акустичного екрану, який мав би високу акустичну ефективність та низький аеродинамічний опір.

Поставлена мета досягається тим, що запропонований акустичний екран містить набір поверхонь, кожна з яких утворюється набором звукопоглинальних пластин певної форми, що розташовані одна відносно одної з певним кроком по вертикалі та по горизонталі. Поверхні розміщуються одна відносно іншої паралельно та таким чином, що взаємна проекція будь-якої пари поверхонь утворює суцільну поверхню. Таке розміщення поверхонь одна відносно одної дозволяє повітряним масам (вітру) на відкритій місцевості проходити через звукопоглинальний комплекс, тобто його парусність значно менша у порівнянні з суцільною конструкцією такої ж площі.

Суть нашої розробки [2] пояснюється кресленнями, де: на рис. 2 наведено запропонований звукопоглинальний комплекс (ЗПК); на рис. 3 – вид збоку звукопоглинального комплексу на рис. 2 у розрізі; на рис. 4 – виноска А на рис. 3; на рис. 5 – звукопоглинальна пластина.

ЗПК складається з набору звукопоглинальних пластин *1* (рис. 2) та опори *2*, за допомогою якої ЗПК кріпиться на опорній поверхні. Причому звукопоглинальні пластини *1* (рис. 3), що розміщуються на опорі *2*, за допомогою скріплювальних елементів *3* утворюють поверхні *I*, *II*, *III* і т.д. Таких поверхонь у ЗПК може бути дві або більше. Звукопоглинальні поверхні розміщуються одна відносно іншої паралельно та таким чином, що взаємна проекція будь-якої пари поверхонь утворює суцільну поверхню.

Повітряні потоки (вітер) *4* падають на поверхню ЗПК (рис. 4), проходять через нього та виходять на протилежний бік у вигляді ледь ослаблених повітряних потоків *5*. Одночасно з тієї ж сторони або протилежної сторони рухаються звукові хвилі *6* (наприклад, шум від транспортних потоків). Звукові хвилі *6* проходять через отвори, що утворені за допомогою скріплювальних елементів

3, падають на звукопоглинальні пластини *1*, частково поглинаються останніми, відбиваються від них мінімум один раз, та виходять із ЗПК значно ослабленими звуковими хвилями *7*.

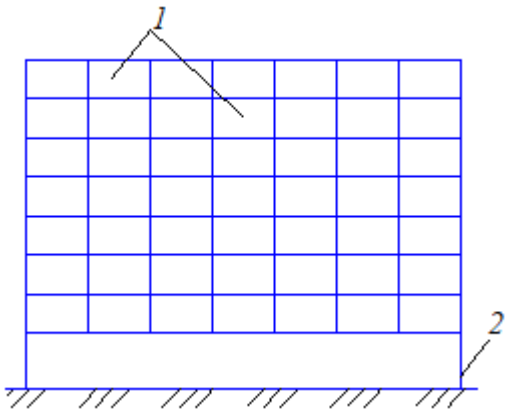


Рисунок 2 – Звукопоглинальний комплекс:
1 – звукопоглинальні пластини; 2 – опори

Figure 2 – Sound absorbing complex:
1 – sound-absorbing plates; 2 - supports

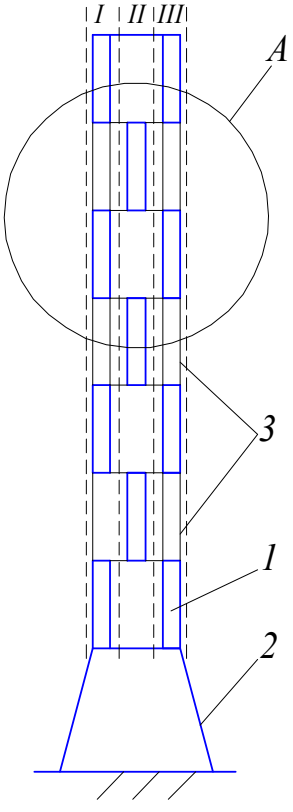


Рисунок 3 – Звукопоглинальний комплекс (вид збоку рис. 2)

Figure 3 – Sound absorbing complex side (view fig. 2)

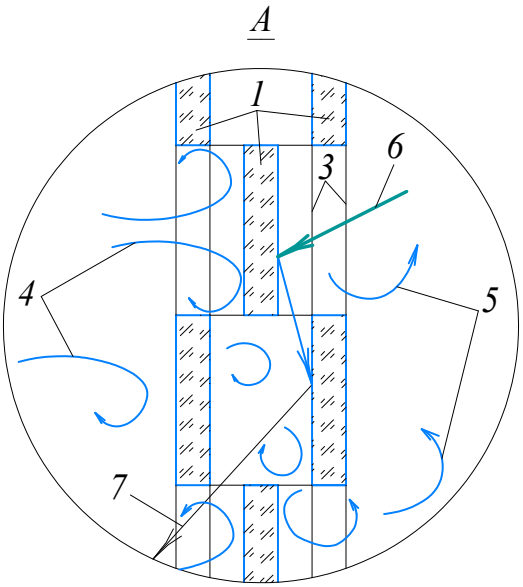


Рисунок 4 – Звукопоглинальний комплекс (виноска А на рис. 3):
1 – звукопоглинальні пластини; 3 – скріплювальні елементи; 4 – повітряні потоки; 5 – ослаблені повітряні потоки; 6 – звукові хвилі; 7 – ослаблені звукові хвилі

Figure 4 – Sound absorbing complex side (footnote A in fig. 3):
1 – sound-absorbing plates; 3 – fastening elements; 4 – air currents; 5 – weakened air flows; 6 – sound waves; 7 – attenuated sound waves

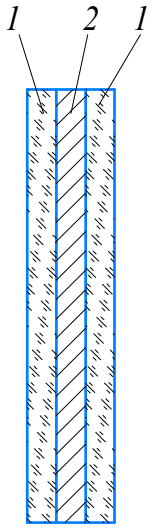


Рисунок 5 – Звукопоглинальна пластина:
1 – звукопоглинальний матеріал; 2 – жорстка основа

Figure 5 – Sound absorbing plate:
1 – sound-absorbing material; 2 – rigid base

Кількість звукопоглинальних поверхонь визначається теоретично-практичним способом за критерієм оптимальності: акустична ефективність/аеродинамічний опір.

Звукопоглинальні пластини можуть бути виконані у вигляді конструкції, що має всередині жорстку основу *2* (рис. 5), а ззовні покрита звукопоглинальним матеріалом *1*. Як звукопоглинальний матеріал може бути скло.

Таким чином, запропонований звукопоглинальний комплекс володіє істотною новизною і корисністю: має високу акустична ефективність та малий аеродинамічний опір.

Висновки. Розроблено звукопоглинальний комплекс (акустичний екран), відмінною особливістю є низький аеродинамічний опір, що досягається його специфічними конструктивними особливостями. Звукопоглинальний комплекс складається з набору поверхонь, які розміщені одна відносно одної таким чином, що дозволяють повітряним потокам (вітру) проходити через звукопоглинальний комплекс, при цьому шумозахисні властивості останнього є досить високими. Використання даного акустичного екрану дозволить значно знизити шум транспортних потоків вздовж автомагістралей і тим самим поліпшити життя мешканців сельбищних територій.

Перелік посилань

1. Патент на корисну модель №102013 UA, МПК (2013.01), G10K 11/00, E04B 1/84 (2006.01) E04H 17/00. Звукопоглинаюча плита / В.В. Федоров; Національний транспортний університет. – Заявл. 02.09.2011; Опубл. 27.05.2013; Бюл. № 10.

2. Патент на корисну модель №156245 UA, МПК (2024.01), G10K 11/00, E04B 1/84, E04B 1/82. Звукопоглинальний комплекс / В.В. Федоров, О.А. Корпач, Д.М. Ященко, В.М. Босенко; Національний транспортний університет. – Заявл. 05.09.2023; Опубл. 29.05.2024; Бюл. № 22.

SOUND ABSORBING COMPLEX AS PROTECTION AGAINST TRANSPORT NOISE

Fedorov Volodymyr V., PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, Associate Professor of the Automobile Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com, tel.+380442804252, https://orcid.org/0000-0002-1085-5112.

Korpach Oleksii A., PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, Associate Professor of the Automobile Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: korpach1988@gmail.com, tel.+380442804252, https://orcid.org/0000-0002-2496-4395.

Yashchenko Dmytro M., PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, Associate Professor of the Automobile Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: y_d@ukr.net, tel.+380442804252, https://orcid.org/0000-0003-3674-0089.

Bosenko Volodymyr M., PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor of the Automobile Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: bosia4ok@ukr.net, tel.+380442804252, https://orcid.org/0000-0002-9654-949X.

Abstract. The problem of noise pollution of the environment is extremely urgent. Noise by origin (noise sources) can be domestic, industrial and transport. Sources of household noise can be speakers, vacuum cleaners, perforators, etc. The sources of industrial noise can be machines of various types operating in factories, railway trains running between the workshops of the enterprise, etc. Transport noise is created by ground, rail, air, and water modes of transport. One of the most common types of traffic noise is car noise. Car noise is combated in various ways, the main of which is the requirement for car manufacturers to create the latter in accordance with noise standards. Noise created by cars when moving on roads and highways is called traffic noise. In this case, cars are not considered as single objects, but as a collection consisting of different

types of cars, which in turn move at different speeds. As world practice has shown, the use of noise protection structures (NPS) is an effective method of protecting residents in highway areas. There are different types of NPS in terms of structure and design features. A number of requirements are put forward to them, they must: occupy, if possible, a smaller right-of-way width; not to contribute to snow drifting of road surfaces; be transportable, simple in their construction, installation and operation, allow quick replacement of damaged sections and racks; to meet aesthetic requirements, fit well into the landscape and not obstruct the view of the surrounding landscape by those who drive. Thin NPS are usually called acoustic screens. Acoustic screens, given the lack of space near highways, have gained wide popularity. These screens must meet a number of requirements: be acoustically effective, resistant to the effects of precipitation, solar radiation, and wind load. Fulfillment of the last requirement obliges to make a more voluminous, and therefore more expensive, foundation. In this paper, a solution to the mentioned problem is proposed: to reduce wind resistance (resistance to wind load). At the same time, the acoustic efficiency (sound-absorbing and sound-insulating properties) does not decrease.

Key words: noise pollution, traffic noise, cars, highways, noise protection structures, acoustic screens, sound-absorbing properties, sailing.

References

1. Fedorov, V.V. (2013). Zvukopohlynayucha plyta [Sound-absorbing plate]. Patent No. 102013, bulletin "Industrial Property" No. 10.

2. Fedorov, V.V., Korpach, O.A, Yashchenko, D.M., Bosenko, V.M. (2024). Zvukopohlynayucha plyta [Sound-absorbing plate]. Patent No. 156245, bulletin "Industrial Property" No. 22.

УДК 005.8
UDK 005.8

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-178-195

МОДЕЛІ ЦІННІСНО-ОРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ В ГАЛУЗІ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

MODELS OF VALUE-BASED PROJECT MANAGEMENT IN THE FIELD OF PASSENGER TRANSPORTATION



***Алькема Віктор Григорович**, доктор економічних наук, професор, Університет «КРОК», м. Київ, Україна, alkema@krok.edu.ua*

https://orcid.org/0000-0001-5997-7076



***Іщенко Віталій Анатолійович**, здобувач PhD, Національний транспортний університет, Київ, Україна, avtodas@ukr.net*

https://orcid.org/0009-0003-8690-2581

Анотація. У статті розглянуто проблематику управління проєктами в сфері пасажирських перевезень з урахуванням сучасних тенденцій розвитку транспортної галузі. Визначено основні виклики, з якими стикаються управлінці у процесі реалізації транспортних проєктів, зокрема підвищення рівня надання послуг з перевезення пасажирів.

У цьому контексті ціннісно-орієнтоване управління є концепцією, яка забезпечує баланс між ефективністю, економічною доцільністю та задоволенням а очікувань стейкхолдерів проєкту, а також можливості використання сучасних інформаційних технологій для підвищення ефективності процесів управління.

Оцінка результативності ціннісно-орієнтованого підходу здійснюється через загальну цінність проєкту. Для управління цінністю в проєктах запропоновано застосувати кількісні показників оцінки ефективності, як запланована цінність, фактична вартість, досягнута цінність, зміна вартості, зміни графіку виконання робіт. Додатково автори враховують ціну ризиків, як потенційного негативного впливу зовнішніх та внутрішніх факторів, що можуть змінити хід реалізації проєкту. Така інтеграція зазначених показників забезпечує постійний моніторинг та прогнозування, завдяки чому керівники можуть оперативно реагувати на зміни, оптимізувати управління ресурсами і приймати обґрунтовані рішення. В роботі представлена модель оцінки цінності продукту проєкту, яка враховує ключові характеристики продукту, інноваційність, функціональність, якість послуг та відповідність ринковим

вимогам. Представлені моделі дозволяють оцінити фінансові та нефінансові показники, врахувати фактори, що підвищує конкурентоспроможність організації, забезпечує оперативну реакцію на зміни внутрішнього та зовнішнього середовища і сприяє оптимізації використання ресурсів для досягнення максимального результату.

Ключові слова: управління проєктами, ціннісно-орієнтоване управління, цінність проєкту, стейкхолдери, показники цінності проєкту, концептуальна модель, пасажирські перевезення, ризики.

Постановка проблеми. Сучасний ринок України в галузі пасажирських перевезень вимагає покращення та ефективності роботи з надання транспортних послуг. Проєкти з пасажирських перевезень стають більш складними та масштабними, а зростанням міст ставить завдання забезпечення населення ефективним, доступним та екологічним транспортом, а дослідження в даному напрямі створює можливості для визначення та прийняття стратегічних управлінських рішень в контексті покращення систем пасажирських перевезень.

Велика кількість перевізників не вирішує актуальної задачі з якості надання послуг пасажирських перевезень, хоча ця пріоритетна задача є ключовим аспектом конкурентоспроможності транспортних підприємств, то б то, проблематика пропонованої теми обумовлена тим, що «…сфера пасажирських перевезень, де мобільність і доступність грають важливу роль у повсякденному житті, є невід'ємною складовою сьогодення, а задоволення різноманітних потреб пасажирів потребує високого рівня організації, ефективності та врахування сучасних тенденцій» [1].

За [2] система, яка постачає цінності представлена сукупністю стратегічних видів діяльності, що спрямовані на побудову, підтримку та просування організації. А проєкти, продукти та операційна діяльність є складовими системи постачання цінності.

Виходячи з цього, питання ціннісно-проєктного управління пасажирськими перевезеннями є комплексною задачею і вимагає інтегрованого підходу, який охоплює економічні, соціальні, екологічні та технологічні аспекти. Тому, головним акцентом даного напряму дослідження є визначення та вимірювання цінності, що поєднує кількісні фінансові показники з якісними характеристиками, такими як якість надання послуг, безпека та соціальний вплив.

При цьому необхідно враховувати ще й інтереси багатьох стейкхолдерів (пасажири, перевізники, регулятори, місцеві громади та інші суб'єкти), кожен з яких має свої пріоритети та вимоги. І як наслідок, виникає потреба в збалансуванні інтересів усіх зацікавлених сторін, адже прагнення перевізників до максимізації прибутковості може суперечити вимогам до високої якості обслуговування і безпеки пасажирських перевезень, які встановлюють регуляторні органи. До цього ще додається впровадження сучасних цифрових технологій, систем моніторингу та ІТ-рішень, які вимагають значних інвестицій та певної реорганізації бізнес-процесів, що супроводжується необхідністю адаптації персоналу до нових умов роботи.

Ризики, як один з важелів, що впливають на цінність проєкту, можуть виникати на різних етапах життєвого циклу проєкту та призводять до фінансових втрат, затримок у виконанні завдань, зниження ефективності процесів, виникнення загроз для безпеки, а також негативного впливу на репутацію та довіру з боку стейкхолдерів.

За [3, 4] «… управління проєктами на основі цінності може гарантувати, що проєкт відповідає своїм цілям і забезпечує відчутні переваги для всіх зацікавлених сторін, зміцнюючи довіру та авторитет зацікавлених сторін і веде до майбутніх можливостей для бізнесу та партнерства. Чотири центральні спільноти зацікавлених сторін: команда проекту, інвестори, клієнти/користувачі та керівництво – сприяють створенню цінності та розвитку своїми очікуваннями: кожне значення, яке в будь-якому випадку генерується та протікає через проєкт, як і проєкт є результатом них самих, що є результатом відносин між стейкхолдерами, які інтегрували наявні матеріальні та нематеріальні ресурси для отримання послідовних результатів» [3, 4].

Для ефективної організації процесів управління цінністю проєктів, необхідно застосовувати міжнародні підходи та найкращі практики, що сприяють підвищенню ефективності та стабільності. У цьому контексті Міжнародна організація стандартизації пропонує кілька стандартів, що містять

рекомендації щодо концепцій, відповідальності, інтеграції та процесів для впровадження управління цінністю.

ISO 21508:2018 Earned value management in project and programme management – ДСТУ ISO 21508:2022 Управління здобутою цінністю в управлінні проєктами та програмами – надає настанови щодо практик управління здобутою цінністю в управлінні проєктами та програмами, які можуть бути застосовані для організацій любої галузі, для будь-якого типу проєкту чи програми, незалежно від складності, розміру чи тривалості [5].

ISO 21512:2024 Earned value management implementation guidance – ДСТУ ISO 21512:2024 Управління проєктами, програмами та портфелями – Настанови щодо впровадження управління здобутою цінністю, надає рекомендації щодо впровадження системи управління здобутою цінністю на основі ISO 21508. Стандарт демонструє підхід організацій щодо впровадження та підтримки системи управління здобутою цінністю з метою покращення управління проєктами та програмами [6].

Керівництво P2M є інноваційною методологією, в якій сформована система побудови нових способів мислення та перетворення ідей, що створюють цінність (додану вартість) [7, 8]. Відмічається, що «цінність проєкту визначається вигодою, яку надає продукт проєкту при виконанні вимог, що містяться в місії проєкту» [8].

Таким чином, актуальність теми обумовлена запитом практики – підвищення ефективності управління проєктами в галузі пасажирських перевезень шляхом розробки концептуальної моделі ціннісно-орієнтованого управління проєктами пасажирських перевезень.

Ціннісно-орієнтований підхід до управління проєктами завжди спрямований на забезпечення максимальної вигоди для стейкхолдерів від реалізації проєкту, яка досягається через оптимальне використання ресурсів, досягнення стратегічних цілей та забезпечення якості кінцевих результатів, то б то, успішна реалізація проєкту свідчить про те, що цінність проєкту була створена та реалізована.

В роботах [8, 9] відмічено, що управління цінністю проєкту представляє собою серією процесів, «спрямованих на розроблення та обслуговування вбудованої системи виміру цінності проєкту із застосуванням плану управління часом, специфікаціями проєкту; плану управління вартістю та бюджетом проєкту».

Реалізація ціннісно-орієнтованого управління на підприємстві включає наступні етапи [10]:

– підготовчий;
– аналіз фундаментальної та ринкової вартості підприємства;
– визначення системи ключових факторів створення цінності;
– обґрунтування проєктів для підвищення ефективності бізнесу;
– вибір відповідних інструментів забезпечення формування цінності;
– реалізації;
– моніторингу та коригування завдань, спрямованих на досягнення цінності підприємства [10].

За [11] ефективне управління цінністю проєкту включає наступні ключові характеристики:

– ретельний аналіз та визначення потреб і обсягів проєкту (першим кроком в ефективному управлінні цінністю є чітке чіткому визначенні проєкту та аналізі його обсягу);

– ретельне планування проєкту та подальшої роботи (ефективне планування допомагає гарантувати, що проєкт розробляється з максимальної економічної ефективності без зайвих кроків та марних зусиль);

– визначення ключових сфер можливостей, які можуть вплинути на цінність проєкту (мета проєктної команди полягає в тому, щоб посилити позитивні риси проєкту, зберігаючи при цьому контроль над витратами);

– виявлення альтернативних варіантів або вивчення виявлених можливостей для підвищення цінності проєкту (можуть бути доступні різні шляхи, деякі з яких є економічно ефективними, ніж інші);

– оцінка альтернатив, розробка пропозицій та планів дій (проведення чіткого аналізу компромісів може допомогти створити альтернативні варіанти та обрати найкращі з них для підвищення цінності);

– використання системи моніторингу для відстеження ефективності проєкту (проєктна команда повинна мати засоби для точного моніторингу проєкту, отримання своєчасної та дієвої інформації, а також для того, щоб приймати рішення і робити вибір між альтернативами);

– забезпечити повну комунікацію для ефективного управління цінністю в організації (має переважати міжфункціональне мислення, щоб ідеї, альтернативи та креативні рішення мали якомога ширше поле для застосування) [11].

В роботі [12], автор визначає цінність проєкту, як вигоду, яку представляє продукт проєкту при виконанні вимог місії проєкту. «Цінність, включно з кінцевими результатами … є остаточним показником успіху та рушійною силою проєкту» [2].

Відповідно до стандарту P2M [9] виділяють три групи процесів управління цінністю: створення, оцінка та захоплення цінності (передача та забезпечення стійкості цінності). В загальному вигляді, управління цінністю проєктів галузі пасажирських перевезень, можна представити у вигляді рис. 1 [13].

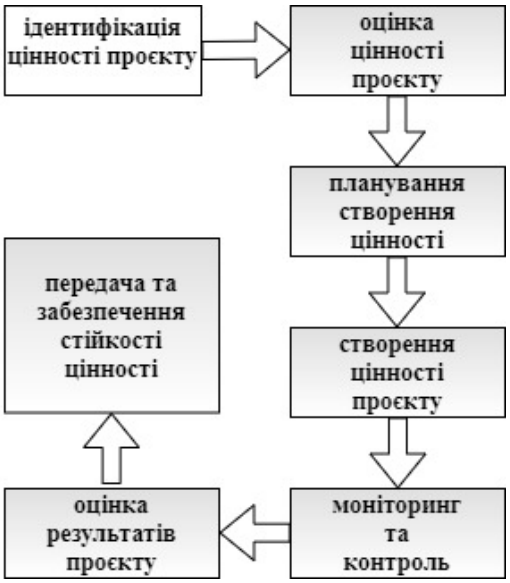


Рисунок 1 **–** Схема управління цінністю проєктів в галузі пасажирських перевезень [13]

Figure 1 **–** Project value management scheme in the passenger transportation industry

Управління цінністю проєкту охоплює всі етапи ЖЦП (від планування до завершення) та спрямований на створення стійкого результату, що приносить довготривалу вигоду для підприємства.

За [14] існує три основні підходи до визначення цінності проєктного менеджменту:

– підходи на основі рентабельності інвестицій (ROI);

– збалансована система показників (BSC);

– підходи організаційної компетентності.

Автори [14] включають до цінності від проєкту не лише рентабельність інвестицій, але й узгоджене використання практик, результати процесів, бізнес-результати та задоволеність стейкхолдерів.

На рисунку 2 представлені взаємозв'язки, які можуть виникати між компонентами управління проєктами та отриманими вигодами для стейкхолдерів [15].

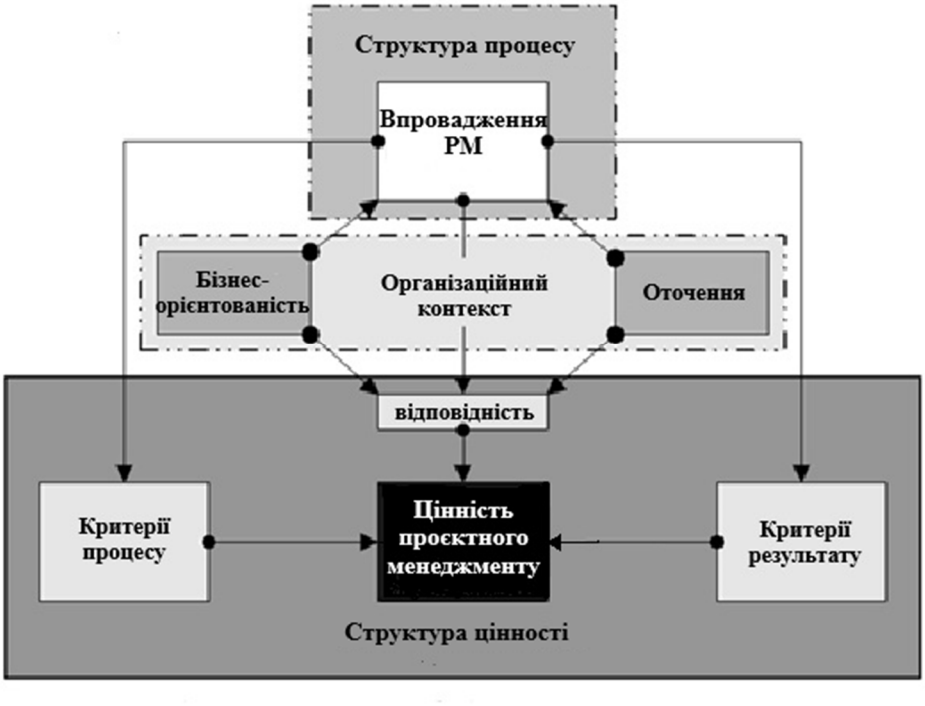


Рисунок 2 – Розуміння цінності управління проєктами [15]
Figure 2 – Understanding the value of project management

Витрати, що пов'язані з управлінням проєктами, не мають безпосереднього впливу на рівень доходів або прибутковість підприємства. Впровадження проєктного підходу, завжди позиціонується як інструмент підвищення ефективності та успішності, але покращення у цій сфері не завжди призводять до зниження витрат, а можуть, навіть, спричиняти їх зростання в короткостроковій перспективі. Більшість удосконалень в управлінні проєктами сприяють оптимізації нематеріальних аспектів проєктної діяльності, які в контексті цінності проєкту, пов'язані із задоволенням очікувань зацікавлених сторін щодо вартості, строків реалізації, якості та організаційних процесів. І як результат, підприємства отримують широкий спектр непрямих вигод, що можуть позитивно впливати на їхню довгострокову конкурентоспроможність [14].

Автори вважають, що «ціннісний орієнтир – це здатність впровадження проєктного менеджменту продовжувати приносити цінність у майбутньому» [14].

Виклад основного матеріалу дослідження. Результативність ціннісно-орієнтованого підходу можна оцінювати через цінність проєкту [16], або «…визначати цінність як вигоду, одержану від реалізації проєкту всіма зацікавленими сторонами…» та розглядати «…цінність проєкту як комплексний показник, що складається з цінності процесу, продукту і цінності організації, що реалізує проєкт» [17].

Управління цінністю в проєктах пасажирських перевезень включає показники, які представлені в табл.1 [5, 9].

Цінність проєкту (Vp) пасажирських перевезень можна представити у вигляді функції від множини показників цінності проєкту (1):

$$V_p = f\left(PV, AC, EV, CV, SV, CPI, SPI, R\right) \tag{1}$$

Таблиця 1 **–** Показники цінності проєктів в галузі пасажирських перевезень
Table 1 **–** Indicators of the value of projects in the field of passenger transportation

Показники цінності проєктів	Зміст показника
запланована цінність (PV), грошові одиниці	бюджетна вартість запланованих робіт
фактична вартість (AC), грошові одиниці	фактичні витрати проєкту
досягнута цінність (EV), грошові одиниці	бюджетна вартість виконаних робіт
зміни вартості (CV), грошові одиниці	освоєний обсяг - фактична вартість
зміни графіку виконання робіт (SV), грошові одиниці	освоєний обсяг - запланований обсяг робіт
індекс освоєння грошових коштів, CPI	освоєний обсяг/фактична вартість
індекс виконання графіку, SPI	освоєний обсяг/запланований обсяг робіт
ціна ризиків (R), грошові одиниці.	додаткові витрати під час реалізації проєкту (відхилення вартості, відхилення графіку)

В попередніх дослідженнях [1, 18] проаналізовано особливості ціннісного підходу до управління проєктами в галузі пасажирських перевезень та доведено, що даний підхід до управління, як механізм успішності проєктів, є ефективним та перспективним.

Процеси та цілі управління цінністю проєкту узагальнено можна представити у вигляді рис.3. У відповідності до рис.3, основні процеси та цілі управління цінністю проєктів в галузі пасажирських перевезень описано далі.



Рисунок 3 **–** Процеси та цілі управління цінністю проєкту
Figure 3 **–** Project value management processes and goals

Керівні положення управління цінністю проєктів в галузі пасажирських перевезень включають кілька принципових моментів, а саме:

1. Цільові потенційні величини цінностей на вході та виході проєкту.

Вхідні цінності (ресурси, необхідні для запуску проєкту):

– транспортні засоби (автобуси, потяги, літаки тощо);
– інфраструктура (зупинки, станції, інформаційні системи);

– персонал (водії, диспетчери, технічний персонал);
– технології (квиткові системи, GPS-моніторинг, CRM);
– інвестиції (бюджет, фінансування від держави чи приватних партнерів).

Вихідні цінності (очікувані результати проєкту):
– збільшення доступності транспорту для пасажирів;
– зниження часу в дорозі та підвищення комфорту;
– зменшення витрат на перевезення (для компанії та пасажирів);
– екологічні вигоди (зниження викидів за рахунок оптимізації маршрутів);
– підвищення безпеки та надійності перевезень.

2. Перетворення проєктних знань, досвіду та методів у корисну цінність.

Джерела знань:
– дані про пасажиропотоки та транспортні навантаження;
– аналітика запитів пасажирів (якість сервісу, очікування щодо часу в дорозі);
– досвід роботи з транспортними компаніями в інших містах/країнах;
– новітні методики оптимізації маршрутів і використання штучного інтелекту.

Знання конвертуються у цінність:
– впровадження систем прогнозування попиту для оптимізації маршрутів;
– використання великих баз даних для аналізу поведінки пасажирів;
– автоматизація процесів (е-квитки);
– поліпшення навчання персоналу для підвищення якості обслуговування.

3. Оцінка цінності при плануванні, реалізації та поставці.

Планування:
– розрахунок економічної ефективності маршруту (витрати на паливо, технічне обслуговування, зарплати персоналу);
– прогнозування рентабельності (кількість пасажирів, ціна квитка, державні субсидії).

Реалізація:
– моніторинг фактичного завантаження маршрутів у реальному часі;
– вимірювання задоволеності пасажирів (анкетування, соціальні мережі, скарги);
– контроль витрат та пошук можливостей для оптимізації.

Поставка (експлуатація):
– порівняння прогнозу та фактичних результатів;
– оцінка ефективності оновлених маршрутів, нових технологій, змін у сервісі;
– коригування стратегії (зміна розкладу або запуск нових рейсів).

4. Отримання потенційної цінності із внутрішніх та зовнішніх джерел для їх комбінування

Внутрішні джерела:
– база даних щодо перевезення та пасажиропотоки;
– власний парк транспортних засобів та досвід управління ним;
– команда, що має навички роботи з аналітикою та оптимізацією маршрутів.

Зовнішні джерела:
– співпраця з міською владою (отримання субсидій, використання муніципальної інфраструктури);
– дані мобільних операторів (аналіз переміщень людей задля оптимізації транспорту);
– партнерство з технологічними компаніями (впровадження навігації, мобільних додатків, систем штучного інтелекту);
– досвід інших міст (обмін найкращими практиками у сфері громадського транспорту).

Комбінування для створення нової цінності:
– використання даних мобільних операторів та GPS-моніторингу для точного прогнозування попиту;
– інтеграція транспорту з міськими мобільними сервісами (єдиний квиток, комбіновані маршрути);

– впровадження електротранспорту або транспортних рішень, орієнтованих на екологічну стійкість.

Наступний блок включає розгляд оточення та обмеження проєкту.

1. Управління зовнішнім середовищем. Зовнішнє середовище проєктів пасажирських перевезень містить економічні, політичні, соціальні та технологічні фактори, які впливають на реалізацію проєкту:

– регулювання та законодавство (вимоги до безпеки пасажирських перевезень; обов'язкові сертифікації транспорту та персоналу; податкові пільги або субсидії на громадський транспорт);

– економічні умови (вартість пального, електроенергії та технічного обслуговування; попит на перевезення; фінансування та інвестиційні можливості);

– технологічні зміни (розвиток електромобільного транспорту та автономних транспортних засобів; інтелектуальні транспортні системи (ITS) [19]; використання Big Data для управління маршрутами);

– соціальні та екологічні чинники (очікування пасажирів щодо комфорту, безпеки та екологічності; тенденція до розвитку екологічно чистого транспорту; урбанізація та зміни в структурі пасажиропотоків).

2. Будь-який проєкт пасажирських перевезень має власні обмеження, які впливають на його реалізацію:

– регуляторні обмеження (ліцензійні вимоги для перевізників; державне регулювання тарифів на проїзд; обмеження щодо використання певних транспортних засобів);

– фінансові обмеження (обмежений бюджет на оновлення автопарку або розвиток інфраструктури; висока вартість залучення інвестицій; обмеження на державні субсидії для приватних перевізників);

– інфраструктурні обмеження (пропускна здатність доріг та залізничних колій; дефіцит паркомісць; недостатня кількість зарядних станцій для електротранспорту);

– соціальні обмеження (низький рівень довіри до громадського транспорту; опір змінам з боку водіїв, перевізників чи профспілок; нерівномірний розподіл пасажиропотоків протягом доби).

3. Корпоративні методи управління в проєктах пасажирських перевезень забезпечують стабільність та ефективність роботи компанії:

– стратегічне планування (аналіз ринку пасажирських перевезень; розробка довгострокової транспортної політики; визначення KPI для ефективності маршрутів);

– операційне управління (оптимізація логістики маршрутів та графіків руху; контроль витрат і впровадження методів ощадливого виробництва (Lean); автоматизація систем диспетчеризації та продажу квитків);

– інноваційний менеджмент (впровадження цифрових технологій; використання AI для прогнозування попиту; партнерство з технологічними стартапами для тестування нових рішень).

4. Один із ключових факторів успіху проєктів пасажирських перевезень – наявність та компетентність команди.

5. Можливість виконання. Щоб забезпечити успішну реалізацію проєкту, необхідно оцінити його реалістичність з урахуванням всіх ключових факторів (фінансових, юридичних, технічних, організаційних).

Задля отримання цінності проєкту важливою частиною є визначення цілі цінності, серед яких:

1. Кількісна оцінка потенційної цінності допомагає зрозуміти, наскільки ефективним буде проєкт і яку цінність він принесе для перевізника, пасажирів та міської інфраструктури. Методи оцінки:

– фінансові показники (ROI – окупність інвестицій у проєктах галузі пасажирських перевезень; NPV – чиста приведена вартість інвестицій у транспортні системи; TCO – загальна вартість володіння транспортним засобом (паливо, ремонт, зарплати);

– соціально-економічна ефективність (скорочення часу перевезення; підвищення рівня комфорту пасажирів; впровадженні електротранспорту).

2. Розширення цінності перевезення стосується не лише перевезення пасажирів, а й додаткових сервісів, які підвищують загальну вигоду проєкту:

– інтеграція з іншими видами транспорту (введення єдиного електронного квитка для метро, автобусів і таксі; комбіновані маршрути, які мінімізують пересадки та час очікування);

– нові сервіси для пасажирів (мобільні застосунки для відстеження транспорту, безкоштовний Wi-Fi у громадському транспорті; спецпрограми лояльності для постійних користувачів);

– екологічні рішення.

3. Відтворення накопиченої цінності є процесом збереження та повторного використання ефективних рішень та технологій у майбутніх проєктах:

– використання бази даних (аналіз попередніх змін маршрутів, їх впливу на пасажиропотік; використання даних GPS для оптимізації майбутніх маршрутів);

– модернізація існуючих транспортних рішень (перехід автобусних парків з дизельного палива на електротягу; використання розумних зупинок із цифровими розкладами);

– збереження знань та досвіду персоналу (навчальні програми для нових водіїв на основі досвіду попередніх поколінь; використання стандартів обслуговування, що довели свою ефективність).

4. Підтримка внутрішньої цінності представляє процес забезпечення ефективного функціонування компанії, щоб підтримувати високу якість послуг:

– оптимізація витрат (ефективне планування графіків руху для зменшення витрат на паливо; оптимізація технічного обслуговування для продовження терміну служби транспорту);

– підвищення кваліфікації персоналу (курси підвищення кваліфікації для водіїв та диспетчерів; навчання з клієнтоорієнтованого сервісу);

– автоматизація та цифровізація (використання CRM-систем для управління скаргами та зворотним зв’язком; впровадження AI-алгоритмів для оптимізації маршрутів).

5. Створення цінності із існуючої комбінації ресурсів передбачає використання вже наявних активів для підвищення ефективності роботи:

– оптимізація використання транспорту (гнучке перерозподілення транспорту між маршрутами залежно від часу доби; використання одного парку транспортних засобів для різних типів перевезень (пасажирські, туристичні, корпоративні);

– співпраця з партнерами (об’єднання з іншими транспортними операторами; використання інфраструктури інших компаній (зарядні станції для електробусів спільно з електромобільними компаніями);

– впровадження цифрових технологій (використання даних мобільних операторів для аналізу пасажиропотоку; інтеграція транспортної системи з навігаційними сервісами (Google Maps, Citymapper).

Процеси у формуванні цінності проєкту забезпечують узгоджену взаємодію ресурсів, рішень і зацікавлених сторін для досягнення стратегічних цілей.

1. Процес розпізнання цінності визначає, що саме створює цінність для пасажирів, перевізників та міської інфраструктури. Методи розпізнання цінності:

– аналіз потреб пасажирів (опитування та зворотний зв’язок щодо зручності транспорту; аналіз частоти використання маршрутів та годин пікового навантаження);

– моніторинг ринку та конкурентів (вивчення найкращих світових практик у сфері мобільності; аналіз тарифів, рівня сервісу та альтернативних рішень (таксі, каршеринг);

– виявлення економічної та соціальної вигоди (скорочення часу перевезень та підвищення комфорту; вплив на екологію та зменшення заторів).

2. Процес створення потенційної цінності полягає у розробці рішень, які можуть покращити мобільність, зменшити витрати та підвищити ефективність перевезень:

– процеси оптимізації маршрутної мережі (впровадження експрес-маршрутів для скорочення часу в дорозі; використання гнучких маршрутів, що змінюються залежно від попиту);

– інноваційні процеси (використання електробусів та водневого транспорту; інтеграція автономного транспорту для внутрішньоміських перевезень);

– впровадження цифрових технологій (використання штучного інтелекту для прогнозування завантаженості транспорту; розширення мобільних додатків для зручного планування поїздок).

3. Процес створення та поставка цінності представлений реалізацією транспортних рішень, які забезпечують ефективне перевезення пасажирів:

– гнучке управління розкладом руху транспорту (використання динамічних графіків залежно від завантаженості; впровадження спеціальних маршрутів у пікові години);

– покращення комфорту пасажирів (вентиляція та клімат-контроль у транспорті; зручні сидіння, USB-зарядки, безконтактна оплата);

– програми лояльності для пасажирів (знижки для постійних клієнтів; безкоштовні пересадки між видами транспорту).

4. Процес капіталізації цінності реалізується через отримання економічних та соціальних вигід від проєктів в галузі пасажирських перевезень:

– залучення додаткового фінансування (публічно-приватне партнерство для розвитку транспортної інфраструктури; монетизація реклами на транспорті та зупинках);

– підвищення ефективності витрат (використання електротранспорту для зниження витрат на паливо; оптимізація витрат на обслуговування);

– соціальна цінність (зниження навантаження на дорожню мережу; підвищення якості життя мешканців за рахунок покращеної транспортної мобільності).

5. Менеджмент знань включає процеси збереження та передача досвіду та найкращих практик у сфері пасажирських перевезень.

– цифрові бази знань (архів даних про ефективність маршрутів; аналіз попередніх змін та їх впливу на пасажиропотік);

– навчання персоналу (постійне підвищення кваліфікації водіїв та диспетчерів; обмін досвідом між містами та перевізниками);

– автоматизація процесів (використання Big Data для аналітики та прогнозування; впровадження рекомендаційних систем для оптимізації розкладу).

6. Постійні покращення є безперервним процесом удосконалення послуг пасажирських перевезень:

– моніторинг ефективності (аналіз відгуків пасажирів та запитів на покращення сервісу; використання датчиків для оцінки завантаженості транспорту);

– гнучкість у прийнятті рішень (оперативне коригування маршрутів у випадку змін у трафіку; впровадження нових тарифних систем для оптимізації потоків).

7. Загальне управління якістю охоплює всі аспекти роботи транспортної системи для забезпечення стабільно високої якості пасажирських перевезень.

– стандарти безпеки та комфорту (дотримання міжнародних стандартів безпеки руху; регулярні технічні огляди транспорту);

– контроль якості обслуговування (регулярний аудит сервісу пасажирських перевезень; системи мотивації для водіїв та персоналу).

8. Збереження зовнішнього середовища, в контексті проєктів галузі пасажирських перевезень, передбачає впровадження екологічно безпечних технологій та рішень у даній сфері:

– зменшення викидів (використання електротранспорту та водневих автобусів; перехід на біопаливо та альтернативні джерела енергії);

– оптимізація маршрутів (зменшення пробігів за рахунок динамічного планування; розвиток паркінгів біля транспортних вузлів для зменшення заторів).

Отримання результатів проєкту залежить від ефективної координації ресурсів, дій та стейкхолдерів для досягнення поставлених цілей.

1. Надання цінності означає забезпечення якісного транспортного сервісу, що відповідає очікуванням пасажирів та економічним інтересам перевізника:

– зручність та доступність (оптимізація маршрутів для покриття ключових транспортних потоків; гнучка тарифна політика для різних категорій пасажирів (пенсіонери, студенти, туристи);

– комфорт та сервіс (чистота салонів, зручні сидіння, система кондиціювання; реалізація послуг е-квитка та безконтактної оплати);

– інформаційна доступність (впровадження мобільних додатків для відстеження руху транспорту; автоматичні оголошення зупинок та інформаційні табло на зупинках).

2. Поставка цінності транспортних послуг споживачам, включаючи управління операційною діяльністю, представлено:

– гнучке планування розкладу (зміни розкладу в залежності від пасажиропотоку; додаткові рейси у години пік та скорочення рейсів у неробочий час).

– оптимізація логістики (використання аналітики для мінімізації простоїв транспорту; впровадження розумного управління маршрутами за допомогою GPS);

– моніторинг та контроль якості (використання датчиків наповненості транспорту для підвищення ефективності; система оцінки водіїв на основі відгуків пасажирів).

3. Захоплення цінності відбувається через механізм отримання доходів або інших вигід від впроваджених транспортних рішень:

– прямі джерела доходу (продаж квитків, абонементів та спеціальних проїзних; введення динамічного ціноутворення (дешевші поїздки у непікові години);

– непрямі джерела доходу (реклама в салонах та на транспортних зупинках; співпраця з бізнесом (торгові точки на транспортних вузлах, спільні програми лояльності).

4. Створення нового бізнесу в транспортній сфері здійснюється, як правило, на основі наявної інфраструктури та даних;

– інтеграція транспортних сервісів (запуск сервісу «останньої милі» (скутери, велосипеди); співпраця з каршерингом і таксі для комбінованих маршрутів);

– нові види послуг (бізнес-автобуси для корпоративних клієнтів; туристичні перевезення з гідами та зупинками у визначних місцях);

– мультифункціональність транспортної системи (використання автобусних маршрутів для логістичних перевезень у неробочі години; організація мобільних точок громадського харчування на транспортних вузлах).

5. Безперервність бізнесу здійснюється через забезпечення стабільної роботи транспортної системи навіть у випадку кризових ситуацій:

– стратегічне планування ризиків (альтернативні маршрути у випадку аварій чи погодних катаклізмів; дублюючі системи для отримання е-квитків);

– автоматизація та цифровізація (впровадження резервних центрів управління транспортом; використання автономного транспорту в екстрених випадках);

– гнучке управління фінансами (диверсифікація джерел доходів (наприклад, рекламні контракти); планування бюджетів на кризові періоди).

6. Синергетичний ефект цінності досягається через об’єднання різних елементів транспортної екосистеми для досягнення максимального ефекту:

– інтеграція з міською інфраструктурою (єдина система планування маршрутів для всіх видів транспорту; розвиток транспортних хабів, які поєднують автобуси, метро та таксі);

– спільне використання ресурсів (використання тих самих транспортних засобів для різних задач (міські та туристичні перевезення); координація логістичних і пасажирських перевезень для мінімізації холостого пробігу);

– розвиток партнерських відносин (спільні програми з операторами таксі, прокату авто та електросамокатів; участь у міжнародних транспортних ініціативах та обмін досвідом).

База знань та досвіду формується через накопичення, обробку та використання інформації задля підвищення ефективності рішень та процесів.

1. Організаційний досвід є механізмом накопичення компетенцій та кращих практик управління транспортними процесами, які формують конкурентні переваги перевізника:

– стандартизація процесів (чіткі регламенти щодо планування маршрутів, розкладу та контролю якості; автоматизовані системи управління транспортом);

– досвід реагування на ризики (антиризикове управління у випадку транспортних колапсів або стихійних лих; гнучке коригування розкладу в умовах непередбачених ситуацій (заторів, протестів, погодних змін);

– довгострокові партнерства (співпраця з муніципальними органами для спільного розвитку інфраструктури; обмін досвідом із міжнародними транспортними компаніями).

2. Отримані уроки включає повний аналіз помилок та успіхів з метою подальшого удосконалення роботи транспортної системи:

– формування бази знань (створення цифрового архіву змін у маршрутній мережі та їх вплив на пасажиропотік; аналіз аварійних ситуацій задля підвищення рівня безпеки);

– робота з відгуками пасажирів (урахування скарг та пропозицій задля оптимізації сервісу; впровадження системи оперативного реагування на звернення громадян);

– аналіз ефективності проєктів (оцінка впливу нових маршрутів, сервісів та технологій на задоволеність стейкхолдерів; перегляд стратегії розвитку транспорту на основі отриманих результатів).

3. Самонавчальна організація представляє собою структуру, яка постійно удосконалюється, адаптуючись до нових викликів, ризиків та технологій:

– внутрішня культура навчання (регулярні тренінги для водіїв і диспетчерів щодо безпеки та сервісу; використання симуляторів для підготовки персоналу в реальних умовах);

– автоматизовані системи збору даних (аналіз пасажиропотоку для динамічної оптимізації маршрутів; застосування AI для прогнозування навантаження на транспорт);

– гнучке управління процесами (швидке впровадження новітніх технологій без дестабілізації роботи системи; попереднє тестування пілотних проєктів).

4. Інноваційна культура реалізується через створення середовища, яке буде сприяти запровадженню новітніх технологій та управлінських рішень:

– стимулювання нових ідей (організація внутрішніх конкурсів щодо інноваційних рішень; залучення персоналу до розробки покращень сервісу);

– тестування технологій (впровадження пілотних проєктів; партнерство зі стартапами задля розвитку «інтелектуального транспорту»);

– впровадження змін (застосування Agile-методологій задля реалізації інноваційних проєктів; адаптація новітніх технологій із мінімальним впливом на поточну операційну діяльність).

Відповідно до [8, 9], виділено три моделі проєкту: «модель схеми», яка потребує «концепції цінності»; «модель системи», яка потребує «реалізації цінності»; «модель послуги», яка потребує «використання цінності».

В роботі [20], автори пропонують розглядати арт-проєкти як «системну модель», то б то, «…як проєкт поставки цінності (проєкт реалізації), результатами якого будуть завершені продукти, зокрема арт-продукти, та вони повинні створювати нові цінності…». Для того щоб проєкти створювали нові цінності, проєктні менеджери повинні з'ясувати, чого очікують стейкхолдери, у чому вони вбачають цінності, а наступним кроком провести кількісну оцінку цінності у проєктах, та поєднуючи досвід, інформацію, створити та одержати заплановану цінність [20].

Як правило, підприємства очікують від керівника проєкту, запровадження проєктів, які будуть створювати цінність для самого підприємства та стейкхолдерів.

Взявши за основу результати дослідження [20], пропонуємо концептуальну модель ціннісно-орієнтованого управління проєктами в галузі пасажирських перевезень, так як проєкти даної галузі можна класифікувати, як модель проєктів за типом «модель системи» (рис.4) [13].



Рисунок 4 – Концептуальна модель ціннісно-орієнтованого управління проєктами в галузі пасажирських перевезень [13]

Figure 4 – Conceptual model of value-based project management in the passenger transportation industry

Враховуючи дану концептуальну модель та вираз (1), ефект від реалізації проєкту представимо у вигляді досягнутої цінності проєкту (2), як різниці між його вигодою, то б то запланованою цінністю та витратами у вигляді ціни ризику проєкту:

$$AV = PV - R, \tag{2}$$

де AV – досягнута цінність проєкту, грошові одиниці;

PV – запланована цінність проєкту, грошові одиниці;

R – ціна ризику проєкту, грошові одиниці.

За результатами розробки концептуальної моделі ціннісно-орієнтованого управління проєктами в галузі пасажирських перевезень можна переходити до розроблення моделі оцінки цінності продукту проєкту.

Оцінка цінності проєкту, а відповідно і продукту проєкту, як результату, включає етапи [9, 21]: розроблення індикаторів цінності; проведення синхронізації цінності; оцінка цінності.

За допомогою діаграмного методу визначаємо індикатори для оцінки цінності продукту проєкту (рис. 5):

– команда проєкту – група причин, яка обумовлена кваліфікацією, психологічним кліматом в команді, вміння співпрацювати в команді;

– вартість продукту – група причин, яка пов’язана із комплексом різних факторів, що впливають на формування ціни продукту проєкту;

– матеріально-технічна база – група причин, яка пов’язана із матеріально-технічним забезпеченням та включає інструменти, запасні частини для транспортних засобів, кваліфікованих виконавців тощо, задля залучення до створення продукту проєкту;

– методи – група причин, яка включає запровадження інноваційних технологій, а також впливає на життєвий цикл проєкту, то б то процес створення продукту, та маркетинг, що визначає «показники» конкурентних переваг продукту на ринку транспортних послуг;

– ризики – група причин, яка пов’язана із виникнення небажаних подій в процесі створення продукту та впливають на формування цінності продукту;

– оточення – група причин, що включає вплив оточення проєкту та зорієнтована на задоволення потреб та очікувань стейкхолдерів від продукту.

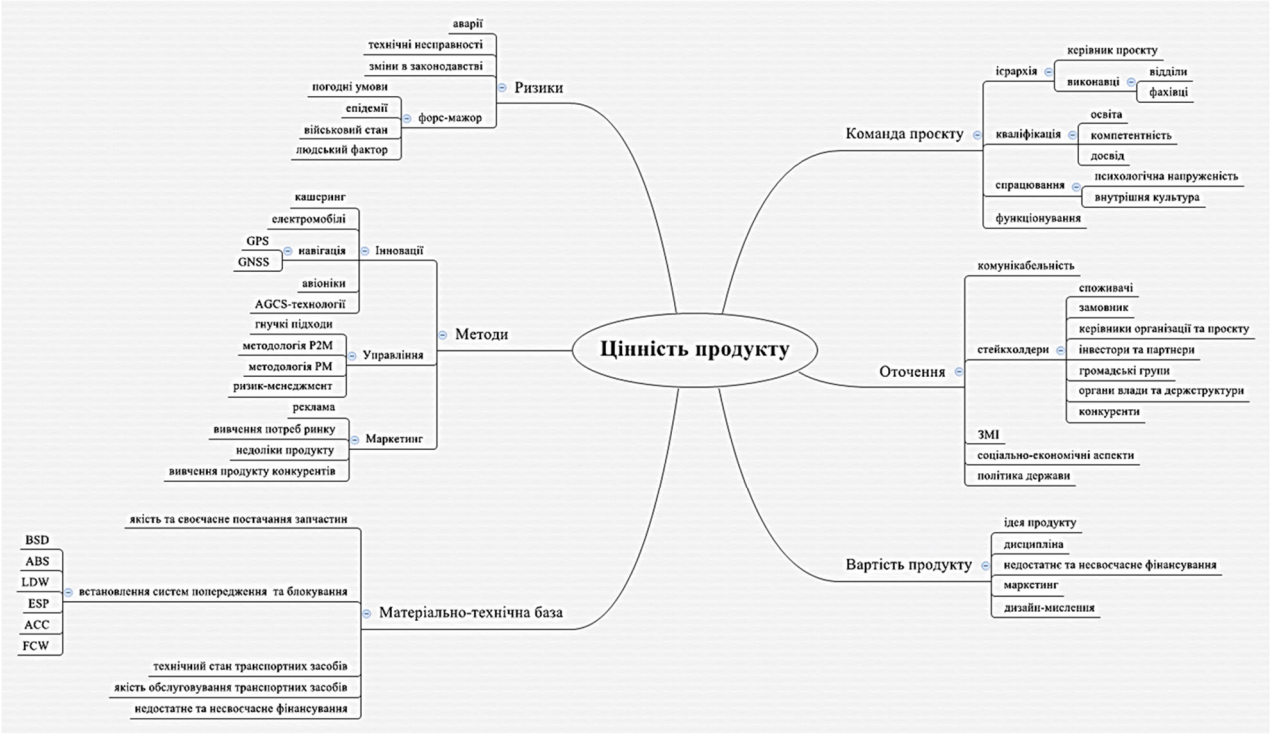


Рисунок 5 – Модель оцінки цінності продукту проєктів в галузі пасажирських перевезень
Figure 5 – Model for assessing the product value of projects in the passenger transportation industry

Дана модель дозволяє визначити фактори, що впливають на проєкт задля успішності реалізації та досягнення цінності.

Висновки

На підставі проведеної роботи можна зробити наступні висновки. Впровадження ціннісно-орієнтованого підходу до управління проєктами дозволяє всебічно оцінити результати реалізації за допомогою фінансових та нефінансових показників, що сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень.

Аналіз основних індикаторів цінності проєкту дозволяє оперативно виявляти відхилення від запланованих параметрів і ефективно управляти проєктом на всіх етапах життєвого циклу.

Урахування ціни ризиків є важливим елементом системного підходу, оскільки дозволяє ідентифікувати потенційні загрози, розробляти превентивні заходи та адаптувати план управління відповідно до змін.

Розроблені концептуальна модель управління проєктами в галузі пасажирських перевезень та модель оцінки цінності продукту проєкту дозволяють інтегрувати внутрішні показники ефективності управління з аналізом ринкових та стратегічних факторів задля забезпечення підвищення ефективності управління, оптимізації ресурсів та досягненню максимального результату, що має важливе значення для розвитку підприємства та його конкурентних позицій на ринку.

Перелік посилань

1. Іщенко В. А., Харута В. С. Аналіз особливостей проєктів пасажирських перевезень. Управління розвитком складних систем. Київ, 2024. № 57. С. 27 – 35, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.57.27-35. URL: https://urss.knuba.edu.ua/zbirnyk-57

2. Стандарт управління проєктами та Настанова до зводу знань з управління проєктами (Настанова PMBOK). Сьоме видання. Newtown Square, PA: Project Management Institute, Inc., 2021. 370 p.

3. Pirozzi M., (2017). The Stakeholder Perspective, Featured Paper, PM World Journal, Vol. VI, Issue VI – June. URL: https://pmworldlibrary.net/wp-content/uploads/2017/06/pmwj59-Jun2017-_Pirozzi-The-Stakeholder-Perspective-featured-paper.pdf.

4. Stretton A., (2018). A Commentary on Program/Project Stakeholders, Commentary, PM World Journal, Vol. VII, Issue X – October 2018. URL: https://pmworldlibrary.net/wp-content/uploads/2018/10/pmwj75-Oct2018-Stretton-program-project-stakeholders-commentary.pdf.

5. ДСТУ ISO 21508:2022 Управління здобутою цінністю в управлінні проєктами та програмами. URL: https://pmdoc.ua/iso/iso21508/(дата звернення: 15.02.2025).

6. ISO 21512:2024 Настанови щодо впровадження управління здобутою цінністю. URL: https://pmdoc.ua/iso/iso21512/(дата звернення: 15.02.2025).

7. P2M. A Guidebook of Project & Program Management for Enterprise Innovation Project Management Association of Japan (PMAJ), 2005. Vol.1. 93p. URL: http://www.pmaj.or.jp/

8. Ярошенко Ф.О., Бушуєв С.Д., Танака Х. Управління інноваційними проєктами та програмами на основі системи знань P2M: монографія. Київ: Саммит-Книга, 2012. 272 с.

9. P2M. A Guidebook of Project & Program Management for Enterprise Innovation [Online]. Project Management Association of Japan, 2016. URL: http://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/p2m_guide.html

10. Бей Г.В., Синиченко А.В. Ціннісно-орієнтований підхід до управління розвитком підприємства. Економіка та суспільство, 2024. Вип. 63. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-66

11. Ray R. Venkataraman, Jeffrey K. Pinto Cost and Value Managementin Projects. Second Edition. Published by John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada, 2023. 373p. ISBN: 9781119933540. DOI:10.1002/9781394207190. URL: https://www.researchgate.net/publication/369387404_Cost_and_Value_Management_in_Projects

12. Медведєва О.М. Концептуальна основа ціннісно-орієнтованого управління взаємодією в інноваційній діяльності. Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2013. №3(47). С. 75-87. URL: http://www.pmdp.org.ua.

13. Іщенко В.А., Харута В.С. Концептуальна модель ціннісно-орієнтованого управління проєктами в галузі пасажирських перевезень. Project, Program, Portfolio Management. P3M-2024: Тези доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції : [у 2т.]. Відповідальний за випуск П.О. Тесленко. Том 1. Одеса : ІШІР, 2024. 255 с. С.101-105

14. Thomas, J. & Mullaly, M. (2006). Defining the value of project management: in search of value. Paper presented at PMI® Research Conference: New Directions in Project Management, Montréal, Québec, Canada. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

15. Thomas, J., & Mullaly, M. (2005). What's the benefit? Challenges in demonstrating the value of project management. PMI North American Global Congress. Toronto, ON, Canada.

16. Гловацька С.Н. Підхід до оцінки цінності проєктів міжнародної діяльності. Управління розвитком складних систем. Київ: КНУБА, 2014. № 18. С. 53–57. URL: https://urss.knuba.edu.ua/zbirnyk-18.

17. Бушуєв С.Д., Бушуєва Н.С. Механізми формування цінності в діяльності проєктно-керованих організацій. Харків: Східно-Європейський журнал передових технологій, 2010. Вип. 1/2 (43). С. 4–9.

18. Іщенко В.А., Кравчук І.В., Харута В.С. Ціннісно-орієнтоване управління проєктами в галузі пасажирських перевезень. Project, Program, Portfolio Management. P3M-2023: Тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції : [у 2т.]. Відповідальний за випуск П.О. Тесленко. Том 1. Одеса : ІШІР, 2023. 303 с. С.33-36

19. Клюєв С.О., Сігонін А.Є., Цимбал С.В. Розвиток інтелектуальних транспортних систем. Вісник машинобудування та транспорту, 2023. Том 18, № 2, с. 80–86. DOI: https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-18-2-80-86

20. Данченко О.Б., Бас Д.В. Концептуальна модель управління цінністю арт-проекту. Управління проектами у розвитку суспільства. Тези доповідей XIV міжнародної науково-практичної конференції 19-20 травня 2017 року. Київ, 2017. С. 81-83

21. Бас Д.В. Концептуальна модель арт-проекту. Управління проектами: стан та перспективи: матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції. Миколаїв : НУК, 2017. – с. 4-5.

MODELS OF VALUE-BASED PROJECT MANAGEMENT IN THE FIELD OF PASSENGER TRANSPORTATION

Alkema Viktor H., Doctor of Economics, Professor, KROK University, Kyiv, Ukraine, *alkema@krok.edu.ua*, https://orcid.org/0000-0001-5997-7076

Ishchenko Vitaliy A., PhD student, National Transport University, Kyiv, Ukraine, *avtodas@ukr.net*, https://0009-0003-8690-2581

Abstract. The article examines the issues of project management in the field of passenger transportation, taking into account modern trends in the development of the transport industry. The main challenges faced by managers in the process of implementing transport projects, in particular, increasing the level of passenger transportation services, are identified. In this context, value-based management is a concept that provides a balance between efficiency, economic feasibility and satisfaction of the expectations of project stakeholders, as well as the possibility of using modern information technologies to increase the efficiency of management processes. The effectiveness of the value-based approach is assessed through the overall value of the project. For value management in projects, it is proposed to use quantitative indicators of efficiency assessment, such as planned value, actual value, achieved value, change in value, and changes in the work schedule. Additionally, the authors take into account the price of risks as a potential negative impact of external and internal factors that can change the course of project implementation. Such integration of these indicators provides constant monitoring and forecasting, thanks to which managers can quickly respond to changes, optimize resource management and make informed decisions. The paper presents a model for assessing the value of a project product, which takes into account key product characteristics, innovation, functionality, quality of services and compliance with market requirements. The presented models allow assessing financial and non-financial indicators, taking into account factors that increase the competitiveness of the organization, provide a prompt response to changes in the internal and external environment and contribute to optimizing the use of resources to achieve maximum results.

Keywords: project management, value-based management, project value, stakeholders, project value indicators, conceptual model, passenger transportation, risks.

References

1 Ishchenko V.A., Kharuta V.S. Analiz osoblyvostei proiektiv pasazhyrskykh perevezen. Upravlinnia rozvytkom skladnykh system. Kyiv, 2024. № 57. S. 27 – 35, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.57.27-35. Retrieved from https://urss.knuba.edu.ua/zbirnyk-57

2 Standart upravlinnia proiektamy ta Nastanova do zvodu znan z upravlinnia proiektamy (Nastanova PMBOK). Some vydannia. Newtown Square, PA: Project Management Institute, Inc., 2021. 370p.

3 Pirozzi M., (2017). The Stakeholder Perspective, Featured Paper, PM World Journal, Vol. VI, Issue VI – June. Retrieved from https://pmworldlibrary.net/wp-content/uploads/2017/06/pmwj59-Jun2017- Pirozzi-The-Stakeholder-Perspective-featured-paper.pdf

4 Stretton A., (2018). A Commentary on Program/Project Stakeholders, Commentary, PM World Journal, Vol. VII, Issue X – October 2018. Retrieved from https://pmworldlibrary.net/wp-content/uploads/2018/10/pmwj75-Oct2018-Stretton-program-project-stakeholders-commentary.pdf.

5 DSTU ISO 21508:2022 Upravlinnia zdobutoiu tsinnistiu v upravlinni proiektamy ta prohramamy. Retrieved from: https://pmdoc.ua/iso/iso21508/(data zvernennia: 15.02.2025)

6 ISO 21512:2024 Nastanovy shchodo vprovadzhennia upravlinnia zdobutoiu tsinnistiu. Retrieved from https://pmdoc.ua/iso/iso21512/(data zvernennia: 15.02.2025)

7 P2M. A Guidebook of Project & Program Management for Enterprise Innovation Project Management Association of Japan (PMAJ), 2005. Vol.1. 93p. Retrieved from http://www.pmaj.or.jp/

8 Yaroshenko F.O., Bushuiev S.D., Tanaka Kh. Upravlinnia innovatsiinymy proiektamy ta prohramamy na osnovi systemy znan R2M: monohrafiia. Kyiv: Sammyt-Knyha, 2012. 272 s.

9 P2M. A Guidebook of Project & Program Management for Enterprise Innovation [Online]. Project Management Association of Japan, 2016. Retrieved from http://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/p2m_guide.htmlp

10 Bei H.V., Synychenko A.V. Tsinnisno-oriientovanyi pidkhid do upravlinnia rozvytkom pidpryiemstva. Ekonomika ta suspilstvo, 2024. Vyp. 63. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-66

11 Ray R. Venkataraman, Jeffrey K. Pinto Cost and Value Managementin Projects. Second Edition. Published by John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada, 2023. 373p. ISBN: 9781119933540. DOI:10.1002/9781394207190. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/369387404_Cost_and_Value_Management_in_Projects

12 Medvedieva O.M. Kontseptualna osnova tsinnisno-oriientovanoho upravlinnia vzaiemodiieiu v innovatsiinii diialnosti. Upravlinnia proektamy ta rozvytok vyrobnytstva: Zb.nauk.pr. Luhansk: vyd-vo SNU im. V.Dalia, 2013. №3(47). S. 75-87. Retrieved from http://www.pmdp.org.ua

13 Ishchenko V.A., Kharuta V.S. Kontseptualna model tsinnisno-oriientovanoho upravlinnia proiektamy v haluzi pasazhyrskykh perevezen. Project, Program, Portfolio Management. P3M-2024: Tezy dopovidei IKh Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii : [u 2t.]. Vidpovidalnyi za vypusk P.O. Teslenko. Tom 1. Odesa : IShIR, 2024. 255 s. S.101-105

14 Thomas, J. & Mullaly, M. (2006). Defining the value of project management: in search of value. Paper presented at PMI® Research Conference: New Directions in Project Management, Montréal, Québec, Canada. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

15 Thomas, J., & Mullaly, M. (2005). What's the benefit? Challenges in demonstrating the value of project management. PMI North American Global Congress. Toronto, ON, Canada.

16 Hlovatska S.N. Pidkhid do otsinky tsinnosti proiektiv mizhnarodnoi diialnosti. Upravlinnia rozvytkom skladnykh system. Kyiv: KNUBA, 2014. № 18. S. 53–57. Retrieved from https://urss.knuba.edu.ua/zbirnyk-18

17 Bushuiev S.D., Bushuieva N.S. Mekhanizmy formuvannia tsinnosti v diialnosti proiektno-kerovanykh orhanizatsii. Kharkiv: Skhidno-Yevropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii, 2010. Vyp. 1/2 (43). S. 4–9

18 Ishchenko V.A., Kravchuk I.V., Kharuta V.S. Tsinnisno-oriientovane upravlinnia proiektamy v haluzi pasazhyrskykh perevezen. Project, Program, Portfolio Management. P3M-2023: Tezy dopovidei VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii : [u 2t.]. Vidpovidalnyi za vypusk P.O. Teslenko. Tom 1. Odesa : IShIR, 2023. 303 s. S.33-36

19 Kliuiev S.O., Sihonin A.Ie., Tsymbal S.V. Rozvytok intelektualnykh transportnykh system. Visnyk mashynobuduvannia ta transportu, 2023. Tom 18, № 2, s. 80–86. DOI: https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-18-2-80-86

20 Danchenko O.B., Bas D.V. Kontseptualna model upravlinnia tsinnistiu art-proektu. Upravlinnia proektamy u rozvytku suspilstva. Tezy dopovidei KhIV mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii 19-20 travnia 2017 roku. Kyiv, 2017. S. 81-83

21 Bas D.V. Kontseptualna model art-proektu. Upravlinnia proektamy: stan ta perspektyvy: materialy KhIII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Mykolaiv : NUK, 2017. S. 4-5

UDC 004.9: 519.7
УДК 004.9: 519.7
DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-196-208

DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY TO SUPPORT DECISION MAKING FOR SYSTEMIC AND STRATEGIC ANALYSIS OF JSC «UKRZALIZNYTSYA»

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ СИСТЕМНОГО ТА СТРАТЕГІЧНОГО АНАЛІЗУ АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ»



Zinchenko Artem Yuriyovych, *Ph.D. in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Mathematical Methods of Systems Analysis, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: artem005@yahoo.com*

https://orcid.org/0000-0003-1586-3645



Zinchenko Olga Zinoviyivna, *Ph.D. in Philology, Associate Professor at the Department of Theory and History of State and Law, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: felicefare@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0003-4768-3593

Abstract. The paper proposes an information technology for a decision support system (DSS) designed for systemic and strategic analysis of JSC «Ukrzaliznytsia» (Ukrainian Railways). The aim of the study is to develop a comprehensive automated information system that integrates modern methods of qualitative and quantitative data analysis to enhance the efficiency of business process management, risk assessment, and strategic planning within the railway industry.

The object of the research is a decision support system for systemic and strategic analysis at JSC «Ukrzaliznytsia», encompassing data analysis methods, system architecture, and mechanisms for integration with other corporate information systems. The authors provide a detailed description of the architecture and functionality of the proposed DSS, which consists of three levels: the data level (collection, processing, and storage of information from various internal and external sources), the analysis level (qualitative and quantitative analysis using state-of-the-art methods and tools), and the decision-making level (data visualization, reporting, and recommendations). Additionally, the paper outlines groups of methods for each subsystem, as well as software tools and technologies that can be employed to implement the DSS information technology.

To select optimal decisions based on specified criteria, modern analytical methods are utilized, including artificial intelligence, machine learning, and econometric models, enabling effective trend forecasting and risk evaluation. The proposed DSS information technology facilitates improved integration with other company information systems, ensuring seamless data exchange and eliminating duplication. The implementation of this system is expected to enhance the competitiveness of «Ukrzaliznytsia» at both national and international levels.

Future research directions include expanding the system's functional capabilities, particularly through the application of deep learning and blockchain technologies to ensure transparency and security in information processes. The development of new analytical methods will also contribute to improving forecasting accuracy and strategic adaptability.

Keywords: information technology, decision support system, qualitative and quantitative data analysis, strategic analysis, machine learning.

Problem Statement.

Modern automated information systems are primarily designed using a hybrid IT infrastructure that consists of a local (private) server-based IT infrastructure and a public cloud or hybrid cloud services built according to SOAP, XML-RPC, and JSON-RPC protocols [1], among others. In Europe and Ukraine, numerous portal solutions have been developed in recent years, including those for the automated provision of public services. Notable examples include the pan-European public sector information repository (https://data.europa.eu/en), the Unified State Services Portal of Ukraine (https://diia.gov.ua/), and others. A common feature of these solutions is the use of workflow automation processes, cloud-based solutions for business process automation (commerce, service, and sales), and an IT architecture interface layer with artificial intelligence support. This enables real-time data synchronization and the creation of a comprehensive customer profile, enhancing decision-making processes and predictive analytics.

JSC «Ukrzaliznytsia» is the largest infrastructure company in Ukraine and the country's biggest employer, operating complex business processes. The automation of passenger and freight transportation, financial planning, and infrastructure management requires the integration of advanced information technologies to support decision-making at various levels. This technology, designed within a unified IT infrastructure for the railway sector, must include a decision support system that incorporates both qualitative and quantitative analytical methods, ensuring a comprehensive assessment of business processes, risk factors, and strategic alternatives. However, existing automated information systems in the public sector either fail to provide multi-criteria decision-making support or lack such functionality altogether, not to mention risk assessment and scenario analysis. This complicates the alignment of strategic planning with national infrastructure policies and global transportation trends.

Thus, the development of an information technology solution in the form of a decision support system for systemic and strategic analysis, capable of processing data from various systems and making decisions based on expert evaluations and strategic analysis methods, is a relevant and necessary topic.

Analysis of Recent Research and Publications.

A review of the literature and recent studies on the development of decision support systems (DSS) for transportation management highlights the growing importance of artificial intelligence (AI), machine learning (ML), and big data analytics in optimizing railway operations. In [2], researchers demonstrate the effectiveness of predictive maintenance for railway infrastructure using AI, leading to cost reduction and increased service reliability. Study [3] proposes an architecture for big data analysis in transportation systems, addressing data integration and privacy challenges. This research emphasizes the role of qualitative and quantitative data analysis subsystems in enhancing decision-making efficiency for large-scale transportation networks. In [4], the authors explore various methods for optimizing business processes, particularly through risk assessment and quantitative data analysis, to design an information technology solution for railway IT infrastructure. The use of modern artificial intelligence and machine learning methods for developing decision support systems in railway operations, particularly for predictive maintenance and transportation process optimization, is presented in [5]. Studies [6] and [7] introduce the development of DSS for railway freight

transport optimization while considering risk assessment in railway systems, integrating safety and economic factors.

Among domestic research, the fundamental works of Professor P. I. Bidiuk deserve special mention. In his textbook [8], he presents a methodology for designing decision support information systems based on modern principles of system analysis and strategic planning. The book also examines functional structures and alternative approaches to DSS implementation using various design models. An analysis of studies in this field indicates the development of railway decision-making systems that combine expert evaluations with AI-based quantitative analysis, ensuring a holistic approach to strategic and systemic railway management.

The aim of this research is to develop an information technology solution for decision support in the systematic and strategic analysis of JSC «Ukrzaliznytsia». This article focuses on creating a comprehensive system that integrates modern qualitative and quantitative data analysis methods to enhance business process management, risk assessment, and strategic planning in the railway sector.

Presentation of the Main Material.

To achieve the stated goal and address decision-making challenges across various business processes integrated into a unified IT infrastructure via hybrid cloud services, a modular decision support system (DSS) has been proposed. A key feature of this system is its multi-layered data analysis structure, which includes a primary data collection and processing subsystem, a qualitative and quantitative data analysis subsystem, an indicator grouping subsystem, and an information-analytical platform for scenario analysis. These subsystems reflect the structural-functional processes and business logic of the decision support system. The analysis of optimal decision selection takes into account predefined goal criteria, statistical data, and specified indicators of the company's qualitative development dynamics.

Subsystem for Primary Data Collection and Processing.

The primary data collection and processing subsystem is a fundamental component of the decision support system (DSS) for the systemic and strategic analysis of JSC «Ukrzaliznytsia» Its primary objective is to ensure the timely, accurate, and comprehensive collection of data from various sources, its preliminary processing, and preparation for further analysis. The quality of input data processing directly influences the effectiveness of decision-making and the performance of other subsystems: incomplete, inaccurate, or outdated data can lead to erroneous conclusions and inefficient management decisions.

The data collection process involves recording and accumulating information from a wide range of sources, including internal and external information flows. Internal sources encompass train movement automation systems, dispatch control, freight accounting, scheduling and planning systems, financial records, as well as databases related to infrastructure, rolling stock, and personnel. Additionally, reports on operational activities, technical documentation, and audit results play a crucial role. External sources include data from the State Statistics Service of Ukraine, the Antimonopoly Committee, the State Transport Safety Service, the Ministry of Infrastructure, and other relevant institutions. Furthermore, this category includes information on market competition, suppliers, clients, and contractors. A key element of this subsystem is its ntegration with governmental information resources, allowing access to additional analytical data while ensuring compliance with legislative requirements.

Data collection methods vary depending on the data source and its characteristics. Automated data collection is facilitated through integration with internal systems via APIs, ETL (Extract, Transform, Load) processes, web scraping, and open data analysis. Additionally, manual data collection methods, such as report processing, surveys, interviews, and expert consultations, are employed. To enhance data quality at the collection stage, mechanisms for filtering, verification, and deduplication are implemented.

Following collection, data undergoes preliminary processing, including cleaning, transformation, and standardization for subsequent analysis. This stage involves duplicate removal, error correction, missing value imputation, data normalization, and aggregation. Data is then stored in centralized data warehouses or specialized databases, ensuring quick access and analytical processing. A critical aspect of this process is data quality control, which guarantees accuracy, completeness, and consistency. Initial data assessment is performed using expert methods such as brainstorming, STEEP, and SWOT analysis, which help identify

potential risks and optimal management solutions. Data reliability is evaluated using Miller's scale, allowing the elimination of incorrect or insufficiently precise data.

To implement this subsystem, modern information technologies are proposed, including Oracle database management systems, ETL tools such as Informatica PowerCenter, Talend Open Studio, Apache Kafka, and programming languages such as Python, Java, and R for data processing and algorithm development. Data visualization and analytics can be performed using Power BI, Tableau, or Qlik Sense, while hybrid cloud technologies such as AWS, Azure, or Google Cloud are recommended for storing and processing large datasets. Information security is ensured through access control systems and cryptographic protection mechanisms.

A user-friendly interface is a critical functional component of the subsystem, enabling data access, processing, and analytical report viewing. In the three-tier IT architecture, artificial intelligence (AI) is proposed for use in the interface layer to adapt to different user categories, including executives, analysts, and operational personnel, each requiring different levels of data detail. Additionally, the subsystem should incorporate performance monitoring mechanisms and automated issue detection to ensure stable operation.

The proposed structure of the primary data collection and processing subsystem is presented in Figure 1.

Subsystem for Data Quality Analysis.

A key component of the information technology for decision support proposed by the authors is the qualitative data analysis subsystem. For JSC «Ukrzaliznytsia», it performs the function of strategic analysis, forming alternative development scenarios, and assessing risk factors. Additionally, it focuses on identifying patterns, trends, and cause-and-effect relationships in the data collected by the primary data collection subsystem, using a wide range of analytical methods for a deep understanding of the context and forecasting the development of events. The main goal of such analysis embedded in the information technology is to ensure the qualitative analysis of information. Together with the methods of the quantitative data analysis subsystem, this allows for the assessment of latent issues, risks, and opportunities, forming effective management strategies and making informed decisions.

The analysis process uses five groups of different methods: expert evaluation methods, strategic analysis methods, uncertainty analysis and probabilistic forecasting methods, big data processing methods, and creative analysis methods. These include techniques such as SWOT analysis, STEEP analysis, cognitive modeling, expert assessment methods, the Delphi method, Analytical Hierarchy Process (AHP), as well as probabilistic forecasting methods, including Bayesian models and scenario analysis. Using these approaches allows for assessing the strengths and weaknesses of the company, identifying the impact of external factors, predicting market changes, and evaluating potential risks. In addition, qualitative analysis methods can include content analysis, which involves automated and manual processing of textual sources, social media analysis, and entity extraction through Natural Language Processing (NLP) techniques. Data grouping and classification contribute to the systematization of large amounts of information.

An important role in the subsystem's operation is played by the interactive interaction group, consisting of qualified experts, analysts, and department heads. This group ensures the collection, discussion, and analysis of data, preparation of development scenarios, risk assessment, and adjustment of the company's strategic decisions. Using collective analysis methods such as brainstorming and cross-impact analysis helps obtain the most objective conclusions regarding possible directions of development. Additionally, the subsystem enables the assessment of the likelihood of different scenarios, taking into account their economic, social, and environmental impact, which is crucial in the process of long-term strategic planning. The results of the qualitative analysis are transferred to the corporate database, which is integrated with the quantitative analysis subsystem for further mathematical modeling and calculations. To ensure the reliability and validity of the results, methods of data triangulation and intersubjective validation can be used in the qualitative data analysis subsystem.

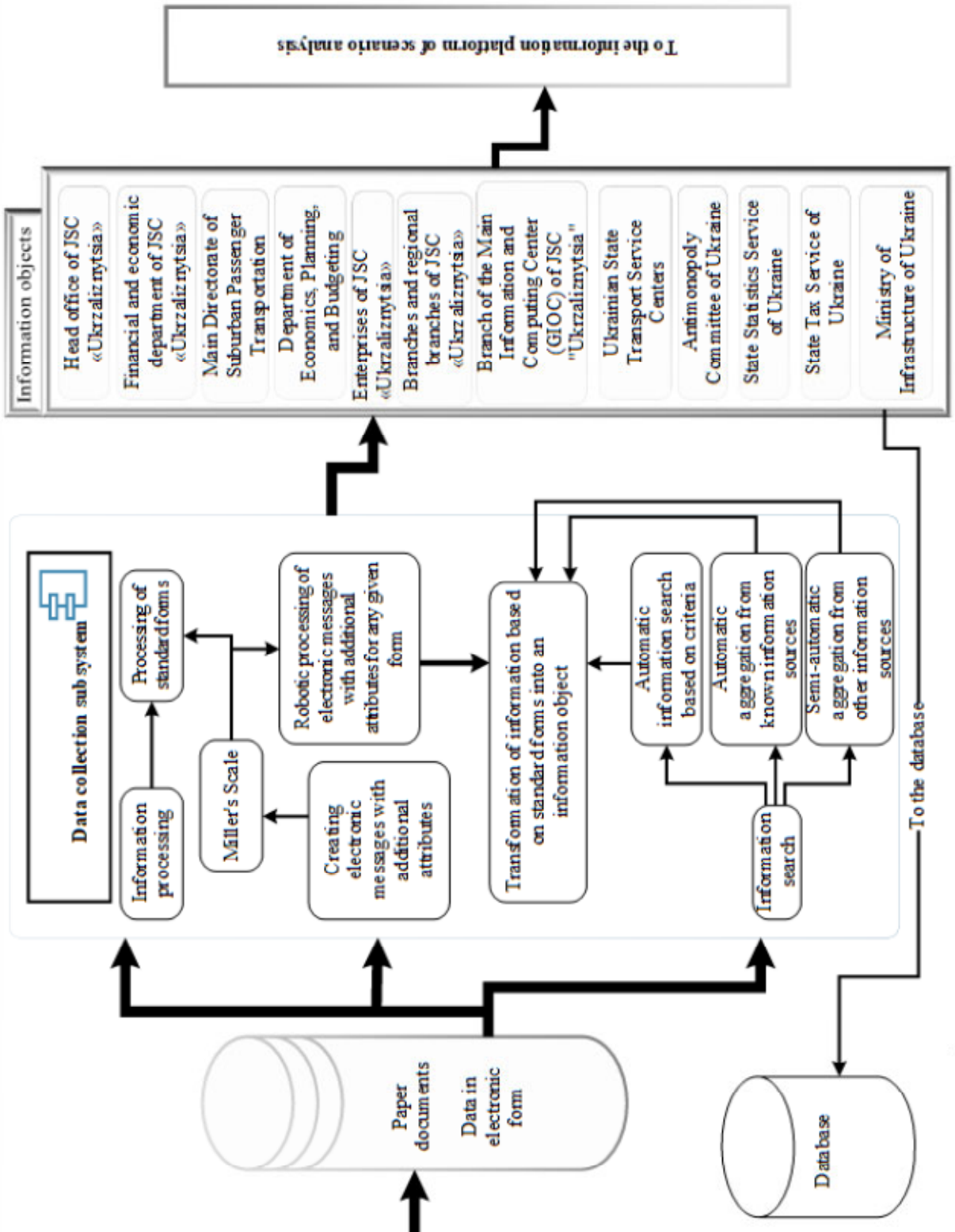


Figure 1 – Primary information collection and processing subsystem
Рисунок 1 – Підсистема збору та обробки первинної інформації

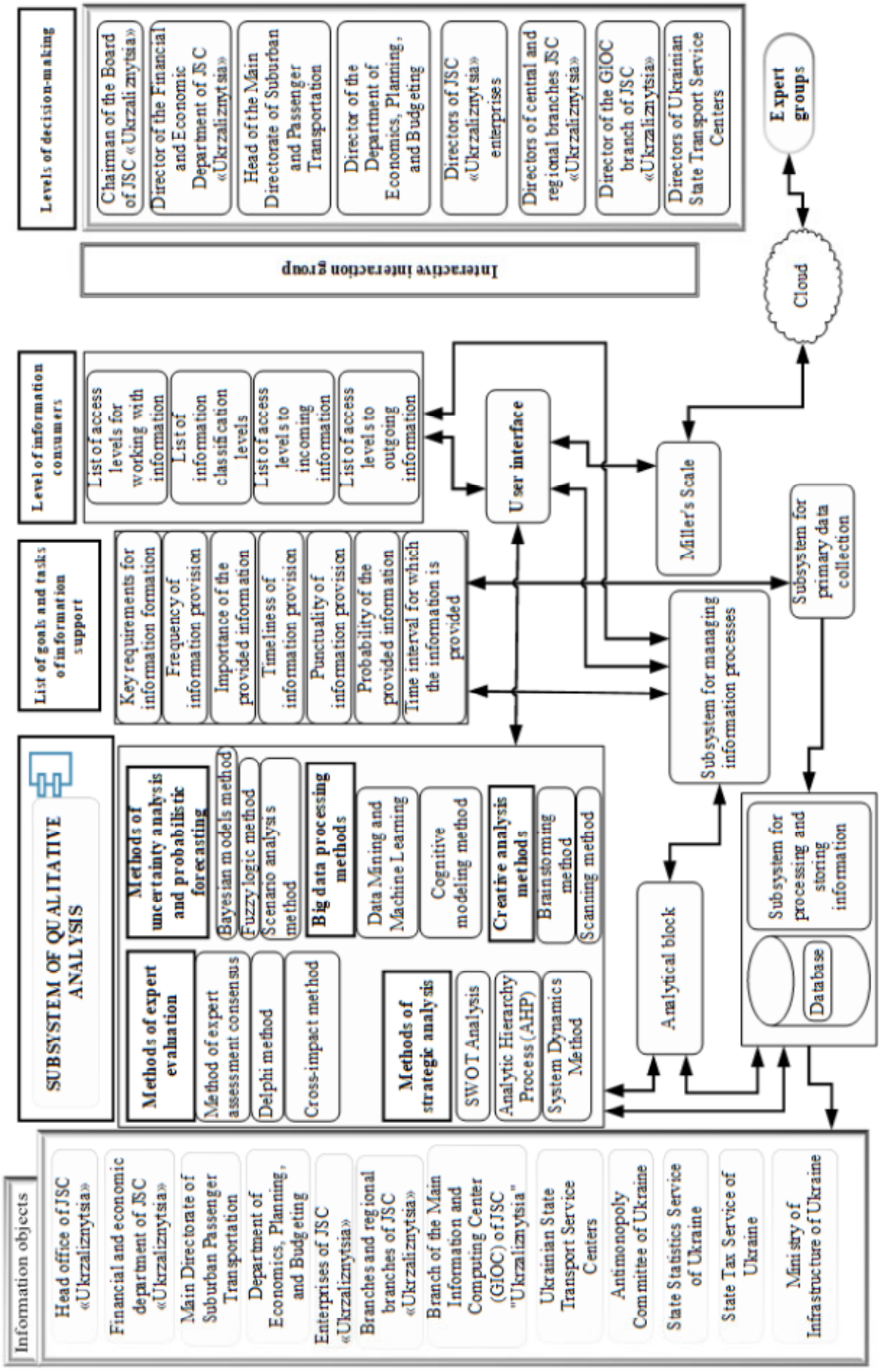


Figure 2 – Subsystem for qualitative analysis
Рисунок 2 – Підсистема якісного аналізу

Modern technologies and tools can be used to implement the qualitative analysis subsystem, including software components for text analysis (NLTK, spaCy, Stanford CoreNLP) and data visualization tools (Tableau, Power BI, Gephi). Specialized platforms for coding and qualitative data analysis (NVivo, ATLAS.ti) can also be employed. Furthermore, cloud computing platforms such as AWS, Azure, and Google Cloud Platform provide efficient processing of large volumes of data and scalability of the subsystem.

The scheme of the proposed qualitative data analysis subsystem is shown in Figure 2.

Subsystem for Quantitative Data Analysis.

The third component of the proposed information technology for decision support is the quantitative analysis subsystem. It performs mathematical risk assessment, analysis of alternative scenarios, and forecasting of key indicators based on statistical and econometric methods. The main task of the subsystem is to process data using formal analysis methods, allowing the company's management to make informed decisions focused on effective business process management, financial management, and strategic development.

A key stage of the subsystem's operation is the risk assessment associated with each potential development scenario. Simulation modeling is used for this, allowing the prediction of possible changes in the company's external and internal environment. Various econometric analysis methods are applied during the process, including correlation-regression analysis, statistical analysis, time series methods (AR, MA, ARMA, ARIMA models), exponential smoothing, as well as neural networks and machine learning algorithms. These methods allow not only the assessment of the current state of business processes but also the forecasting of the development of the company's key performance indicators.

The quantitative analysis subsystem uses a system for grouping indicators, which forms the basis of a balanced system for assessing the company's performance. It divides the indicators into four main categories: financial indicators, customer indicators, business process efficiency indicators, and learning and development indicators. Financial indicators include parameters such as profitability, liquidity, financial stability, and asset turnover. Customer indicators encompass passenger and cargo shipper satisfaction levels, service quality, and application processing speed. Business process indicators assess innovation potential, risks, and strategic development directions, while learning and development indicators define staff training levels, training hours, the effectiveness of new technology implementation, and employee motivation.

Based on the analysis of the collected data, the subsystem performs multi-criteria assessment of development scenarios, determines the confidence level for each scenario, and generates final analytical reports. An important component is the use of Monte Carlo methods for simulating random processes and evaluating the probabilities of different development scenarios. Additionally, morphological analysis, optimization methods, and trend analysis are used to form the most effective strategic decisions.

The interaction of the quantitative analysis subsystem with other modules in the decision support system occurs through a database containing structured and processed information. The subsystem receives data from the primary data collection subsystem and the qualitative analysis subsystem, supplementing them with mathematical evaluations and forecasting calculations. The results of the quantitative analysis are provided to the company's management and used for assessing the effectiveness of strategic planning, financial management, and operational process optimization.

The scheme of the proposed quantitative data analysis subsystem is shown in Figure 3.

Structural and Functional Diagram of the Decision Support System.

The structural and functional diagram of the Decision Support System (DSS) for JSC «Ukrzaliznytsia» represents a comprehensive multi-level architecture that ensures effective strategic and systemic analysis of the company's activities. The main goal of the DSS is to improve decision-making quality, assess the effectiveness of business processes, monitor risks, and forecast possible development scenarios for the company.

The DSS consists of several key subsystems, each of which performs specific tasks but interacts closely with other components. The first level of the structure is the subsystem for primary data collection and processing, which is responsible for registering, accumulating, transferring, and preliminary evaluating data. The information comes from various sources, including sensors, automated accounting systems, databases

from government agencies, internal reports of the enterprise, and expert assessments. After collection, it undergoes filtering, structuring, and evaluation of critical parameters.

The second level is the qualitative analysis subsystem, which consists of five groups of different methods: expert evaluation methods, strategic analysis methods, uncertainty and probabilistic forecasting methods, big data processing methods, and creative analysis methods. This subsystem uses strategic analysis methods, including SWOT, STEEP, the Delphi method, hierarchical analysis, scenario analysis, and cognitive modeling. It generates alternative development scenarios, assesses risks, and determines the level of trust in certain decision options. An important role in its functioning is played by the interactive interaction group, consisting of experts, analysts, and managers of structural units, who conduct discussions, form conclusions, and adjust management strategies based on the obtained data.

The next level is the quantitative analysis subsystem, which performs mathematical processing of information, evaluates risks, conducts statistical and correlation-regression analysis, builds econometric models, and forecasts using time series (AR, MA, ARMA, ARIMA models). It also applies optimization methods, trend analysis, Monte Carlo methods, neural networks, and machine learning algorithms to assess the probability of certain scenarios and search for optimal solutions for the company.

The indicator grouping subsystem is the foundation of the balanced scorecard system used by the quantitative analysis subsystem and serves as the base for the entire DSS. It is an extended classifier for collecting, accumulating, and processing all the company's information based on predefined criteria to address the outlined tasks. The subsystem is divided into four components: the financial component (assessment of profitability, liquidity, financial stability), the customer component (analysis of service quality and customer satisfaction), the business processes component (assessment of innovation level, strategic directions, and risks), and the learning and development component (evaluation of staff competency, effectiveness of new technology implementation, and employee motivation).

A special role in the structural and functional diagram is played by the information-technical platform for scenario analysis. This platform is a set of methodological, organizational-technical, mathematical, structural-process, and technological methods and tools that enable effective interaction between experts, system operators, technical personnel, and specially created software and hardware. The information-technical platform has three hierarchical levels: the technological management level of the system, the system-organizational level, and the analytical level. It ensures interaction between subsystems and the integration of the obtained results into the decision-making process.

The DSS also includes a data repository that ensures the storage, processing, and integration of information from various sources. This repository stores both structured (digital databases, electronic documents) and unstructured (analytical reports, expert conclusions) data. Information in the system is divided according to access levels based on user classification: JSC «Ukrzaliznytsia» management, the financial and economic department, the economics, planning, and budgeting department, the main department of suburban passenger transportation, regional branches, the Antimonopoly Committee of Ukraine, the State Statistics Service, and the Ministry of Infrastructure.

Due to its clear structural and functional diagram, the decision support system allows the integration of large volumes of data, the application of modern analytical methods, the formation of alternative development scenarios, and ensures effective strategic management of JSC «Ukrzaliznytsia's» activities. It improves forecasting accuracy, reduces risks, and facilitates well-founded management decision-making, which is critically important for the development of the enterprise.

The proposed structural and functional diagram of the decision support system is shown in Figure 4.

Conclusions and Prospects for Further Research.

This paper proposes an information technology for decision support in the systemic and strategic analysis of JSC «Ukrzaliznytsia». The uniqueness of this technology lies in its comprehensive tool for improving management processes and decision-making, based on the integration of subsystems for primary data collection and processing, qualitative and quantitative data analysis, and the information-technical platform for scenario analysis. The structure of these subsystems is described in detail in the paper, with diagrams illustrating their organization.

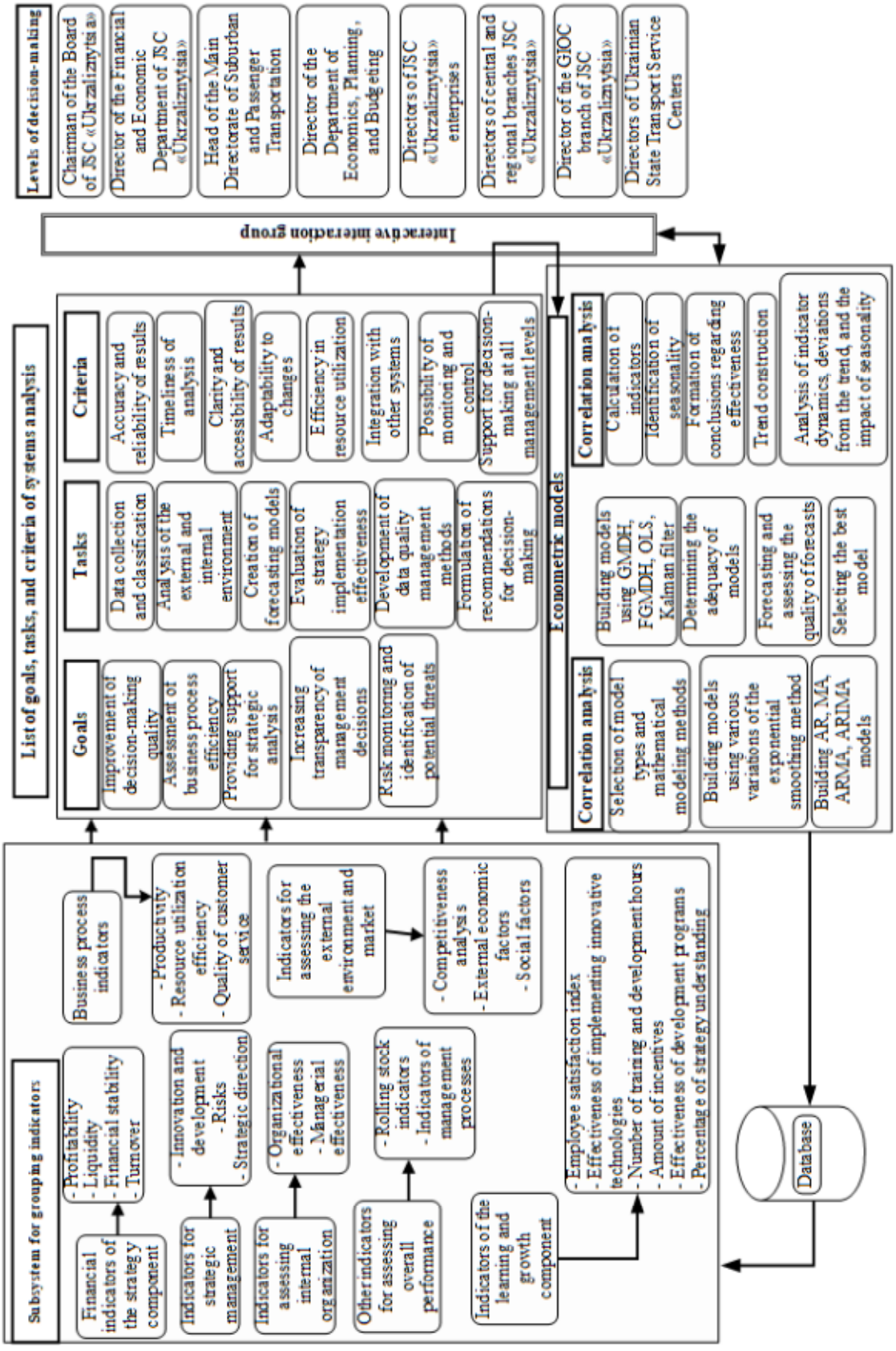


Figure 3 – Subsystem for quantitative analysis
Рисунок 3 – Підсистема кількісного аналізу

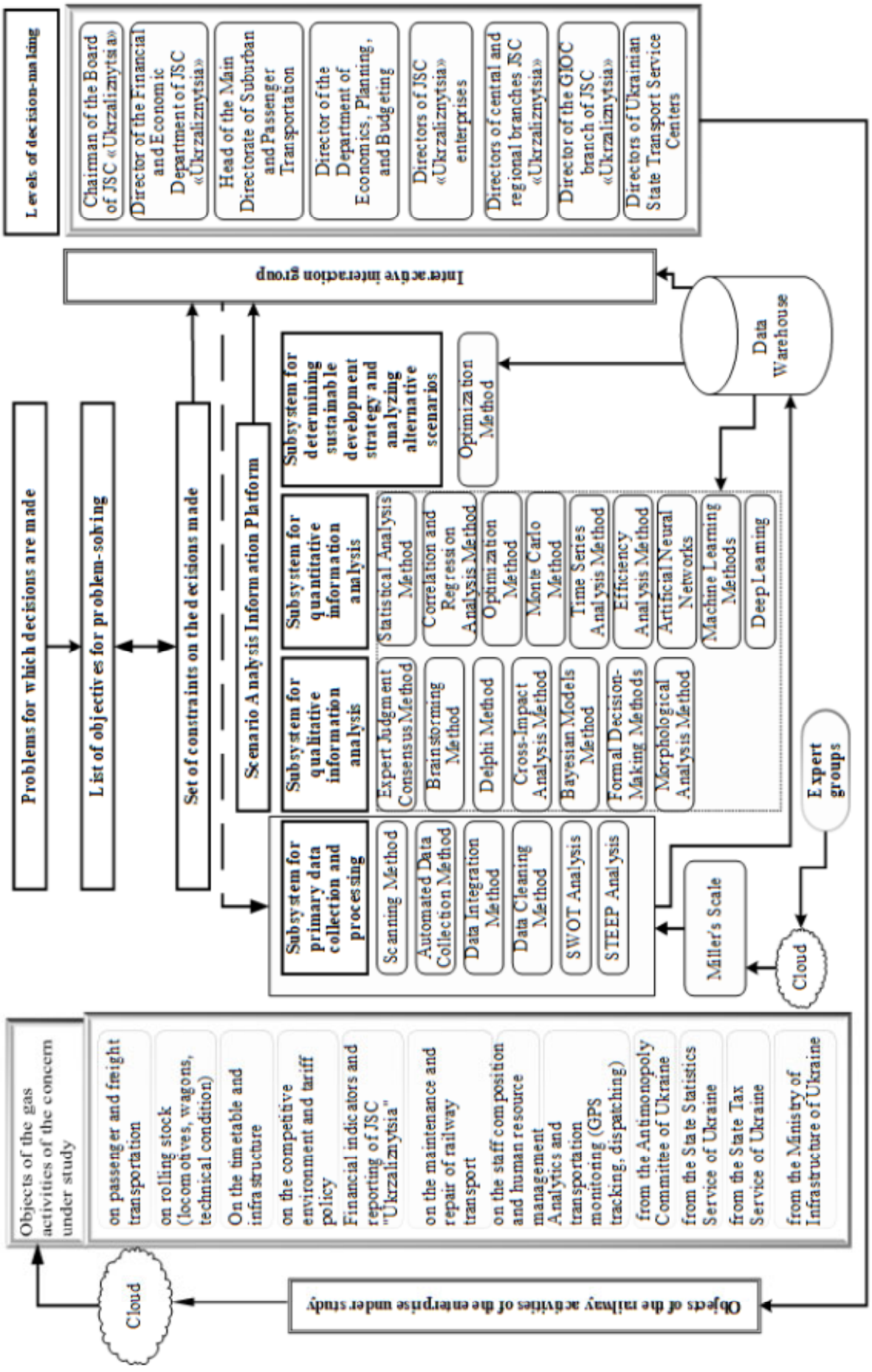


Figure 4 – Structural and functional diagram of a decision support system

Рисунок 4 – Структурно-функціональна схема системи підтримки прийняття рішень

Furthermore, the proposed information technology allows for the integration of advanced analytical methods, including artificial intelligence, machine learning, and econometric models, providing a comprehensive approach to evaluating business processes, analyzing risks, and generating alternative development scenarios. Its effectiveness is derived from the ability to conduct objective analysis of large volumes of data from various sources, identify hidden patterns, and forecast future trends. The implementation of this system will contribute to enhancing the company's management efficiency, improving strategic planning, and aligning operational activities with national infrastructure policies and global transport trends

.The integration of the proposed DSS with other information systems at JSC «Ukrzaliznytsia» will ensure full data exchange, prevent duplication, and, most importantly, facilitate the identification of potential problems and risks at early stages for timely response.

Prospects for Further Research include expanding the system's functional capabilities through the introduction of artificial intelligence methods, such as machine learning and deep learning, which could significantly improve the DSS's forecasting abilities in the areas of passenger and freight flow prediction, resource planning optimization, and the development of adaptive management strategies for railway transport. Additionally, there are plans to expand modeling capabilities by analyzing scenarios based on the «what-if» principle, and to further evaluate interdependencies among various elements of the system.

Further research should also focus on improving forecasting accuracy by developing new analytical methods that account for unpredictable external factors. Another promising direction for future research is the potential use of blockchain technology to enhance the transparency and security of information processes.

References

1. Zinchenko, A. Y. (2023). Design of distributed information systems based on using the technology of loosely coupled components. *Systems and Technologies*, *63*(1), 5-14. https://doi.org/10.32782/2521-6643-2022.1-63.1 [in Ukrainian].

2. Zhang, Y., Yang, G., Jiang, H., & Wang, W. (2021). A Survey on Data-Driven Predictive Maintenance for the Railway Industry. *Sensors*, 21(17), 5739. https://doi.org/10.3390/s21175739 [in English].

3. Smith, J., & Lee, B. (2020). An Improved Big Data Analytics Architecture Using Federated Learning for Transportation Systems. *Sustainability*, 15(21), 15333. https://doi.org/10.3390/su152115333 [in English].

4. Srinivasan, P., & Shaw, J. (2021). *Optimization Methods for Railway System Planning: A Systematic Literature Review.* Transport Research Part C: Emerging Technologies, 122, 102877. https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102877 [in English].

5. Hsu, C.-H., & Liu, Y.-L. (2020). *Application of Artificial Intelligence in Railway System Decision Support.* Journal of Transportation Engineering, 146(7), 04020049. https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000731 [in English].

6. Zhao, X., Liu, Z., & Xu, Z. (2019). *A Decision Support System for Railway Freight Operations.* Procedia Computer Science, 147, 81-87. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.124 [in English].

7. Gomez, M. L., & Nunez, A. (2020). *A Framework for Risk Assessment in Railway Systems: Integrating Safety and Economic Performance.* Safety Science, 121, 67-75. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.08.019 [in English].

8. Systemy i metody pidtrymky pryiniattia rishen [Elektronnyi resurs] : pidruchnyk dlia zdobuvachiv stupenia mahistra za spetsialnistiu 124 Systemnyi analiz / P. I. Bidiuk, O. L. Tymoshchuk, A. Ye. Kovalenko, L. O. Korshevniuk; KPI im. Ihoria Sikorskoho. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho 2022. – 610 p. [in Ukrainian].

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ СИСТЕМНОГО ТА СТРАТЕГІЧНОГО АНАЛІЗУ АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ»

Зінченко Артем Юрійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри математичних методів системного аналізу, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, artem005@yahoo.com, тел.: +38(063)8754603, *https://orcid.org/0000-0003-1586-3645*

Зінченко Ольга Зіновіївна, кандидат філологічних наук, доцент кафедри теорії та історії держави і права, Національний транспортний університет, Київ, Україна, felicefare@gmail.com, тел.: +38(096)7428634, *https://orcid.org/0000-0003-4768-3593*

Анотація. У статті запропоновано інформаційну технологію системи підтримки прийняття рішень для системного та стратегічного аналізу АТ «Укрзалізниця».

Метою дослідження є створення комплексної автоматизованої інформаційної системи, яка інтегрує сучасні методи якісного та кількісного аналізу даних для ефективного управління бізнес-процесами, оцінки ризиків і стратегічного планування в залізничній галузі.

Об'єктом дослідження є система підтримки прийняття рішень для системного та стратегічного аналізу в АТ «Укрзалізниця», яка включає методи аналізу даних, архітектуру, а також механізми інтеграції з іншими інформаційними системами компанії.

Авторами детально описано архітектуру та функціональність запропонованої системи підтримки прийняття рішень, яка включає три рівні: рівень даних (збір, обробка та зберігання інформації з різних внутрішніх та зовнішніх джерел), рівень аналізу (якісний та кількісний аналіз з використанням сучасних методів та інструментів) та рівень прийняття рішень (візуалізація даних, звітність та рекомендації). Крім того, описані групи методів для кожної підсистеми та програмні засоби і технології, які можуть бути використані для реалізації інформаційна технологія СППР.

Для вибору правильного рішення, згідно заданих критеріїв, використовуються сучасні аналітичні методи, включаючи штучний інтелект, машинне навчання та економетричні моделі, що дозволяють ефективно прогнозувати тенденції та оцінювати ризики.

Запропонована інформаційна технологія СППР сприятиме кращій інтеграції з іншими інформаційними системами компанії, забезпечуючи повний обмін даними та уникнення дублювання. Впровадження цієї системи дозволить підвищити конкурентоспроможність «Укрзалізниці» на національному та міжнародному рівнях.

Подальші дослідження передбачають розширення функціональних можливостей системи, зокрема через застосування технологій глибокого навчання та блокчейн для забезпечення прозорості та безпеки інформаційних процесів. Розвиток нових аналітичних методів також сприятиме підвищенню точності прогнозування та адаптивності стратегії.

Ключові слова: інформаційна технологія, система підтримки прийняття рішень, якісний та кількісний аналіз даних, стратегічний аналіз, машинне навчання.

Перелік посилань

1. Зінченко А. Ю. (2023). Проектування розподілених інформаційних систем на основі використання технології слабозв'язаних компонентів. *Системи та технології*, *63*(1), 5-14. https://doi.org/10.32782/2521-6643-2022.1-63.1

2. Zhang, Y., Yang, G., Jiang, H., & Wang, W. (2021). A Survey on Data-Driven Predictive Maintenance for the Railway Industry. *Sensors*, 21(17), 5739. https://doi.org/10.3390/s21175739

3. Smith, J., & Lee, B. (2020). An Improved Big Data Analytics Architecture Using Federated Learning for Transportation Systems. *Sustainability*, 15(21), 15333. https://doi.org/10.3390/su152115333

4. Srinivasan, P., & Shaw, J. (2021). *Optimization Methods for Railway System Planning: A Systematic Literature Review.* Transport Research Part C: Emerging Technologies, 122, 102877. https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102877.

5. Hsu, C.-H., & Liu, Y.-L. (2020). *Application of Artificial Intelligence in Railway System Decision Support.* Journal of Transportation Engineering, 146(7), 04020049. https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000731

6. Zhao, X., Liu, Z., & Xu, Z. (2019). *A Decision Support System for Railway Freight Operations.* Procedia Computer Science, 147, 81-87. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.124.

7. Gomez, M. L., & Nunez, A. (2020). *A Framework for Risk Assessment in Railway Systems: Integrating Safety and Economic Performance.* Safety Science, 121, 67-75. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.08.019.

8. Системи і методи підтримки прийняття рішень [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня магістра за спеціальністю 124 Системний аналіз / П. І. Бідюк, О. Л. Тимощук, А. Коваленко, Л. О. Коршевнюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського 2022. 610 с.

УДК 005.8
UDK 005.8
DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-209-220

ASSESSING INNOVATION READINESS IN PROJECT MANAGEMENT: A COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE IRI METHODOLOGY

ОЦІНКА ІННОВАЦІЙНОЇ ГОТОВНОСТІ В УПРАВЛІННІ ПРОЕКТАМИ: КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА МЕТОДИКИ IRI



Chernenko Yuri V., *PhD, Doctoral Student, Department of Doctoral Studies, International University of Business and Law, Ukraine, yc.gbbio@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0002-7008-7274



Bedrii DmytroI., *Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, State Enterprise "Ukrainian Scientific Research Institute Of Radio And Television", Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine, dimi7928@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0002-5462-1588



Semko Inga B., *PhD, Associate Professor, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine, i.semko@chdtu.edu.ua*

https://orcid.org/0000-0002-6251-5830

Abstract. This study introduces the innovation readiness index (iri), a structured framework for evaluating an organization's capacity for innovation in engineering projects by integrating financial feasibility, effectiveness, and risk. A mixed-methods strategy was employed at Mastergaz, a leading IT engineering company. Data from 30 project stakeholders were gathered via quantitative surveys and qualitative interviews and analyzed for correlation with key project outcomes. Results show a strong positive relationship between higher IRI scores and enhanced project performance, including better completion rates and heightened stakeholder satisfaction. The average IRI score of 6.8, coupled with a Pearson correlation of 0.75, indicates that projects with stronger innovation readiness are more likely to succeed. The study also demonstrates the IRI's adaptability across various industries. Implementing a structured, multi-dimensional readiness index can

guide resource allocation, improve stakeholder engagement, and facilitate data-driven decision-making in project management. This research advances current understanding of innovation readiness by introducing a comprehensive model that incorporates financial, operational, and risk considerations. Future work includes validating the IRI in different organizational settings and expanding its criteria to capture broader stakeholder dimensions.

Keywords: innovation readiness, project management, risk management, stakeholder engagement, performance metrics, financial feasibility, customer satisfaction.

Formulation of the problem. In today's rapidly evolving business landscape, organizations are under constant pressure to innovate while managing increasingly complex projects. The ability to assess a project's readiness for innovation has therefore emerged as a vital factor in achieving successful outcomes and sustaining competitive advantage [1]. Numerous studies on innovation management underscore the significance of readiness assessments in fostering project success; however, many existing models focus predominantly on isolated dimensions such as technology or market potential [2, 3]. Recent research points to the need for a holistic framework that integrates financial feasibility, operational effectiveness, and risk into a unified measure of innovation readiness. Models like technology readiness levels (trl) and commercial readiness index (cri) highlight specific components but often lack a broader perspective on organizational and user-centric factors [4]. This gap indicates the necessity of a comprehensive tool capable of capturing the multifaceted nature of innovation readiness [5].

Motivated by these considerations, the present study introduces the innovation readiness index (iri) as a novel evaluative framework. By integrating financial feasibility, effectiveness, and risk, the IRI aims to provide a more robust assessment of a project's capacity to innovate [1]. To examine this framework in practice, the study draws upon the case of Mastergaz, a leading IT engineering company specializing in engineering projects. Mastergaz's extensive experience in managing large-scale initiatives with multiple stakeholders makes it an ideal setting for exploring the applicability of the iri. The company utilizes the ERP-BPMS BOS CIS system for project management and data governance [6], consistent with findings that enterprise systems can significantly enhance operational efficiency and decision-making [7].

Grounded in the premise that innovation readiness may directly influence project performance, this research addresses two primary questions: how does the IRI correlate with key project success indicators, including completion rates and stakeholder satisfaction, and what insights emerge when the IRI is implemented in a real-world project management context? In addition, the study tests the hypothesis that higher IRI scores are associated with improved project outcomes, reinforcing the utility of the IRI as a predictive tool for innovation readiness [8]. In pursuing these questions, the research aims to elucidate the potential benefits of adopting a holistic readiness assessment. Subsequent sections detail the methods used to implement and evaluate the IRI at Mastergaz, followed by an examination of the results and a discussion of their implications for innovation management in diverse project environments [9].

Methods. This study employed a comprehensive methodology to develop and validate the innovation readiness index (IRI), a framework designed to evaluate a project's capacity for innovation by consolidating three key components – financial feasibility, effectiveness, and risk – into a single metric. The formula (1):

$$iri = \frac{(f \cdot e)}{(1+r)}, \tag{1}$$

was adopted, where

IRI – is the innovation readiness index,
f – signifies financial feasibility,
e – indicates effectiveness,
r – represents risk.

This conceptual design is grounded in research underscoring the importance of integrating financial, technological, and risk-related metrics into readiness assessments, as well as studies confirming the value of multidimensional models in evaluating complex innovation environments.

The present research was conducted in collaboration with Mastergaz, a leading IT company specializing in engineering projects, selected as a testbed due to its extensive experience with multifaceted stakeholder engagements. This context is consistent with approaches emphasizing stakeholder collaboration and adaptable management of innovative processes [10]. A purposive sampling strategy was employed, focusing on individuals with specialized knowledge in finance, project management, and innovation. The final sample included 30 participants – comprising project managers, financial analysts, and innovation specialists—who were deemed especially relevant for a pilot assessment of the IRI. This target group aligns with best practices in real-world readiness evaluations [11] and reflects prior recommendations that readiness assessments be tested with those most closely involved in shaping and executing projects [12].

Data collection combined quantitative surveys and semi-structured interviews. Each participant completed a questionnaire utilizing a Likert-type scale (1–10) to measure the perceived financial feasibility, effectiveness, and risk associated with ongoing projects. This approach built on established rating-scale methods for quantifying innovation readiness [13] and included an instrument carefully designed to capture the dimensions of IRI [14]. Scores were normalized for consistency across multiple projects and then aggregated for subsequent analysis. Semi-structured interviews added qualitative depth by permitting participants to discuss contextual factors, barriers, and facilitators of innovation in greater detail [15]. The dual method of incorporating both quantitative metrics and qualitative perspectives is widely endorsed for holistic organizational readiness studies [14]. All survey data were extracted from the ERP-BPMS BOS CIS system employed by Mastergaz to manage and document project activities. Although BOS CIS automates numerous operational processes, the specialists at Mastergaz continuously apply standard checklists and protocols to cross-check system outputs. This synergy between automated modules and expert oversight ensures reliable data and offers a practical illustration of how an integrative innovation framework can be reproduced and scaled in other contexts.

Quantitative analyses were performed using descriptive statistics, correlation analysis, and regression modeling to explore the relationships between IRI scores and specific project outcomes [16]. Descriptive statistics elucidated the central tendencies of the IRI and provided insights into sample variance [17]. Correlation analysis measured the direction and strength of the associations among the IRI components and standard project success indicators, while regression modeling evaluated whether higher IRI scores predicted more favorable results, thus empirically assessing the robustness of the index. Validation of the IRI involved comparing its scores with actual project performance metrics, including completion rates, budget adherence, and stakeholder satisfaction. This stage comprised a retrospective review of historical data to estimate the predictive accuracy of the iri, a method aligned with earlier research stressing the need to align readiness indicators with real-world performance [18]. In addition to these quantitative steps, workshops were held with the study participants to gather feedback on the IRI's clarity and applicability [14], following standard practices that highlight iterative refinement in readiness validation [19]. Feedback from these sessions supported the method's face validity and led to minor adjustments in IRI criteria, illustrating the importance of collaborative input [20]. Such participatory refinements are also consistent with literature advocating structured approaches to digital innovation readiness [13].

By integrating standardized survey metrics with context-rich qualitative evidence, the methodology provided a multi-layered exploration of how financial feasibility, effectiveness, and risk drive innovation success. The inclusion of expert verification steps within BOS CIS underscored how automated data collection can be augmented by specialist oversight, reinforcing both reproducibility and scalability of the proposed framework. This design generated a comprehensive empirical basis for further refining and generalizing the IRI to diverse organizational environments.

Results. Implementation of the innovation readiness index (iri) at Mastergaz offered substantial insights into innovation capabilities across multiple engineering projects, underscoring the IRI's utility as a predictive tool. The analysis revealed that projects with higher IRI scores generally demonstrated stronger performance

outcomes, including enhanced completion rates and more consistent budget adherence. This observation aligns with studies suggesting that technology-centric frameworks like the technology readiness level (trl) often neglect crucial organizational and financial considerations [21]. In contrast, the broader scope of the IRI addresses these gaps and delivers actionable guidance for project optimization, mirroring the recommendations of matrix-style readiness models that advocate integrated approaches to innovation assessment. Descriptive statistics indicated that the mean IRI score across all analyzed projects was 6.8, with a standard deviation of 1.5, suggesting a moderate level of innovation readiness within the portfolio. Correlation analysis showed a Pearson coefficient of 0.75 between IRI scores and project success metrics, indicating a robust positive relationship. Regression modeling further confirmed that projects scoring above 7 on the IRI achieved completion rates exceeding 90%, while those below 5 were more prone to budget overruns and reduced stakeholder satisfaction. These findings are consistent with frameworks such as the tram model, where technological and user dimensions jointly influence readiness outcomes [22], and they underscore the importance of recognizing multiple drivers of success [13].

Comparisons of IRI scores with actual performance data validated the tool's predictive capacity, highlighting the significance of context-specific assessments in achieving optimal results. Workshops held with Mastergaz participants enriched the method's practical relevance by incorporating additional considerations into the iri, including stakeholder engagement and regulatory compliance. This iterative process reflects adaptive methodologies for readiness assessment, which emphasize continual refinement based on stakeholder input [14]. The synergy between BOS CIS automation and the expert-led checklists at Mastergaz proved vital, as specialists cross-verified automated recommendations against on-site conditions to improve the reliability of the IRI evaluations.

Beyond these aggregated findings, Mastergaz applied the IRI to several distinct engineering initiatives. Two of these projects – the Meter Replacement Initiative and the Hvac Modernization Project – provide a closer look at how the IRI's three components (*f, e*, and *r*) operate in practice. In the Meter Replacement Initiative, financial feasibility (*f*) was high due to clear revenue potential and measurable cost savings, effectiveness (*e*) remained strong because installation teams followed carefully planned logistics, and risk (*r*) remained low thanks to reliable equipment supply. Normalizing these factors on a 1–10 scale yielded an IRI of 7.2, which corresponded with a 91% completion rate and a stakeholder satisfaction of 87%. By contrast, the Hvac Modernization Project featured moderate financial feasibility ($f = 7.0$) but a higher risk level ($r = 3.0$), given the need to coordinate multiple subcontractors and address uncertainties in equipment delivery. Its effectiveness ($e = 6.5$) was somewhat constrained by scheduling challenges. This combination resulted in an IRI of 5.8, aligning with a lower on-time completion rate of 78% and stakeholder satisfaction of 80%. Such comparisons confirmed that higher IRI scores tend to track with stronger performance metrics, mirroring patterns observed in earlier readiness-focused studies [22].

The following table 1 presents the primary projects examined in the study, showing their respective IRI scores along with outcome metrics.

Projects with higher IRI scores consistently exhibited more favorable outcomes. Residential Complex A, with an IRI score of 8.2, reached a 92% completion rate and a 95% budget adherence, demonstrating the tangible benefits of strong innovation readiness. By contrast, Residential Complex D, at 5.5 on the IRI scale, struggled to maintain timely completion and experienced notable cost overruns, which resonates with findings that a structured readiness assessment can positively influence resource allocation [21]. Further analysis showed that stakeholder satisfaction for projects above 7 on the IRI averaged 86%, in contrast to 67% for those below 5. These results demonstrate that robust innovation readiness supports both operational efficiency and stakeholder engagement, reflecting parallel evidence that readiness correlates with advanced management practices.

To underscore how IRI operates at a granular level, Table 2 below provides additional detail on two representative projects – the Meter Replacement Initiative and the Hvac Modernization Project. Each row presents the normalized values for financial feasibility (*f*), effectiveness (*e*), and risk (*r*), the resulting iri, and relevant performance indicators.

Table 1 – The primary projects examined in the study, showing their respective IRI scores along with outcome metrics

Таблиця 1 – Основні проєкти, розглянуті в дослідженні, із зазначенням відповідних балів IRI разом із показниками результатів

Project Name	Budget (dollars)	IRI Score	Completion Rate (%)	Budget Adherence (%)	Stakeholder Satisfaction (%)
Residential Complex A	95,000	8.2	92	95	88
Residential Complex B	85,000	7.5	90	90	85
Residential Complex C	100,000	6.0	75	80	70
Residential Complex D	70,000	5.5	60	70	65

Table 2 – Additional detail on two representative projects—the Meter Replacement Initiative and the Hvac Modernization Project

Таблиця 2 – Додаткові деталі до двох репрезентативних проєктів — Ініціативи із заміни лічильників та Проєкту модернізації системи Hvac

Project Name	f	e	r	$iri = (f \cdot e)/(1+r)$	Completion Rate (%)	Budget Adherence (%)	Stakeholder Satisfaction (%)
Meter Replacement Initiative	8.0	8.2	1.2	7.2	91	93	87
Hvac Modernization Project	7.0	6.5	3.0	5.8	78	85	80

In the Meter Replacement Initiative, the elevated score (7.2) reflected high financial viability and solid execution, coupled with well-managed risks for equipment sourcing. This project benefited from Mastergaz's existing BOS CIS logs, where daily records of sensor data and installation schedules fed into the effectiveness dimension, while budget estimates and procurement ledgers updated the financial feasibility dimension. Risk assessments were derived from a combination of supply-chain status reports and weekly engineering reviews. The consistently high correlation between IRI and the project's successful outcome affirms that well-coordinated logistics and stable financing are key enablers of innovation readiness.

In contrast, the Hvac Modernization Project exhibited a more complex risk environment because imported parts faced delays at customs, and multiple subcontractors had to synchronize their efforts. Although the budget remained feasible and partially offset by anticipated energy savings, the heightened risk (r = 3.0) weighed down the IRI to 5.8. The final completion rate, consequently, reached only 78%, illustrating how an increased risk profile can adversely affect operational metrics, even when other elements of readiness are moderately strong.

A feedback loop mechanism initiated during Mastergaz's workshops enabled participants to discuss challenges and propose refinements to the IRI methodology, including clarifications of financial feasibility

criteria and more precise definitions of effectiveness metrics. This participatory approach reinforced the tool's validity and cultivated a shared sense of ownership, reflecting strategies advocated by adaptive readiness models [14]. Although the IRI has already been successfully adopted at Mastergaz, it carries potential for broader application in fields such as construction, healthcare, or manufacturing, provided that organizational culture, scope complexity, and stakeholder dynamics are taken into account. Integrating the IRI into existing project management platforms – particularly the BOS CIS environment – can also streamline data collection, thereby accelerating decision-making and resource allocation.

Longitudinal monitoring across multiple projects and service requests may further clarify how innovation readiness evolves over time and whether higher IRI scores have a lasting effect on budgetary outcomes, completion rates, and stakeholder satisfaction. This longer-term perspective resonates with research emphasizing deeper analyses to capture the full impact of readiness across diverse projects. It is also necessary to acknowledge certain limitations, notably the challenges in consistently measuring perceived risk in multifaceted stakeholder settings. Expanding the IRI by adding targeted risk variables and refining the financial and operational criteria may broaden its applicability [21]. Such refinements will help organizations leverage the IRI's benefits more fully, leading to a more comprehensive understanding of innovation readiness and reinforcing its essential role in delivering successful project outcomes.

Discussion. The findings from implementing the innovation readiness index (iri) at Mastergaz highlight the value of a holistic approach to assessing innovation readiness in engineering projects. A key outcome is confirmation that higher IRI scores strongly correlate with project success, as reflected in enhanced completion rates, improved budget adherence, and greater stakeholder satisfaction. This observation is consistent with frameworks such as the product innovation readiness level (p-irl), which integrate project, market, and technological dimensions [1]. By combining financial feasibility, effectiveness, and risk, the IRI effectively addresses limitations in conventional readiness tools like the technology readiness level (trl), which emphasize technological maturity while often overlooking organizational and market factors critical for success [4].

The hypothesis that elevated IRI scores are linked to better project outcomes appears to hold true. The average IRI score of 6.8, together with a Pearson correlation coefficient of 0.75, reinforces the importance of embedding multiple dimensions of readiness – financial, operational, and stakeholder – in predictive assessments. This multi-dimensional stance aligns with literature indicating that narrow, technology-focused models do not adequately capture the complexities of innovation in contexts such as engineering, construction, or manufacturing [23]. Tools like the readiness navigator underscore market and technological readiness but omit user-centric and risk elements [14], while certain organizational readiness frameworks in construction overlook the adaptability needed to operate effectively across diverse sectors [21]. The IRI thus distinguishes itself by incorporating financial considerations and risk management strategies, a critical advantage demonstrated by the positive performance of Mastergaz projects with high IRI scores.

Structured assessment methods that address both internal and external constraints appear to be crucial in translating readiness into tangible outcomes. This principle is particularly evident in the workshops at Mastergaz, where stakeholder feedback was systematically integrated to clarify the IRI's criteria. Such an iterative process is echoed in research on dynamic stakeholder engagement for co-creating innovative solutions [24]. Unlike open innovation frameworks that often prioritize external collaboration at the expense of internal organizational metrics [25], the IRI provides a balanced approach, aligning both internal readiness measures and external partnership opportunities. Similar adaptability surfaces in other contexts, such as the green innovation framework, yet that approach tends to favor environmental considerations and lacks robust financial or risk analysis [22]. By contrast, the IRI's comprehensive orientation resonates with methodologies like scaling readiness, although the latter has been critiqued for giving limited attention to financial feasibility and risk factors in more complex engineering environments [10]. The IRI stands out by systematically blending diverse readiness components, offering project teams a clear diagnostic tool to direct resources and drive innovation.

Engaging employees and stakeholders in the evaluation process was pivotal, as dynamic capabilities research notes that stakeholder involvement can catalyze innovation [26]. Traditional frameworks typically lack quantitative mechanisms for measuring this readiness and predicting outcomes, whereas the IRI provides

a structured model that integrates both qualitative and quantitative data. This feature satisfies the recognized need for a tool extending beyond technological maturity to encompass business, operational, and user-focused aspects. The strong correlation between high IRI scores and successful project implementation at Mastergaz thus validates the IRI's ability to offer an integrated perspective that is directly relevant to project managers.

Despite these encouraging results, certain constraints warrant recognition. The purposive sampling strategy captured insights from individuals deeply involved in innovative projects but may limit how broadly the findings can be generalized. Similar limitations have been reported in other readiness frameworks, such as the product innovation readiness level (p-irl), which faced challenges in adapting to varied industrial contexts [1]. Another factor is the potential bias in self-reported data concerning financial feasibility, effectiveness, and risk, an issue also observed in long-term care readiness evaluations [27]. Incorporating objective measures, such as real-time project analytics and third-party evaluations, could minimize such bias, in line with advanced readiness models for digital innovation [19]. Mastergaz's specific organizational setting may not perfectly mirror conditions in other sectors, suggesting that further research should validate the IRI across a wider variety of industries. Comparative analyses, for instance between construction and healthcare, might identify best practices and refinements essential for diverse operational contexts [21]. Future research could also include longitudinal studies of the IRI's impact on sustained innovation performance, assessing whether projects that maintain high IRI scores over time are better equipped to handle organizational shifts and stakeholder demands. Broadening the framework to integrate regulatory compliance and more nuanced market dynamics could further enrich its scope [22]. Such explorations would deepen understanding of how an integrated readiness measure like the IRI fosters resilient, innovative project environments and further confirm its potential as a universal tool in the field of project management.

Conclusion

This study demonstrates that the innovation readiness index (iri) provides a robust framework for evaluating innovation capacity in engineering projects by consolidating financial feasibility, effectiveness, and risk into a single assessment. With an average IRI score of 6.8 and a strong correlation of 0.75 with project success metrics at Mastergaz, the findings highlight how holistic readiness measures significantly influence outcomes such as completion rates and stakeholder satisfaction. The mixed-methods approach, integrating quantitative surveys and qualitative interviews, effectively captured both numerical and contextual dimensions of readiness. The IRI's adaptability suggests its potential applicability across diverse sectors, extending earlier insights that emphasize the importance of multi-dimensional readiness models [1, 22].

Managerial implications indicate that systematically monitoring key readiness components can provide substantial benefits, especially when done through a participatory process. Engaging Mastergaz employees in refining the IRI illustrates the value of involving project teams in co-developing readiness metrics, which promotes ownership and alignment with organizational objectives. By thoroughly examining financial feasibility, effectiveness, and risk, managers can more accurately allocate resources, address challenges, and improve stakeholder relations. This structured approach enables data-driven decisions and fosters a culture where continuous improvement harmonizes innovative efforts with broader business goals.

Theoretical implications suggest that the IRI enriches existing readiness literature by incorporating financial factors and risk analysis into a cohesive framework. Earlier models often concentrate on technological or market aspects but overlook financial viability and organizational dynamics, which are vital in complex engineering settings [4]. The IRI fills this gap by intertwining multiple dimensions, paving the way for further inquiry into industry-specific or context-specific adaptations. Future research might build on these foundations by investigating additional variables, such as regulatory constraints or long-term sustainability, to sharpen the IRI's predictive capabilities and applicability in various organizational environments.

In conclusion, the successful implementation of the IRI at Mastergaz underscores its utility as both an evaluative tool for project-level innovation readiness and a conceptual framework for advancing readiness theory. While reliance on a single organizational setting and self-reported data remains a limitation, the strong correlation between IRI scores and project performance supports the index's core validity. Extending the IRI to larger samples and varied industries would enhance its generalizability and reinforce its capacity to guide

strategic innovation decisions. By adopting a comprehensive readiness perspective, organizations can navigate the complexities of modern project environments more effectively and sustain innovation success in the long term.

References

1. Sercan, O., Stornelli, A., & Simms, C. (2024). A Product Innovation Readiness Level Framework. *IEEE Transactions on Engineering Management,* 71(4), 9920-9937. https://doi.org/10.1109/TEM.2023.3312595
2. Boanță, L., Marin, A., Zapciu, M., & Rânea, B.-G. (2023). Commercial readiness index for Littar® asphalt concrete. *Towards Increased Business Resilience.* https://doi.org/10.56177/11icmie2023.22
3. Penny, J., Dlugoborskyte, V., Draper, K., Fonseca, A., Baker, K., Chen, A. S., Manojlovic, N., & Vojinovic, Z. (2024). Innovating nature-based solutions: Learnings from the EU Horizon 2020 RECONECT project. *Blue-Green Systems.* https://doi.org/10.2166/bgs.2024.048
4. Lunner, C., Worrmann, E., & Sundström, P. (2018). Introducing Innovation Readiness Levels – A Framework to Evaluate Innovation Efforts. 94p.
5. Blut, M., & Wang, C. (2019). Technology readiness: A meta-analysis of conceptualizations of the construct and its impact on technology usage. *Journal of the Academy of Marketing Science,* 48(3), 649-669. https://doi.org/10.1007/S11747-019-00680-8
6. Biloskurskyi, R. (2022). Agile methodology of implementation of ERP information systems. *Scientific Opinion: Economics and Management.* https://doi.org/10.32836/2521-666x/2022-77-12
7. Oksamytna, L., & Praha, R. (2022). Features of modern ERP-systems for business process management of the enterprise. *Management of Development of Complex Systems.* https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.31-40
8. Srivastava, D., & Batra, A. (2020). ERP systems. *Independent Research Publication.* . Publisher: I K International Publishing House. 306p. ISBN-13 : 978-9380578149.
9. Wijaya, S., Egeten, A. E., & Wiratama, J. (2024). Development of open source big data technology using project management to address complexity in ERP implementation. *2024 5th International Conference on Big Data Analytics and Practices (IBDAP),* 6-11. https://doi.org/10.1109/IBDAP62940.2024.10689692
10. Sartas, M., Schut, M., Proietti, C., Thiele, G., & Leeuwis, C. (2020). Scaling readiness: Science and practice of an approach to enhance impact of research for development. *Agricultural Systems,* 183, 102874. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102874
11. Domlyn, A. M., & Wandersman, A. (2019). Community coalition readiness for implementing something new: Using a Delphi methodology. *Journal of Community Psychology,* 47(4), 882-897. https://doi.org/10.1002/jcop.22161
12. Galvez, D., Enjolras, M., Camargo, M., Boly, V., & Claire, J. (2018). Firm readiness level for innovation projects: A new decision-making tool for innovation managers. *Administrative Sciences,* 8(1), 6. https://doi.org/10.3390/ADMSCI8010006
13. Taganoviq, B., Kurutkan, M. N., Bağış, M., et al. (2023). Psychometric assessment of organizational readiness scale for digital innovations. *Human Systems Management*. https://doi.org/10.3233/hsm-220202
14. Eljasik-Swoboda, T., Rathgeber, C., & Hasenauer, R. (2019). Assessing technology readiness for artificial intelligence and machine learning-based innovations. *Proceedings of the 11th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*, 281–288. https://doi.org/10.5220/0007946802810288
15. Cheng, M., Cheung, C., Tsui, E., & Wan, K. L. (2018). Readiness analysis of open innovation – A self-assessment method. *International Journal of Knowledge and Systems Science,* 9(4), 16–44. https://doi.org/10.4018/IJKSS.2018100102

16. Nasrollahi, M., & Ramezani, J. (2020). A model to evaluate the organizational readiness for big data adoption. *International Journal of Computers, Communications & Control,* 15(3). https://doi.org/10.15837/ijccc.2020.3.3874

17. Ariansyah, K., Setiawan, A. B., & Hikmaturokhman, A. (2024). Big data readiness in the public sector: An assessment model and insights from Indonesian local governments. *Journal of Science and Technology Policy Management*. https://doi.org/10.1108/jstpm-01-2023-0010

18. Benson, T. (2019). Digital innovation evaluation: user perceptions of innovation readiness, digital confidence, innovation adoption, user experience and behaviour change. *BMJ Health & Care Informatics,* 26(1). https://doi.org/10.1136/bmjhci-2019-000018

19. Lokuge, S., Sedera, D., Grover, V., & Xu, D. (2019). Organizational readiness for digital innovation: Development and empirical calibration of a construct. *Information & Management,* 56(3), 445-461. https://doi.org/10.1016/j.im.2018.09.001

20. Leonard, E., De Kock, I. H., & Bam, W. (2019). The development of a healthcare innovation adoption readiness assessment tool (HIARAT). *South African Journal of Industrial Engineering,* 30(1). https://doi.org/10.7166/30-1-2013

21. Akunyumu, S., Fugar, F., Adinyira, E., & Danku, J. (2020). A review of models for assessing readiness of construction organisations to innovate. *Construction Innovation: Information, Process, Management.* https://doi.org/10.1108/ci-01-2020-0014

22. Kampa, R. K. (2023). Combining technology readiness and acceptance model for investigating the acceptance of m-learning in higher education in India. *Asian Association of Open Universities Journal*. https://doi.org/10.1108/aaouj-10-2022-0149

23. Zhang, Y., Sun, J., Yang, Z., & Wang, Y. (2020). Critical success factors of green innovation: Technology, organization and environment readiness. *Journal of Cleaner Production,* 264, 121701. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121701

24. Watson, R., Wilson, H., Smart, P., & Macdonald, E. K. (2018). Harnessing difference: A capability-based framework for stakeholder engagement in environmental innovation. *Journal of Product Innovation Management,* 35(3), 254-279. https://doi.org/10.1111/JPIM.12394

25. Grama-Vigouroux, S., Saidi, S., Berthinier-Poncet, A., Vanhaverbeke, W., & Madanamoothoo, A. (2020). From closed to open: A comparative stakeholder approach for developing open innovation activities in SMEs. *Journal of Business Research*. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.08.016

26. Leonidou, E., Christofi, M., Vrontis, D., & Thrassou, A. (2020). An integrative framework of stakeholder engagement for innovation management and entrepreneurship development. *Journal of Business Research*, 119, 245-258. https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2018.11.054

27. Van den Hoed, M., Backhaus, R., Beaulen, A., Hamers, J., & Daniels, R. (2023). Development of an evidence-based framework for innovation readiness of long-term care organizations. *Innovation in Aging,* 7(1019), 1019-1019. https://doi.org/10.1093/geroni/igad104.3275

ОЦІНКА ІННОВАЦІЙНОЇ ГОТОВНОСТІ В УПРАВЛІННІ ПРОЕКТАМИ: КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА МЕТОДИКИ IRI

Черненко Юрій Володимирович, кандидат технічних наук, докторант відділу докторантури Закладу вищої освіти «Міжнародний університет бізнесу та права», Україна, *yc.gbbio@gmail.com*, *https://orcid.org/0000-0002-7008-7274*

Бедрій Дмитро Іванович, доктор технічних наук, доцент, старший дослідник, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення», Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна, *dimi7928@gmail.com*, *https://orcid.org/0000-0002-5462-1588*

Семко Інга Борисівна, кандидат технічних наук, доцент, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна, *i.semko@chdtu.edu.ua, https://orcid.org/0000-0002-6251-5830*

Анотація. У цьому дослідженні представлено індекс готовності до інновацій (iri), структуровану структуру для оцінки спроможності організації до інновацій у інженерних проєктах шляхом об'єднання фінансової здійсненності, ефективності та ризику. Стратегія змішаних методів застосовувалася в провідній IT-інжиніринговій компанії «Мастергаз». Дані від 30 зацікавлених сторін проєкту були зібрані за допомогою кількісних опитувань та якісних інтерв'ю та проаналізовані на предмет кореляції з ключовими результатами проєкту. Результати демонструють сильний позитивний зв'язок між вищими значеннями IRI та покращеною продуктивністю проєкту, включаючи кращі показники завершеності та підвищене задоволення зацікавлених сторін. Середня оцінка IRI 6,8 у поєднанні з кореляцією Пірсона 0,75 вказує на те, що проєкти з більшою готовністю до інновацій мають більше шансів на успіх. Дослідження також демонструє адаптивність IRI до різних галузей промисловості. Впровадження структурованого багатовимірного індексу готовності може керувати розподілом ресурсів, покращити залучення зацікавлених сторін і полегшити прийняття рішень на основі даних в процесі управління проєктом. Це дослідження полегшує поточне розуміння готовності до інновацій, запроваджуючи комплексну модель, яка включає фінансові, операційні та ризикові міркування. У подальшому, робота включатиме перевірку IRI в різних організаційних умовах і розширення його критеріїв для охоплення ширших вимірів зацікавлених сторін.

Ключові слова: управління проєктом, управління на основі вартості, вартість проєкту, зацікавлені сторони, показники вартості проєкту, концептуальна модель, пасажирські перевезення, ризики.

Перелік посилань

1 Sercan, O., Stornelli, A., & Simms, C. (2024). A Product Innovation Readiness Level Framework. *IEEE Transactions on Engineering Management,* 71(4), 9920-9937. URL: https://doi.org/10.1109/TEM.2023.3312595

2 Boanță, L., Marin, A., Zapciu, M., & Rânea, B.-G. (2023). Commercial readiness index for Littar® asphalt concrete. *Towards Increased Business Resilience.* https://doi.org/10.56177/11icmie2023.22

3 Penny, J., Dlugoborskyte, V., Draper, K., Fonseca, A., Baker, K., Chen, A. S., Manojlovic, N., & Vojinovic, Z. (2024). Innovating nature-based solutions: Learnings from the EU Horizon 2020 RECONECT project. *Blue-Green Systems.* URL: https://doi.org/10.2166/bgs.2024.048

4 Lunner, C., Worrmann, E., & Sundström, P. (2018). Introducing Innovation Readiness Levels – A Framework to Evaluate Innovation Efforts. 94 p.

5 Blut, M., & Wang, C. (2019). Technology readiness: A meta-analysis of conceptualizations of the construct and its impact on technology usage. *Journal of the Academy of Marketing Science,* 48(3), 649-669. URL: https://doi.org/10.1007/S11747-019-00680-8

6 Biloskurskyi, R. (2022). Agile methodology of implementation of ERP information systems. *Scientific Opinion: Economics and Management.* https://doi.org/10.32836/2521-666x/2022-77-12

7 Оксамитна, Л., Пряха, Р. Особливості сучасних ERP-систем управління бізнес-процесами підприємства. *Управління розвитком складних систем*, 2022. (51), 31–40. DOI: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.51.31-40

8 Srivastava, D., & Batra, A. (2020). ERP systems. *Independent Research Publication*. Publisher: I K International Publishing House. 306p. ISBN-13 : 978-9380578149.

9 Wijaya, S., Egeten, A. E., & Wiratama, J. (2024). Development of open source big data technology using project management to address complexity in ERP implementation. *2024 5th International Conference on Big Data Analytics and Practices (IBDAP),* 6-11. URL: https://doi.org/10.1109/IBDAP62940.2024.10689692

10 Sartas, M., Schut, M., Proietti, C., Thiele, G., & Leeuwis, C. (2020). Scaling readiness: Science and practice of an approach to enhance impact of research for development. *Agricultural Systems,* 183, 102874. URL: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102874

11 Domlyn, A. M., & Wandersman, A. (2019). Community coalition readiness for implementing something new: Using a Delphi methodology. *Journal of Community Psychology,* 47(4), 882-897. URL: https://doi.org/10.1002/jcop.22161

12 Galvez, D., Enjolras, M., Camargo, M., Boly, V., & Claire, J. (2018). Firm readiness level for innovation projects: A new decision-making tool for innovation managers. *Administrative Sciences,* 8(1), 6. URL: https://doi.org/10.3390/ADMSCI8010006

13 Taganoviq, B., Kurutkan, M. N., Bağış, M., et al. (2023). Psychometric assessment of organizational readiness scale for digital innovations. *Human Systems Management*. URL: https://doi.org/10.3233/hsm-220202

14 Eljasik-Swoboda, T., Rathgeber, C., & Hasenauer, R. (2019). Assessing technology readiness for artificial intelligence and machine learning-based innovations. *Proceedings of the 11th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*, 281–288. URL: https://doi.org/10.5220/0007946802810288

15 Cheng, M., Cheung, C., Tsui, E., & Wan, K. L. (2018). Readiness analysis of open innovation – A self-assessment method. *International Journal of Knowledge and Systems Science,* 9(4), 16–44. URL: https://doi.org/10.4018/IJKSS.2018100102

16 Nasrollahi, M., & Ramezani, J. (2020). A model to evaluate the organizational readiness for big data adoption. *International Journal of Computers, Communications & Control,* 15(3). URL: https://doi.org/10.15837/ijccc.2020.3.3874

17 Ariansyah, K., Setiawan, A. B., & Hikmaturokhman, A. (2024). Big data readiness in the public sector: An assessment model and insights from Indonesian local governments. *Journal of Science and Technology Policy Management*. URL: https://doi.org/10.1108/jstpm-01-2023-0010

18 Benson, T. (2019). Digital innovation evaluation: user perceptions of innovation readiness, digital confidence, innovation adoption, user experience and behaviour change. *BMJ Health & Care Informatics,* 26(1). https://doi.org/10.1136/bmjhci-2019-000018

19 Lokuge, S., Sedera, D., Grover, V., & Xu, D. (2019). Organizational readiness for digital innovation: Development and empirical calibration of a construct. *Information & Management,* 56(3), 445-461. URL: https://doi.org/10.1016/j.im.2018.09.001

20 Leonard, E., De Kock, I. H., & Bam, W. (2019). The development of a healthcare innovation adoption readiness assessment tool (HIARAT). *South African Journal of Industrial Engineering,* 30(1). URL: https://doi.org/10.7166/30-1-2013

21 Akunyumu, S., Fugar, F., Adinyira, E., & Danku, J. (2020). A review of models for assessing readiness of construction organisations to innovate. *Construction Innovation: Information, Process, Management.* URL: https://doi.org/10.1108/ci-01-2020-0014

22 Kampa, R. K. (2023). Combining technology readiness and acceptance model for investigating the acceptance of m-learning in higher education in India. *Asian Association of Open Universities Journal*. URL: https://doi.org/10.1108/aaouj-10-2022-0149

23 Zhang, Y., Sun, J., Yang, Z., & Wang, Y. (2020). Critical success factors of green innovation: Technology, organization and environment readiness. *Journal of Cleaner Production,* 264, 121701. URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121701

24 Watson, R., Wilson, H., Smart, P., & Macdonald, E. K. (2018). Harnessing difference: A capability-based framework for stakeholder engagement in environmental innovation. *Journal of Product Innovation Management,* 35(3), 254-279. URL: https://doi.org/10.1111/JPIM.12394

25 Grama-Vigouroux, S., Saidi, S., Berthinier-Poncet, A., Vanhaverbeke, W., & Madanamoothoo, A. (2020). From closed to open: A comparative stakeholder approach for developing open innovation activities in SMEs. *Journal of Business Research*. URL: https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.08.016

26 Leonidou, E., Christofi, M., Vrontis, D., & Thrassou, A. (2020). An integrative framework of stakeholder engagement for innovation management and entrepreneurship development. *Journal of Business Research*, 119, 245-258. URL: https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2018.11.054

27 Van den Hoed, M., Backhaus, R., Beaulen, A., Hamers, J., & Daniels, R. (2023). Development of an evidence-based framework for innovation readiness of long-term care organizations. *Innovation in Aging,* 7(1019), 1019-1019. URL: https://doi.org/10.1093/geroni/igad104.3275

УДК 621.879
UDK 621.879

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-221-231

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ РОБОТИ ГУСЕНИЧНИХ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН ЗА НАЯВНОСТІ БІЧНИХ СИЛ В ЗОНІ КОНТАКТУ РУШІЇВ З ОПОРНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

ENSURING OPERATING CONDITIONS OF TRACKED EARTHMOVING MACHINES UNDER THE INFLUENCE OF LATERAL FORCES IN THE CONTACT ZONE OF TRACK DRIVES WITH THE SUPPORTING SURFACE



Мусійко Володимир Данилович, *доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: musvd48@gmail.com, тел.:+380501040262,*

https://orcid.org/0000-0001-9983-3296



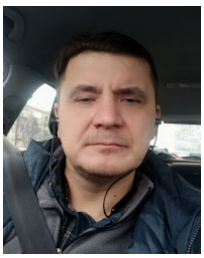
Коваль Андрій Борисович, *кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: kandr6104@gmail.com, тел.:+380500240894,*

https://orcid.org/0000-0003-1295-8200



Ніколаєнко Володимир Анатолійович, *кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: vanikolaienko@ukr.net, тел.:+3806797861172,*

https://orcid.org/0000-0003-3983-0434



Пасенко Юрій Васильович, *аспірант кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: 280bar@gmail.com, тел.: +380675022751,*

https://orcid.org/0000-0002-2986-8781



Дубінін Максим Сергійович, *аспірант кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Національний транспортний університет, Київ, Україна e-mail: maxmk1989@gmail.com, тел.: +380678203604,*

https://orcid.org/0009-0009-2140-5131

Анотація: В статті розглянуто питання забезпечення умов стабільної роботи землерийних машин безперервної дії та машин іншого технологічного призначення за умови дії на них поперечних сил в зоні контакту гусеничного рушія з опорною поверхнею. Вказана ситуація цілком можлива, насамперед, під час роботи землерийних машин на ґрунтових майданчиках складного рельєфу. Крім того, робота траншейно-котлованних машин в режимі віяльно-поступальної подачі робочого органа на ґрунт забою також пов'язана з дією на машину поперечних сил.

Комплексна задача забезпечення виключення сповзання землерийних машин під дією бічних сил за умови їх роботи як на горизонтальних ґрунтових майданчиках, так і на косогорах потребує першочергового її вирішення аналітичним шляхом. Сповзання машин, що працюють в режимі повороту може бути усунено шляхом виключення буксування менш навантаженої гусениці в процесі переміщення машини.

В роботі складено розрахункову схему, приведено залежності для визначення поздовжньої і поперечної сил що діють на гусеничний рушій, моменту опору повороту машини, що викликають зміщення полюса повороту гусеничного ланцюга, який лежить на ґрунті. Вказано, що для визначення допустимого значення поперечної сили, дія якої виключає бічне зміщення гусениці в напрямі дії вказаної сили, необхідно визначити допустиму комбінацію дії поздовжньої і поперечної сил на гусеничний рушій та, відповідно, момент опору повороту. Можливий поворот нижньої гілки гусениці під час сповзання машини відбувається навколо центру повороту машини, що не співпадає з центром опорної поверхні гусениці. Розкрито кінематику руху гусениці під час сповзання машини, визначено сили, що діють на гусеницю в цьому випадку. Виконано розрахунки та підтверджено залежність силових характеристик взаємодії гусеничного рушія з опорною поверхнею за умови зміни координат центра повороту машини.

Ключові слова: землерийна машина, ґрунт, косогір, поперечна сила, сповзання, центр повороту, центр опорної поверхні, гусениця, коефіцієнт зміни

Вступ. Землерийні машини, в тому числі землерийні машини безперервної дії, мають стабільно виконувати земляні роботи в різних умовах, які обумовлюються станом опорної ґрунтової поверхні, на якій працює машина, та рельєфом цієї поверхні. Особливими умовами роботи машин слід вважати їх роботу на косогорах, що викликає однозначну дію на машину поперечних сил, які спонукають втрату курсової стійкості та навіть керованості машини. Технології будівництва протяжних транспортних комунікацій (ліній зв'язку, трубопроводів, дренажних систем) передбачають їх прокладання як в різних ґрунтових умовах, так і на місцевості різного рельєфу. Траси прокладки трубопроводів, наприклад, мають в повній мірі відповідати проектним вимогам, забезпечувати реалізацію яких буває складно, особливо під час копання траншей на косогорах в ґрунтах зі слабкою несучою здатністю. В результаті підвищується вірогідність сповзання машин по косогору. В таких випадках забезпечення стійкості та високопродуктивної роботи машин є першочерговою задачею, що потребує свого вирішення.

Аналіз результатів досліджень і публікацій. Умовам роботи гусеничного рушія тракторів та землерийних машин безперервної дії, методикам визначення параметрів рушія присвячено чимало робіт. Практичні рекомендації [1, 2] дозволяють вибрати тип підвіски, визначити основні геометричні параметри траків, ведучого та напрямного коліс. Аналіз конструкції підвісок гусеничних машин для визначення прохідності машин [3] та оціночні параметри гусеничного ланцюга з металевими та гумометалевими шарнірами забезпечують адекватність методик їх розрахунків. Залежність прохідності гусеничних машин від параметрів траків та кількості опорних котків розглянуто в роботі [4].

В роботі [5] проаналізовано вплив конструктивних параметрів гусеничного рушія на експлуатаційні та екологічні параметри тракторів загального призначення. Складена математична модель динаміки гусеничного рушія та його впливу на опорну поверхню.

Проблему руху гусеничного трактора в горбистих та гірських районах розглянуто [6] з точки зору підвищення рівня автоматизації системи вирівнювання.

В роботі [7] запропоновано методику розрахунку, яка дає змогу оцінити вплив попереднього натягу гусениці на основні характеристики статичного положення корпусу гусеничної машини. Показано, що керування зусиллям попереднього натягу суттєво впливає на параметри, які визначають енергоефективність гусеничного рушія, і цей вплив можна оцінити розрахунковим шляхом.

Дослідження впливу на ефективність роботи гусеничної машини таких чинників, як крок гусеничного обводу, жорсткість гусеничного рушія на розтягування, кутова жорсткість повороту двох сусідніх траків, зниження кроку гусеничного ланцюга, зменшення жорсткості гусениці на розтягування [8, 9] проводились без урахування додаткових збурень від зовнішніх сил.

Мета дослідження: визначення умов та шляхів забезпечення стійкості роботи гусеничних землерийних машин безперервної дії під час дії на них поперечних сил.

Основна частина.

Під час руху гусеничної машини на неї можуть діяти поперечні горизонтальні сили, що виникають за умови її переміщення на косогорі, у разі опирання на неї інших машин, що працюють спільно з аналізованою в технологічному комплексі, а також під час роботи машини в режимі повороту.

Наявність дії на машину горизонтальних поперечних сил обумовлює виникнення таких особливостей взаємодії гусениць з ґрунтами:

– траєкторія руху машини відрізняється від прямолінійної;

– під час повороту машини виникає небезпека сповзання її у бік дії поперечної сили;

– поперечна сила, прикладена на певній висоті від опорної поверхні гусениці призводить до неоднакових вертикальних навантажень на гусениці – довантажується гусениця, у бік якої прикладена поперечна сила, і розвантажується інша гусениця. Це може призвести до повного буксування менш навантаженої гусениці під час повороту машини.

Сповзання машини та повне буксування її менш навантаженої гусениці неприпустимо. Відхилення траєкторії руху машини від прямолінійного небажано.

У зв'язку з цим виникає необхідність вирішення наступних завдань:

– визначення розрахунковим шляхом (на стадії проектування) геометричних і силових параметрів машини та умов її руху, що виключають сповзання машини у бік дії поперечних сил;

– визначення ступеня відхилення вектора руху машини від прямолінійного напряму руху, тобто визначення розрахунковим шляхом радіусу траєкторії переміщення машини під час дії поперечних сил;

– визначення розрахунковим шляхом (на стадії проектування) умов, за яких неможливий рух машини через буксування менш навантаженої гусениці.

Розглянемо шляхи вирішення цих завдань.

Під час повороту машини сили опору повороту і сили, що долають момент опору повороту, виникають внаслідок дії сил тертя гусениць по ґрунту.

Розглянемо дію на одиночну гусеницю сил у площині її опирання на ґрунт за умови руху по криволінійній траєкторії руху. Схему дії сил показано на рис. 1.

Діючі на одну із гусениць поздовжня S і поперечна P сили та момент опору повороту M_c викликають поздовжнє l і поперечне v зміщення полюса повороту частини гусеничного ланцюга, що лежить на ґрунті. Кожному поєднанню величин l і v відповідають певні значення S, P і M. Тому для визначення допустимого значення поперечної сили необхідно знайти такі значення S, P і M, за яких забезпечується відсутність бічного зміщення гусениці убік дії поперечної сили. Для вирішення цього завдання, насамперед, необхідно знайти S, P і M, як функції від величин l і v.

Виберемо вісь координат OY вздовж поздовжньої осі гусениці, OX – перпендикулярно OY. Початок координат – у центрі опорної поверхні гусениць, (див. рис. 1).

У загальному випадку поворот нижньої гілки гусениці відбувається навколо полюса повороту O, зміщеного від центру опорної поверхні гусениці. Координати полюса повороту – в поздовжньому напрямку (осі OY) – l, в поперечному напрямку (вздовж осі OX) – v. Сила тертя dF гусениці по опорній

поверхні спрямована проти швидкості V_r руху елементарної ділянки гусениці щодо поверхні ґрунту. Розмір її дорівнює

$$dF=\mu dQ,$$

де $dQ = qdv$ – вертикальне навантаження на аналізовану елементарну ділянку гусениці;
$q = Q/L$ – погонне навантаження гусениці на ґрунт;
Q – вертикальне навантаження на гусеницю.

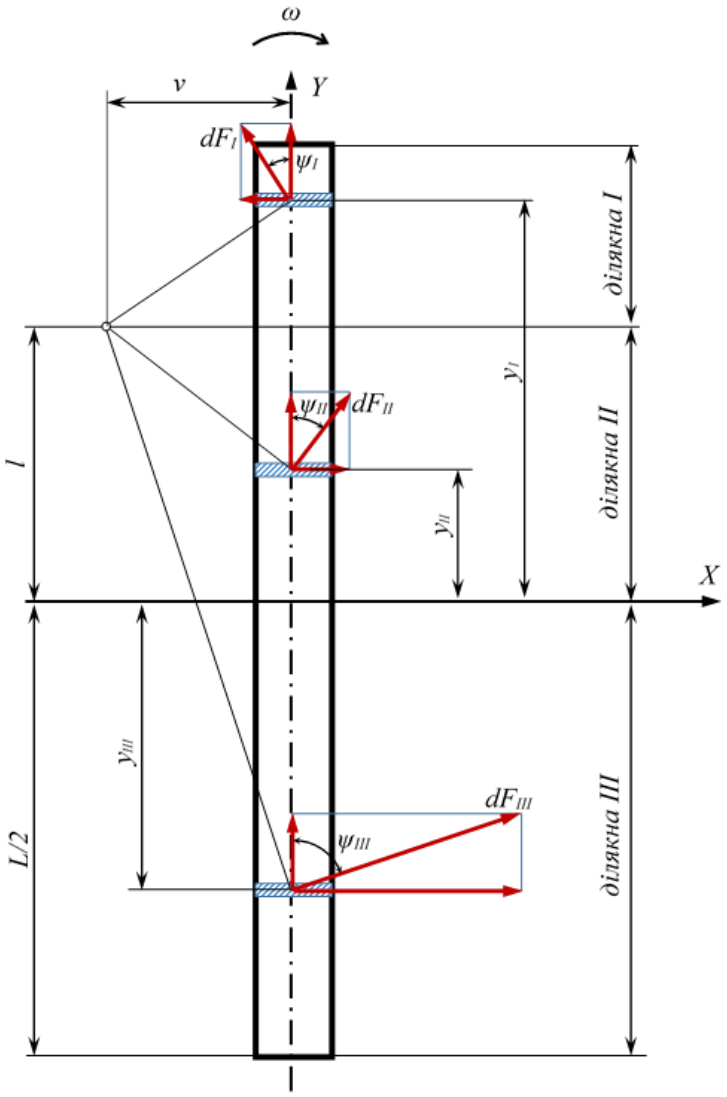


Рисунок 1 – Схема сил, які діють на гусеницю.
Figure 1 – Diagram of forces acting on the track.

Кут ψ між вектором абсолютної швидкості ділянки і поздовжньою віссю симетрії гусениці визначається залежностями:

$$\sin\psi = \frac{V_y}{V_r};\ \cos\psi = \frac{V_x}{V_r}. \quad (1)$$

Швидкість ковзання ділянки по ґрунту визначається:

$$V_r = \omega\sqrt{(y-l)^2 + v^2}, \tag{2}$$

де ω – кутова швидкість повороту машини разом з гусеницею.

Складові V_x і V_y швидкості V_r рівні

$$V_x = \omega(y-l); \tag{3}$$

$$V_y = \omega v. \tag{4}$$

З урахуванням цих залежностей отримуємо:

$$\sin\psi = \frac{V_x}{V_r} = \frac{\omega(y-l)}{\omega\sqrt{(y-l)^2+v^2}} = \frac{y-l}{\sqrt{(y-l)^2+v^2}}; \tag{5}$$

$$\cos\psi = \frac{v}{\sqrt{(y-l)^2+v^2}}. \tag{6}$$

Як відомо, система сил, що діють на тіло в площині, може бути приведена до головного вектора, прикладеного до будь-якої точки тіла та головного моменту. Систему сил, що діють з боку опорної поверхні ґрунту на гусеницю в площині опирання, приведемо до головного вектора F, прикладеного до центру опорної поверхні O та головного моменту M, щодо точки O, що є моментом опору повороту гусениці.

Головний вектор F розкладемо на дві складові – поперечну силу $F_x = P$, спрямовану по осі OX і поздовжню силу $F_y = S$ спрямовану по осі OY .

Для визначення зазначених сил і моменту дії сил розглянемо сили, що діють на елементарну ділянку гусениці.

Поперечна сила:

$$dF_x = \mu\frac{Q}{L_r}\sin\psi dy. \tag{7}$$

Поздовжня сила:

$$dF_y = \mu\frac{Q}{L_r}\cos\psi dy. \tag{8}$$

Момент дії сил тертя елементарної ділянки щодо центру опорної поверхні O:

$$dM = \mu\frac{Q_y}{L_r}\cos\varphi dy. \tag{9}$$

Сили F_x, F_y та момент визначаємо інтегруванням цих виразів у межах опорної поверхні гусениці.

Розділимо гусеницю на три ділянки (див. рис. 1). Розбивши її по довжині на $2N$ кінцевих відрізків, виконаємо чисельне інтегрування окремо для кожної з ділянок.

Тоді сила тяги визначиться за виразом:

$$S = \mu Q K_s, \tag{10}$$

де K_s – коефіцієнт зміни сили тяги в гусениці під час повороту машини.

$$K_s = K_{s1} + K_{s2} + K_{s3}\ , \tag{11}$$

де K_{s1} – коефіцієнт зміни сили тяги на I ділянці під час повороту:

$$K_{s1} = \frac{V}{2N}\left(\sum_L^N \frac{1}{\sqrt{V^2+(i-L)^2}}\right); \tag{12}$$

K_{s2} – коефіцієнт зміни сили тяги на II ділянці під час повороту:

$$K_{s2} = \frac{V}{2N}\left(\sum_1^L \frac{1}{\sqrt{V^2+(i-L)^2}}\right); \tag{13}$$

K_{s3} – коефіцієнт зміни сили тяги на III ділянці під час повороту:

$$K_{s3} = \frac{V}{2N}\left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{V^2+(i+L)^2}}\right). \tag{14}$$

Поздовжня сила:

$$P = \mu Q K_p, \tag{15}$$

де K_p – коефіцієнт зміни поперечної сили, що діє на гусеницю машини в процесі повороту.

$$K_p = -K_{p1} + K_{p2} + K_{p3}\ , \tag{16}$$

де K_{p1} – коефіцієнт зміни поперечної сили на I ділянці під час повороту:

$$K_{p1} = \frac{1}{2N}\left(\sum_L^N \frac{i-L}{\sqrt{V^2+(i-L)^2}}\right); \tag{17}$$

K_{p2} – коефіцієнт зміни поперечної сили на II ділянці під час повороту:

$$K_{p2} = \frac{1}{2N}\left(\sum_1^L \frac{i-L}{\sqrt{V^2+(i-L)^2}}\right); \tag{18}$$

K_{p3} – коефіцієнт зміни поперечної сили на III ділянці під час повороту:

$$K_{p3} = \frac{1}{2N}\left(\sum_1^N \frac{i+L}{\sqrt{V^2+(i+L)^2}}\right). \tag{19}$$

Момент опору повороту

$$M = \mu \frac{QL_r}{4B} K_M, \tag{20}$$

де K_M – коефіцієнт зміни моменту опору повороту гусениці в процесі повороту гусениці на опорній поверхні.

$$K_M = K_{M1} - K_{M2} + K_{M3}, \tag{21}$$

де K_{M1} – коефіцієнт зміни моменту опору повороту на першій ділянці під час повороту:

$$K_{M1} = \frac{1}{2\Sigma i}\left(\sum_{L}^{N}\frac{(i-L)i}{\sqrt{V^2+(i-L)^2}}\right); \quad (22)$$

K_{M2} – коефіцієнт зміни моменту опору повороту на II ділянці під час повороту:

$$K_{M2} = \frac{1}{2\sum_{1}^{N} i}\left(\sum_{1}^{L}\frac{(i-L)i}{\sqrt{V^2+(i-L)^2}}\right); \quad (23)$$

K_{M3} – коефіцієнт зміни моменту опору повороту на III ділянці під час повороту:

$$K_{M3} = \frac{1}{2\sum_{1}^{N} i}\left(\sum_{1}^{N}\frac{(i-L)i}{\sqrt{V^2+(i-L)^2}}\right). \quad (24)$$

В усіх залежностях відносні (у частинах) величини зміщення полюсу повороту машини у вибраній системі координат визначаються за формулами:

$$L = \frac{2Nl}{L_r};\ v = \frac{2NV}{L_r}. \quad (25)$$

Результати обчислень за наведеними формулами подано на рис. 2, 3, 4.

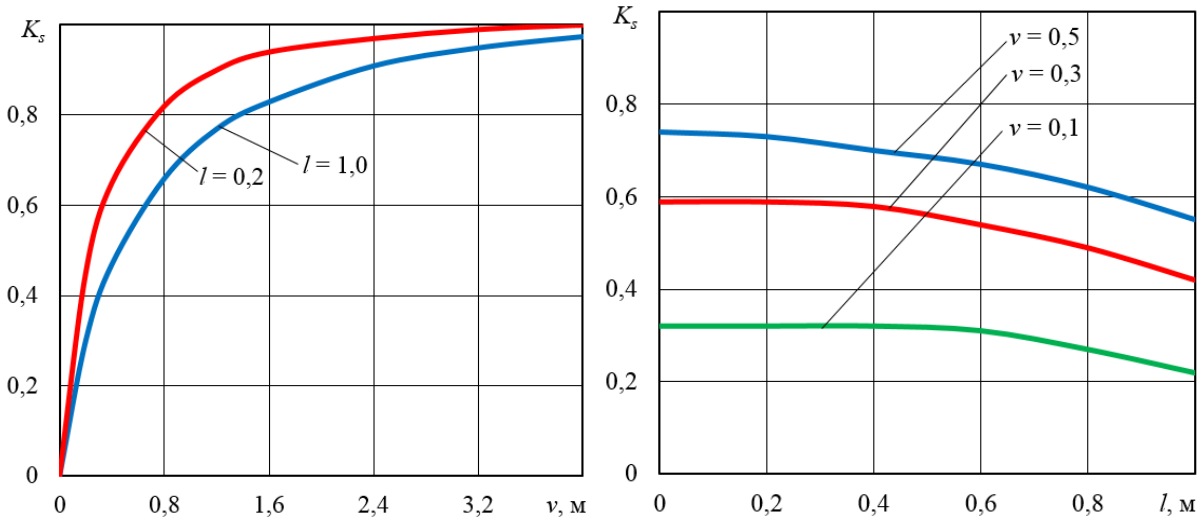


Рисунок 2 – Залежність K_S від зміщення полюса повороту гусениці
а – від поперечного; б – від поздовжнього зміщення полюса повороту
Figure 2 – Dependence of K_S on the displacement of the track turning pole:
a – due to lateral displacement; b – due to longitudinal displacement of the turning pole

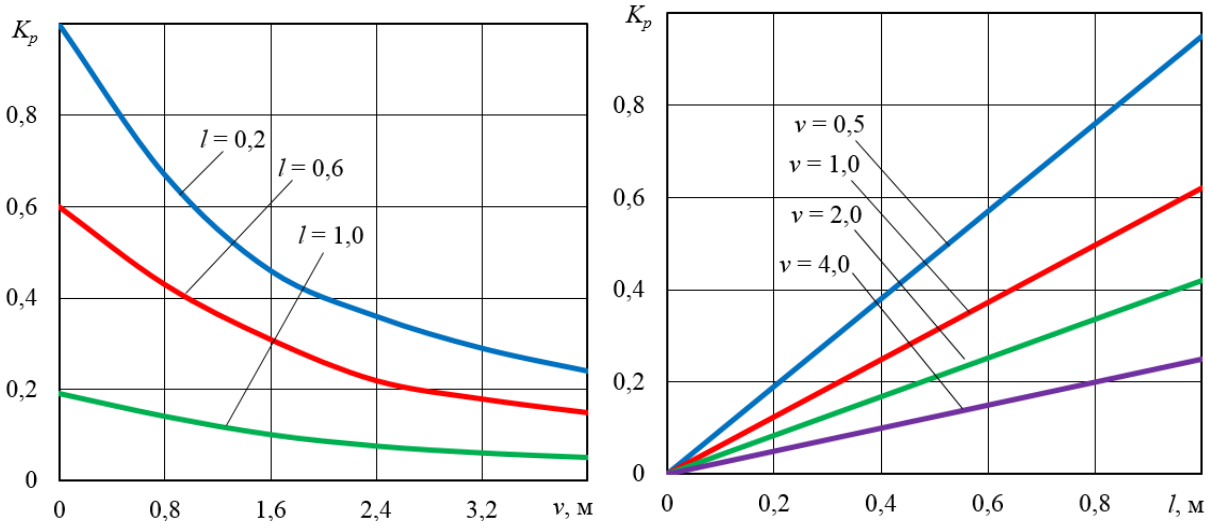


Рисунок 3 – Залежність K_P від зміщення полюса повороту гусениці
а – від поперечного; б – від поздовжнього зміщення полюса
Figure 3 – Dependence of K_P on the displacement of the track turning pole:
a – due to lateral displacement; b – due to longitudinal displacement of the turning pole

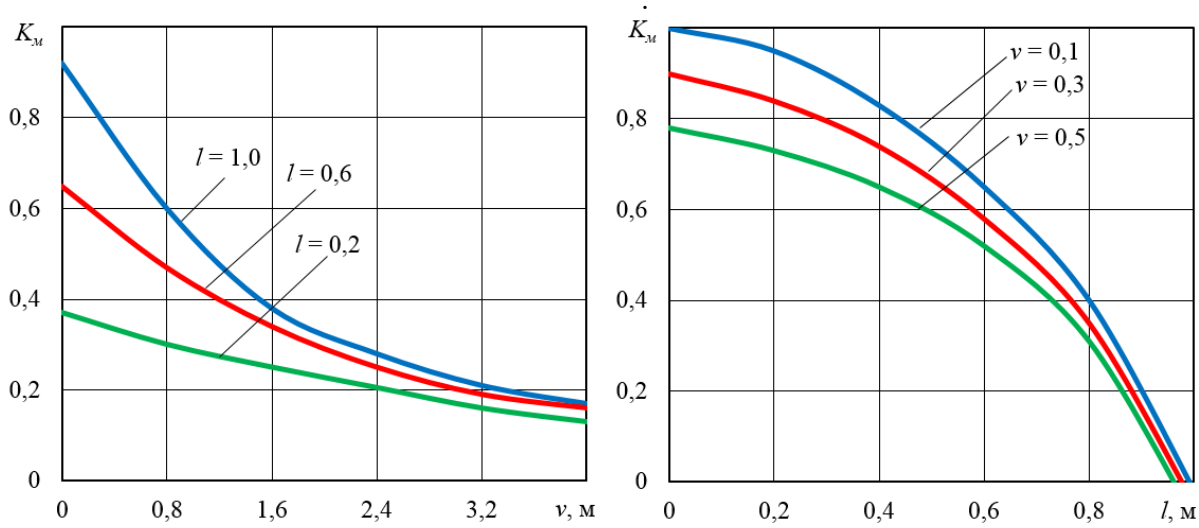


Рисунок 4 – Залежність K_M від зміщення полюса повороту гусениці
а – від поперечного; б – від поздовжнього зміщення полюса повороту
Figure 4 – Dependence of K_M on the displacement of the track turning pole:
a – due to lateral displacement; b – due to longitudinal displacement of the turning pol

Виконані розрахунки підтверджують суттєві зміни характеристик силової взаємодії гусениці (сили тяги T, поперечної сили P та моменту опору повороту M) з опорною поверхнею ґрунту за умови повороту машини на ґрунтовій поверхні. Маючи на увазі, що поворот машини однозначно пов'язаний зі зміною координат центру повороту машини встановлено факт та величину зміни кожного з силових параметрів в процесі зміни вказаних координат. Для простоти сприйняття отриманих результатів нами введено поняття коефіцієнтів зміни величини сили тяги T, бічної сили P та моменту опору повороту M від початку повороту до його закінчення.

Встановлена нелінійність зміни кожного з зазначених параметрів в процесі зміни координат полюсу повороту. Найбільш суттєво в процесі повороту змінюється сила тяги T в гусениці та момент опору повороту M, причому це більш характерно для координати поздовжнього зміщення центра повороту. Як правило, в процесі повороту машини поздовжня координата зміщення центру повороту змінюється в межах від нуля до 1 метра, поперечна координатна може зміщуватись на величину до 4 метрів. В процесі повороту сила тяги T в гусениці може збільшуватись з моменту початку повороту в 1,8…2 рази. Поперечна сила P максимальне значення має на початку повороту і може зменшуватись під час повороту на 20…80%, до тогож величина зменшення тим більша, чим більшою є величина поздовжнього зміщення.

Таким чином встановлена необхідність урахування в процесі виконання тягових розрахунків землерийних машин зміну характеристик силового навантаження гусениць в режимі повороту машини. Величина цього збільшення може бути подвійною, порівняно з характеристиками силового навантаження гусениць під час прямолінійного руху машини. Отримані і приведені на графіках характеристики силового навантаження гусениць в зоні контакту з опорною поверхнею забезпечують збереження стійкості машини під дією поперечних сил. Отримані результати мають бути підтверджені експериментально.

Висновки та рекомендації

1. Складено розрахункову схему та встановлено умови стабільної роботи землерийної машини під час дії на машину поперечних сил наприклад під час роботи на косогорі.
2. Отримані аналітичні залежності розрахунку поздовжніх та поперечних сил і моментів опору цих сил повороту машини під час роботи на косогорі дозволяють визначити умови збереження стійкості машини під дією поперечних сил.
3. Розрахунковим шляхом визначено умови збереження стійкості машини (виключення її сповзання при роботі на косогорі) в режимі повороту при зміні координат центру повороту машини.

Перелік посилань

1. Налобіна О. О., Голотюк М. В., Бундза О. З., Серілко Д. Л., Гавриш В. С. Дослідження експлуатаційних властивостей машин і обладнання : навч. посіб. Рівне, 2023. 414 с.
2. Білик Б.В., Адамовський М.Г. Проектування самохідних лісових машин: Вибір параметрів, компонування і тяговий розрахунок: навч. посіб. Львів, 2004. 160 с.
3. Калінін Є.І. Частотно-динамічна математична модель тракторного агрегата з передачею крутного моменту до рушіїв сільськогосподарської машини. Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Харків, 2015. Вип. 156. С. 327-334.
4. Дранішніков О. Огляд і сучасні удосконалення гусеничного рушія. Новини агротехніки. Київ, 2004. № 5, с. 24-28.
5. Є.І. Калінін, І.В. Колєснік, В.М. Колодненко Аналіз впливу величини питомого тиску на опір руху самохідних гусеничних машин з гладкими траками. Вісник НТУ «ХПІ». Серія Автомобіле- та тракторобудування. Харків, 2022. Вип. 1. С. 44-52. DOI: 10.20998/2078-6840.2022.1.06.
6. Xiaohu CHEN, Xiaolian L.Ü., Xiao WANG, Xinye T.U., Xiaorong L.Ü. Design and study on the adaptive leveling control system of the crawler tractor in hilly and mountainous areas. Vol. 66, No. 1 / 2022 INMATEH - Agricultural Engineering 301-310. DOI: https://doi.org/10.35633/inmateh-66-30.
7. Bazhukov A., Rolle V., Stepina P., Akhmetshin S., Yakushev A., Orekhovskaya A. Estimated assessment of the static position of the hull with a change in the pre-tensioning force of the tracks (2024) E3S Web of Conferences, 471, art. no. 05004, DOI: 10.1051/e3sconf/202447105004.
8. Ch. V. Boikov, P. Zhdanovich, S. Sizova, “Design Development of Elastic Wheel-Track and Track Traction Systems of Tractors and Agricultural Machines”, in SAE International Off-Highway and Powerplant Congress and Exposition. 1997. doi: https://doi.org/10.4271/972732.
9. Kai Lv, Xihui Mu, Lishun Li, “Design and test methods of rubber-track conversion system Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers”, Journal of Automobile Engineering, v. 233, no. 7, pp. 1903-1929, 2018. https://doi.org/10.1177/0954407018794101.

ENSURING OPERATING CONDITIONS OF TRACKED EARTHMOVING MACHINES UNDER THE INFLUENCE OF LATERAL FORCES IN THE CONTACT ZONE OF TRACK DRIVES WITH THE SUPPORTING SURFACE

Musiiko Volodymyr Danylovych, Doctor of Technical Science, National Transport University, Head of the Department of the engineering of transport construction machines, e-mail: musvd48@gmail.com, +380501040262, https://orcid.org/0000-0001-9983-3296, SCOPUS id 57221283646
Koval Andrii Borysovych, Candidate of Technical Science, National Transport University, Associate Professor, Department of the engineering of transport construction machines, e-mail: kandr6104@gmail.com, +380500240894, https://orcid.org/0000-0003-1295-8200, *SCOPUS id 57220055768*
Nikolaienko Volodymyr Anatoliiovych, Candidate of Technical Science, National Transport University, Associate Professor, Department of the engineering of transport construction machines, e-mail: vanikolaienko@ukr.net, +380679786117, https://orcid.org/0000-0003-3983-0434, *SCOPUS id 57394731700*
Pasenko Yuri Vasylovych, master of Science, graduate student of Department of engineering of transport construction machines, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: 280bar@gmail.com, +380675022751, https://orcid.org/0000-0002-2986-8781
Dubinin Maksym Serhiiovych, master of Science, graduate student of Department of engineering of transport construction machines, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: maxmk1989@gmail.com, +380957055527, https://orcid.org/0009-0009-2140-5131

Summary. The article addresses the issue of ensuring stable operating conditions for continuous-operation earthmoving machines and other specialized machinery when subjected to lateral forces in the contact zone between the tracked undercarriage and the supporting surface. Such a situation is highly likely, particularly when earthmoving machines operate on uneven or complex terrain. Additionally, trenching and excavation machines working in a fan-like reciprocating motion mode also experience lateral force effects. The comprehensive challenge of preventing earthmoving machines from slipping due to lateral forces, whether on horizontal surfaces or slopes, requires an initial analytical solution. Slippage in machines operating in a turning mode can be eliminated by preventing the less-loaded track from slipping during movement.

This study presents a computational model and derives dependencies for determining the longitudinal and lateral forces acting on the tracked undercarriage, as well as the resistance moment to turning, which causes a shift in the turning pole of the track chain resting on the ground. It is shown that to determine the permissible value of the lateral force that prevents sideward displacement of the tracks, it is necessary to establish an acceptable combination of longitudinal and lateral forces acting on the undercarriage, along with the corresponding resistance moment to turning. The potential rotation of the lower track branch during machine slippage occurs around a turning center that does not coincide with the track's support surface center. The kinematics of track movement during machine slippage are analyzed, and the forces acting on the track in this scenario are determined. Calculations confirm the dependence of the force interaction characteristics between the tracked undercarriage and the supporting surface on the changing coordinates of the machine's turning center.

Keywords: earthmoving machine, soil, slope, lateral force, slippage, turning center, support surface center, track, variation coefficient

References

1. Nalobina O. O., Golotyuk M. V., Bundza O. Z., Serilko D. L., Gavrish V. S. Doslidzhennya ekspluatatsiynykh vlastyvostey mashyn i obladnannya : navch. posib. (Research on the operational properties of machines and equipment: a textbook): NUVHP. Rivne, 2023. 414 s. [in Ukrainian].

2. Bilyk B.V., Adamovsky M.G. Proektuvannya samokhidnykh lisovykh mashyn: Vybir parametriv, komponuvannya i tyahovyy rozrakhunok: navch. posib (Design of self-propelled forestry machines: Selection of parameters, layout and traction calculation: training manual): ZYKC. Lviv, 2004. 160 s. [in Ukrainian].

3. Kalinin Ye.I. Chastotno-dynamichna matematychna model traktornoho ahrehata z peredacheiu krutnoho momentu do rushiiv silskohospodarskoi mashyny. Visnyk KhNTUSH im. Petra Vasylenka. 2015. Vol. 156. S. 327-334. [in Ukrainian].

4. Dranishnikov O. Ohlyad i suchasni udoskonalennya husenychnoho rushiya (Review and modern improvements of the caterpillar drive). Agricultural machinery news. Kyiv, 2004. Vol. 5, S. 24-28. [in Ukrainian].

5. E. Kalinin, O. Rebrov, V. Kolodnenko Formation of the following movement of a wheel tractor under the conditions of its automatic driving. Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Automobile and Tractor Construction. Kharkiv, 2022. Vol. 1. S. 44-52. https://doi.org/10.20998/2078-6840.2022.1.06. [in Ukrainian].

6. Xiaohu CHEN, Xiaolian L.Ü., Xiao WANG, Xinye T.U., Xiaorong L.Ü. Design and study on the adaptive leveling control system of the crawler tractor in hilly and mountainous areas. Vol. 66, No. 1 / 2022 INMATEH - Agricultural Engineering 301-310. https://doi.org/10.35633/inmateh-66-30.

7. Bazhukov A., Rolle V., Stepina P., Akhmetshin S., Yakushev A., Orekhovskaya A. Estimated assessment of the static position of the hull with a change in the pre-tensioning force of the tracks (2024) E3S Web of Conferences, 471, art. no. 05004, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447105004.

8. Ch. V. Boikov, P. Zhdanovich, S. Sizova, “Design Development of Elastic Wheel-Track and Track Traction Systems of Tractors and Agricultural Machines”, in SAE International Off-Highway and Powerplant Congress and Exposition. 1997. https://doi.org/10.4271/972732.

9. Kai Lv, Xihui Mu, Lishun Li, “Design and test methods of rubber-track conversion system Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers”, Journal of Automobile Engineering, v. 233, no. 7, pp. 1903-1929, 2018. https://doi.org/10.1177/0954407018794101.

УДК 338.1
UDC 338.1
DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-232-241

РОЛЬ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ В ЕКОНОМІЧНОМУ РОЗВИТКУ УКРАЇНИ

THE ROLE OF THE TRANSPORT INDUSTRY IN THE ECONOMIC DEVELOPMENT OF UKRAINE



***Базилюк Антоніна Василівна**, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри фінансів, обліку та аудиту, Національний транспортний університет, Київ, Україна, av_ton_@ukr.net, +380934593602, Україна, 02000, м.Київ, вулиця Михайла Омеляновича-Павленка, 1*

https://orcid.org/0000-0002-4145-5613



***Губенко Володимир Данилович**, аспірант кафедри фінансів, обліку та аудиту, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vovchikgubenko@gmail.com, +380999089173, Україна, 02000, м.Київ, вулиця Михайла Омеляновича-Павленка, 1*

https://orcid.org/0009-0000-4186-3222

Анотація. У статті проаналізовано сучасний стан транспортного комплексу України та його вплив на забезпечення економічної стабільності, міжнародної конкурентоспроможності та інтеграційні перспективи України. Визначено основні виклики, серед яких наслідки воєнних дій, фізичне та моральне старіння інфраструктури, недостатній рівень інвестицій та необхідність прискорення адаптації до європейських стандартів. Особливу увагу приділено дослідженню змін у структурі транспортного сектору, динаміці вантажоперевезень та особливостям інвестиційного забезпечення сектору.

Дослідження показало, що через руйнування інфраструктури та зміну логістичних маршрутів спостерігаються значні зрушення у структурі перевезень. Було зроблено висновки стосовно зростаючої ролі автомобільного транспорту в умовах ситуативного обмеження доступності залізничних та водних перевезень. Зазначено, що недостатнє фінансування оновлення рухомого складу та інфраструктурних об'єктів створює додаткові загрози ефективному функціонуванню транспортній системі, і є чинником гальмування економічного розвитку держави.

Акцентовано увагу, що незважаючи на певне зростання інвестицій у транспортний сектор, їх розподіл є нерівномірним, що уповільнює процеси модернізації. Визначено ключові чинники, що стримують розвиток галузі, серед яких високі ризики для інвесторів, загроза атак на критичну інфраструктуру та відсутність комплексної стратегії розвитку транспортного сектору в умовах підвищеної нестабільності.

Зроблено висновки стосовно необхідності активного впровадження цифрових технологій у сфері управління транспортною логістикою, що дозволить оптимізувати перевезення, зменшити втрати та підвищити ефективність роботи галузі. Рекомендовано розширити співпрацю з європейськими партнерами стосовно розвитку транспортних систем та прискорення інтеграції до європейських транспортних мереж, що сприятиме розширенню торговельних зв'язків та логістичних можливостей країни.

У статті також висвітлено перспективи розвитку транспортної галузі з урахуванням світових тенденцій, таких як екологічна модернізація, цифровізація та розширення мультимодальних перевезень. Наголошено на необхідності комплексного підходу до відновлення транспортної інфраструктури, що включає розширення інвестиційних програм, впровадження інтелектуальних систем управління рухом та підвищення стійкості транспортної мережі до кризових ситуацій.

Ключові слова: транспортний комплекс України**,** економічний розвиток, модернізація інфраструктури**,** інвестиції в транспортний сектор**,** інтеграція до європейської транспортної мережі.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Стан транспортного комплексу України значною мірою обумовлює перспективи розвитку національної економічної системи, її міжнародну конкурентоспроможність, місце на міжнародному ринку транспортних послуг, а також значною мірою визначає прогрес євроінтеграційного курсу нашої держави. Транспортний сектор України відіграє вирішальну роль в економічній стабільності та зростанні країни, проте він стикається зі значними викликами через війну, що триває, застарілу інфраструктуру та необхідність модернізації для приведення її у відповідність до європейських стандартів. Руйнування автомобільних доріг, залізниць і мостів істотно порушило мобільність і логістику, що вимагає термінових відновлювальних робіт для підтримки економічного відновлення. Крім того, значна частина транспортної інфраструктури України була побудована за радянських часів і зараз є застарілою, що вимагає значної модернізації для підвищення безпеки, ефективності та стійкості. Також інтеграція інтелектуальних систем управління дорожнім рухом і цифрових платформ має важливе значення для оптимізації логістики та покращення міської мобільності. Оскільки Україна прагне тіснішої інтеграції з Європейським Союзом, її транспортний сектор повинен адаптуватися до стандартів ЄС у сфері безпеки, охорони довкілля та експлуатації. Посилення сполучення з сусідніми країнами, насамперед з країнами-членами ЄС, також є ключовим пріоритетом для сприяння торговельно-економічному обміну. Водночас Україна має зменшити свою залежність від вразливих транзитних маршрутів і розвивати альтернативні коридори, такі як розширення західних транспортних мереж, щоб забезпечити стабільність торговельних потоків. Інвестиції в передові технології та заходи безпеки мають вирішальне значення для захисту транспортної інфраструктури від потенційних загроз. Матеріально-технічна база транспортних підприємств є основою ефективної, безпечної й конкурентоспроможної транспортної системи Україні, модернізація якої є критично важливою для вирішення сучасних викликів, відповідності світовим стандартам та забезпечення сталого розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Роль транспортної галузі доведено багатьма вітчизняними та зарубіжними науковцями, зокрема, Смерічевським С., Райчевою Л., Михальченко О. [6], Winick K. [11], Wu X., Mouhrim N., Araldo A., Molenbruch Y., Feillet D., Braekers K.[12] та інші.

Формування цілей статті. Мета статті – дослідження сучасного стану транспортної галузі України, аналіз її основних проблем та визначення перспектив розвитку в умовах економічної нестабільності, аналіз ролі транспортної галузі в економічному розвитку України.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Розвиток транспортної інфраструктури, впровадження сучасних логістичних рішень та залучення інвестицій суттєво впливають на економічний розвиток країни. Відсутність ефективної транспортної системи веде до втрати конкурентних переваг, уповільнення внутрішньої торгівлі та обмеження можливостей міжнародної інтеграції.

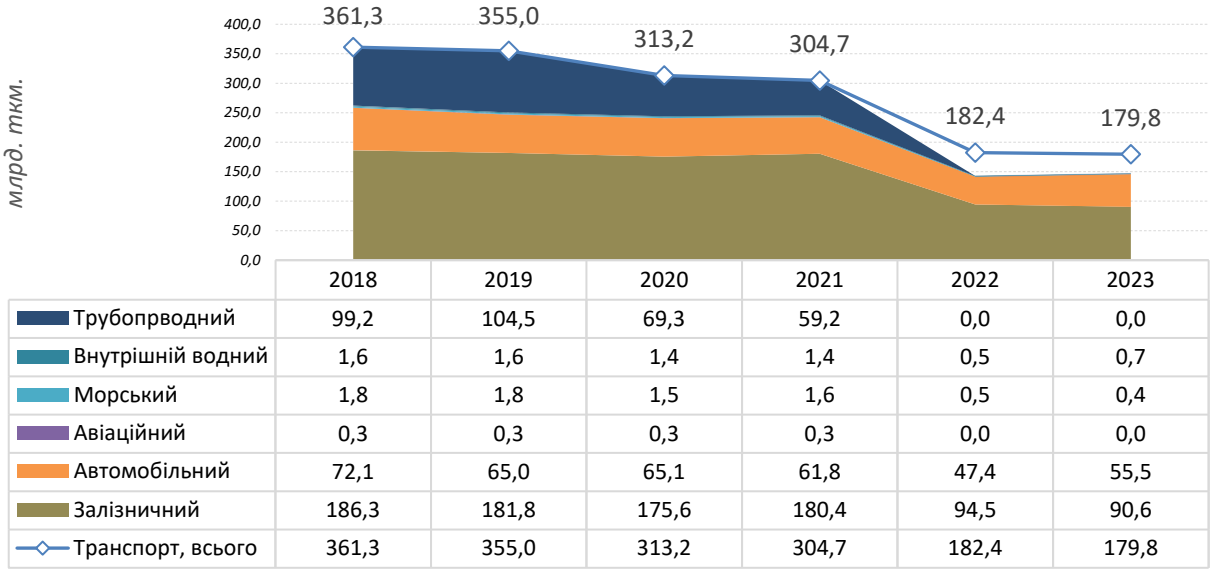
Воєнні дії спричинили масштабні руйнування транспортної інфраструктури, включаючи знищення залізничних колій, мостів, автомобільних шляхів та аеропортів, що істотно порушило регіональне сполучення. Блокування морських і річкових портів значно ускладнило зовнішньоекономічну діяльність, призвівши до критичного навантаження на альтернативні транспортні коридори. Додатковими загрозами для розвитку транспортної галузі залишаються високий рівень безпекових ризиків, зокрема обстріли та мінування територій, що знижує надійність перевезень та підвищує витрати на страхування вантажів та транспорту, ускладнюючи залучення інвестицій.

Такі події не могли не позначитися на динаміці показників роботи транспортної галузі. Частка транспорту у ВВП (табл.1) скоротилася з 6,4% у 2018 р. до 4,3% у 2022-2023 р.р. У 2020-2021р.р. це було спричинено поширенням пандемії COVID-19, а у 2022 р. через широкомасштабні воєнні дії, які зумовили порушення логістичних маршрутів, блокування портів, затримки залізничних та автотранспортних перевезень. Найбільше скорочення відбулось у 2023 р., що позначилося на подальшому зменшенні обсягів як вантажних, так і пасажирських перевезень.

Таблиця 1 - Динаміка Валового внутрішнього продукту і частки Транспорту у його формуванні
Table 1 – Dynamics of Gross Domestic Product and the Share of Transport in its Formation

Показник	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Валовий внутрішній продукт (у фактичних цінах), *млрд. грн*	3560,3	3977,2	4222,0	5450,8	5239,1	6537,8
у т.ч.: Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність, *млрд. грн*	227,14	264,7	262,45	295,3	226,7	283,7
Частка транспорту, складського господарства, поштової та кур'єрської діяльності у ВВП, *%*	6,4	6,7	6,2	5,4	4,3	4,3

Джерело: складено автором за даними [9, с.88, 89].
Source: compiled by the author based on data from [9, p. 88, 89].



	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Трубопрводний	99,2	104,5	69,3	59,2	0,0	0,0
Внутрішній водний	1,6	1,6	1,4	1,4	0,5	0,7
Морський	1,8	1,8	1,5	1,6	0,5	0,4
Авіаційний	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0
Автомобільний	72,1	65,0	65,1	61,8	47,4	55,5
Залізничний	186,3	181,8	175,6	180,4	94,5	90,6
Транспорт, всього	361,3	355,0	313,2	304,7	182,4	179,8

Рисунок 1 – Динаміка вантажообігу за видами транспорту у 2018 – 2023 рр., *млрд. ткм.*
Figure 1 – Dynamics of freight turnover by modes of transport in 2018–2023, billion tkm.
Джерело: побудовано автором за даними [2].
Source: constructed by the author based on data from [2].

Під час війни основний тягар взяли на себе автомобільний і залізничний транспорт. На їх долю припадало 81,3%% всіх вантажних перевезень, адже через блокаду портів морські вантажні перевезення практично не відбувались, а роль річкового транспорту у їх здійсненні зменшилася майже вдвічі (Рис.1)

Пасажирські перевезення відображали аналогічні тенденції. Морський, водний і авіаційний транспорт під час війни практично припинили свою роботу через підвищену небезпеку. А переміщення населення в межах країни і за кордон носили вимушений характер міграції з небезпечних у відносно безпечні райони. В результаті пасажиропотік відносно доковідного 2018 року знизився у 2023 р. майже у 3 рази. (Рис.2)

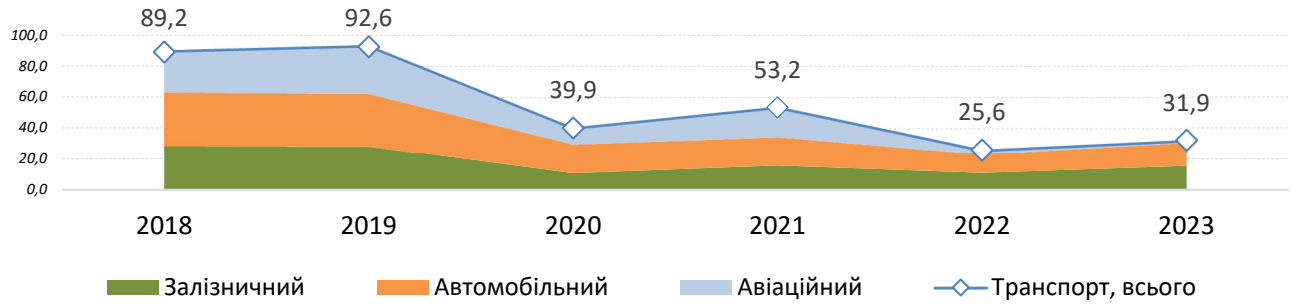


Рисунок 2 – Динаміка пасажирообігу за окремими видами транспорту у 2018 – 2023 рр., *млрд. пас. км.*

Figure 2 – Dynamics of passenger turnover by selected modes of transport in 2018–2023, billion pass. km.

Джерело: побудовано автором за даними [2].

Source: constructed by the author based on data from [2].

Таблиця 2 - Обсяги капітальних інвестицій за видами транспорту

Table 2 – Volumes of capital investments by types of transport

Показники	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Обсяг інвестицій у галузь «Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність», млн. грн.	50078,3	43792,8	34884,6	43944,6	49532,9	53516,6
із них: Наземний транспорт	28781,3	21011,9	18035,2	23598,7	24726,2	38349
Водний транспорт	198,2	252,4	325,6	232,1	84,6	241,6
Авіаційний транспорт	1527,7	1767,9	856,2	1598	685,6	1616,5
Коефіцієнт зносу транспортного сектору, із них	0,6045	0,4693	0,4592	0,4633	0,4717	0,4579
Наземний транспорт	0,5946	0,5047	0,4821	0,5223	0,5185	0,4873
Водний транспорт	0,2601	0,2852	0,2804	0,3283	0,3642	0,3685
Авіаційний транспорт	0,4008	н/д	н/д	0,4458	0,5962	0,6257

Джерело: *складено автором за даними [2, 7, 8].*

Source: compiled by the author based on data from [2, 7, 8].

Менше з тим, незважаючи на значне скорочення обсягів транспортних перевезень, ця сфера була і лишається дуже важливою для здійснення необхідних комунікацій в реалізації господарської

діяльності, ділових стосунків та соціо-культурних і інших потреб населення. Важливість її значення для економічного і соціального розвитку країни висуває особливі вимоги до підтримання у належному технічному стані транспортних засобів. А тому навіть попри значний дефіцит фінансових ресурсів капітальні інвестиції у галузь в цілому у воєнний час навіть збільшилися: у 2023 р. відносно 2021 р., понад 20%, в тому числі у наземний транспорт на 62,5%. Взагалі в наземний вид транспорту у 2023 р. було спрямовано 71,6% всіх інвестицій (Табл.2).

Попри деяке збільшення обсягів інвестицій в окремі види транспорту, їх було явно недостатньо для покриття нагальних потреб галузі. В залізничному транспорті, наприклад, 82,4 % пасажирських вагонів за роками випуску на кінець 2023 р становили більше 28 років, 12,9% вантажних вагонів мали більше 40 років служби. [8, с. 48]. Не менш вразливі факти спостерігаються і стосовно інших видів транспорту. Характеристика зносу транспортних засобів в галузі показує, що навіть за усталеної в останні роки тенденції скорочення, ступінь зносу лишається доволі суттєвим (Таблиця 3).

Таблиця 3 - Характеристика зносу транспортних засобів за видами транспорту
Table 3 – Characteristics of wear and tear of vehicles by types of transport

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Коефіцієнт зносу транспортного сектору, із них:	**0,6045**	**0,4693**	**0,4592**	**0,4633**	**0,4717**	**0,4579**
Наземний транспорт	0,5946	0,5047	0,4821	0,5223	0,5185	0,4873
Водний транспорт	0,2601	0,2852	0,2804	0,3283	0,3642	0,3685
Авіаційний транспорт	0,4008	н/д	н/д	0,4458	0,5962	0,6257
Чистий прибуток (збиток), млн. грн, із них:	-24265,4	8421,8	9054,8	22817,6	-26352,5	38309,6
Наземний транспорт	-32504,2	-14659,8	19373,6	23438,7	-11230,2	22263,0
Водний транспорт	54,3	213,4	125,4	94,3	-212,5	898,8
Авіаційний транспорт	-1722,8	к	к	815,9	-8624,7	1455,6
Рентабельність операційної діяльності, млн. грн, із них:	-1,6	4,1	4,4	5,8	2,7	9,7
Наземний транспорт	-9,7	-2,3	5,1	10,5	-0,2	10,1
Водний транспорт	1,7	6,9	12,3	2,9	8,5	9,1
Авіаційний транспорт	-2,6	к	к	2,2	-4,8	11,8

Джерело: *побудовано автором за даними [2, 7, 8, 9].*
Source: constructed by the author based on data from [2, 7, 8, 9].

Треба зважити на те, що головним джерелом фінансування інвестицій виступають переважно власні кошти підприємств і організацій (72,3%). Наразі з наведених в Таблиці 3 даних видно, що їх явно недостатньо для здійснення масштабного оновлення транспортних засобів. В окремі періоди навіть в цілому по галузі спостерігалися збитки. Щоправда позитивним є те, що в критичних умовах воєнного стану господарюючі суб'єкти підвищують ефективність роботи, в наслідок чого відбулося підвищення рентабельності операційної діяльності в цілому по галузі майже до 10%. Обмеженість кредитних ресурсів та прямих іноземних інвестицій, (Рис.3) з 8% у 2018 р. до 3% у 2023 р. для оновлення рухомого складу є результатом високих ризиків безпекового характеру, пов'язаних з війною, а також значним подорожчанням вартості кредитних ресурсів через застосування Національним банком України політики стримування інфляції на основі суттєвого підвищення облікової ставки. Якщо до війни вона складала 6,0%, то на початку війни у 2022 р. вона була підвищена до 25%. Через високі ризики неповернення кредитів банки практично припинили кредитування. По мірі стабілізації фінансового стану банки поступово знижували і облікову ставку. Наразі її розмір складає 14,5%, хоча і він є суттєвою перешкодою розширення кредитування. При рентабельності 9%

вартість кредиту за ставкою 25-30 % не покривається фінансовим результатом і впливає на ефективність результати роботи.

Для посилення ролі транспортної галузі, яка справляє значний вплив на розвиток економіки, необхідна її модернізація на основі використання сучасних технологій організації транспортних перевезень. Зважаючи на те, що транспорт виступає важливою ланкою інтеграції до міжнародних ринків, формування інноваційного середовища передбачає залучення інвестицій. При цьому розширення транспортних коридорів, впровадження цифрових технологій та перехід на сталі моделі перевезень створюють передумови для якісного економічного розвитку. Використання сучасних технологій, оптимізація мультимодальних перевезень та адаптація до європейських стандартів здатні стати драйверами зростання, що дозволить не лише зміцнити внутрішній ринок, а й посилити роль України як стратегічного логістичного хабу між Європою, Азією та Чорноморським регіоном.

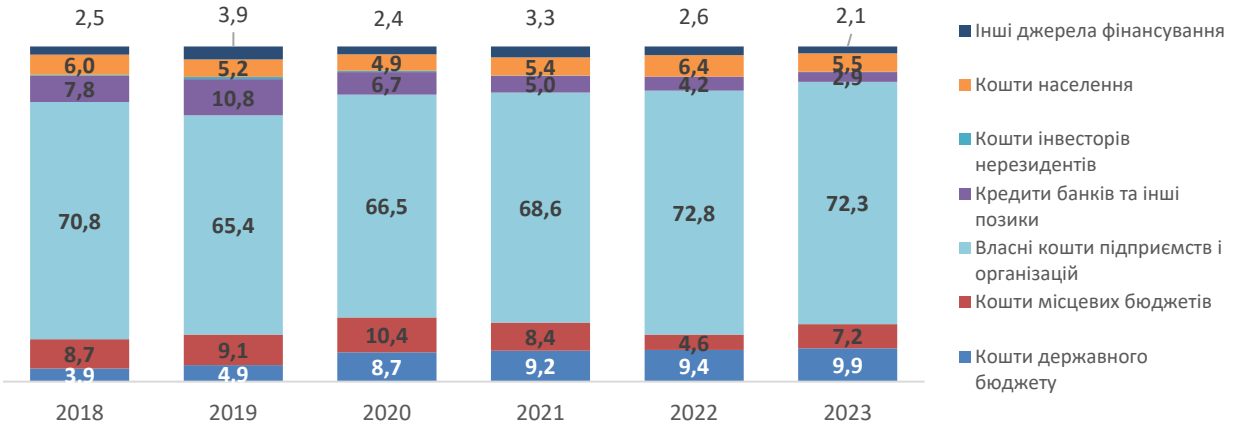


Рисунок 3 – Структура капітальних інвестицій за джерелами фінансування у 2018 – 2023 рр., *%*
Figure 3 – Structure of capital investments by sources of financing in 2018–2023, %
Джерело: *побудовано автором за даними [2, 9].*
Source: constructed by the author based on data from [2, 9].

Розвиток транспортного сектору України потребує стратегічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності, адаптацію до сучасних технологій й зміцнення економічної стійкості. Одним із важливих напрямків може стати створення національної цифрової платформи управління логістикою, що інтегрує всі види транспорту до єдиної інформаційної системи. Це дозволить оптимізувати перевезення, скоротити витрати часу та спростити міжнародну торгівлю завдяки автоматизованому обміну даними між учасниками ринку.

Іншим важливим аспектом може стати запровадження програми швидкої модернізації стратегічних транспортних коридорів із залученням приватних інвесторів та міжнародних партнерів. Скорочення бюрократичних процедур, впровадження швидкомонтованих технологій будівництва та модернізація залізничних пунктів пропуску на кордонах з ЄС сприятимуть розширенню логістичних можливостей країни.

Перехід до зелених транспортних коридорів є важливим засобом забезпечення стійкості галузі. Створення мережі зарядних станцій для електровантажівок, використання водневого транспорту та впровадження енергоефективних технологій у логістичних центрах дозволить Україні відповідати європейським стандартам екологічної безпеки та зменшити залежність від традиційних енергоносіїв. Розвиток адаптивних портових інфраструктур забезпечить більшу гнучкість логістичних маршрутів. Створення мобільних терміналів, автономних контейнерних комплексів та інтеграція портів із залізничними мережами підвищить стійкість транспортної системи в умовах геополітичних змін і сприятиме розширенню експорту.

Впровадження автономних логістичних технологій стане важливим етапом цифрової трансформації. Роботизовані вантажні термінали, автоматизовані залізничні станції та використання дронів для моніторингу стану транспортної інфраструктури дозволять зменшити втрати та пришвидшити логістичні процеси, підвищуючи загальну продуктивність транспортної системи.
Формування інвестиційних транспортних паспортів регіонів сприятиме залученню міжнародного капіталу у розвиток інфраструктури. Аналіз транспортних можливостей кожного регіону, прогнозування рентабельності проєктів та прозоре визначення пріоритетних напрямків модернізації дозволять ефективніше розподіляти фінансові ресурси та сприяти регіональному розвитку.

Розвиток транспортного сектору України є не лише критично важливим фактором відновлення економіки, а й потужним інструментом довгострокової трансформації національної господарської моделі. Запропоновані рішення – цифровізація логістичних процесів, прискорена модернізація стратегічних коридорів, екологізація транспорту, адаптивні портові інфраструктури та автономні логістичні технології – формують нову систему мобільності, яка здатна забезпечити стабільність та прогнозованість економічного розвитку. Створення ефективної, стійкої та інтегрованої транспортної мережі сприятиме не лише оптимізації внутрішніх перевезень, а й відкриє нові можливості для міжнародного співробітництва, зміцнення позицій України у глобальних ланцюгах постачання та залучення капіталу в інфраструктурні проєкти.

Подальші наукові дослідження повинні бути спрямовані на розробку методологій адаптації транспортної системи до умов високої невизначеності та ризиків, вивчення потенціалу цифрових рішень у транспортній логістиці, прогнозування змін у геоекономічних потоках та розробку моделей державно-приватного партнерства для реалізації масштабних інфраструктурних проєктів. Важливими є також дослідження впливу екологічної модернізації на економічну ефективність перевезень, а також оцінка можливостей інтеграції України в інноваційні транспортні ініціативи ЄС, зокрема розвиток «зелених коридорів» та мультимодальних логістичних систем.

Висновки. Транспортний сектор є критично важливим для економічного розвитку та міжнародної інтеграції України. Через війну, недостатню конкурентоспроможність інфраструктуру та брак інвестицій стикається збільшуються ризики логістичних збоїв, зниження транзитного потенціалу, втрати ринкових позицій у міжнародних перевезеннях та подальшого технологічного відставання транспортного сектору. Додатковими чинниками негативного впливу воєнних ризиків є руйнування логістичних маршрутів, зниження обсягів перевезень, відкладена модернізація транспортного сектору та підвищені інвестиційні ризики. Тоді як активізація залучення державних і приватних інвестицій у наземний транспорт та інфраструктуру, цифровізація логістики та адаптація до стандартів ЄС створюють додатковий потенціал для модернізації та розвитку. Для забезпечення стабільності й зростання необхідне комплексне оновлення транспортної системи, включаючи впровадження інтелектуальних технологій, розбудова альтернативних коридорів, підвищення безпеки перевезень та екологізація транспортних перевезень. Створення ефективної, стійкої та інтегрованої транспортної мережі сприятиме підвищенню економічної стійкості, зміцненню зв’язків із європейськими партнерами та формуванню конкурентних переваг України у глобальній економіці.

Перелік посилань

1.Кульбовський С. А. Інвестиційні стратегії українських підприємств у іжнародному бізнесі. *Економіка, управління та адміністрування.* 2023. №3(105). С. 10–15. DOI: https://doi.org/10.26642/ema-2023-3(105)-10-15 (дата звернення: 10.01.2024)

2. Офіційний сайт Державної служби статистики, розділ «Транспорт», Необоротні активи за видами економічної діяльності з розподілом на великі, середні, малі та мікропідприємства Режим доступу: https://stat.gov.ua/uk/topics/transport

3. Отенко І. Формування бізнес-моделі інноваційного розвитку підприємства. *Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету*. Серія : Економічні науки. 2014. Вип. 37(3). С. 40–45.

4. Охріменко О. О., Манаєнко І. М. Ефективність інвестиційного механізму підприємств електроенергетики: діалектика якісних та кількісних перетворень. *Проблеми економіки*. 2013. № 4. С. 41.

5.Райчева Л. Автомобільний транспорт у категоріях інфраструктури, конкуренції, структурного розвитку. *Економіка та суспільство*. 2024. № 60. URL: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-60-51

6. Смерічевський С., Райчева Л., Михальченко О. Проблеми і перспективи модернізації транспортного комплексу національної економіки. *Економіка та суспільство*. № 28. URL: https://economyandsociety.in.ua/index.p hp/journal/article/view/1504 (дата звернення: 30.11.2024)

7.Статистичний збірник «Транспорт України.2022» Режим доступу: https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2024/zb/10/zb_Trans_22.pdf

8.Статистичний збірник «Транспорт України.2023» Режим доступу: https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2024/zb/10/zb_Trans_23.pdf

9.Статистичний щорічник України. Режим доступу: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm

10. Preparing for Modernization in the Transportation Workforce. *Govtech*. October 26, 2023. URL:https://www.govtech.com/sponsored/preparing-for-modernization-in-the-transportation-workforce?utm_source=chatgpt.com

11. Winick K. Transportation Modernization: Building a New Era of Public Transit. *Strategic Communications Group*. March 14, 2022. URL: https://governme nttechnologyinsider.com/transportation-modernization-building-a-new-era-of-publ ic-transit/?utm_source=chatgpt.com

12.Wu X., Mouhrim N., Araldo A., Molenbruch Y., Feillet D., Braekers K. Joint Design of Conventional Public Transport Network and Mobility on Demand. *Arxiv.* Jul 1, 2024. URL: https://arxiv.org/abs/2407.01700?utm_sour ce=chatgpt.com#

THE RO

LE OF THE TRANSPORT INDUSTRY IN THE ECONOMIC DEVELOPMENT OF UKRAINE

Bazyliuk Antonina V., Doctor in Economics, Professor, head of the finance department, accounting and audit, National Transport university, 02000, Ukraine, Kiev, Omelyanovycha-Pavlenko street, 1, av_ton_@ukr.net, + 38 093 459 36 02, https://orcid.org/0000-0002-4145-5613

Gubenko Volodymyr D., postgraduate, National Transport university, 02000, Ukraine, Kiev, Omelyanovycha-Pavlenko street, 1, vovchikgubenko@gmail.com, +38 099 908 91 73, orcid.org/0009-0000-4186-3222

Abstract. The transport complex of Ukraine is a crucial component of the country's economy, influencing its competitiveness in the global market. Purpose. The article considered the dynamics of freight transportation by types of transport in Ukraine during the period from 2018 to 2023, as well as issues related to the material and technical base of transport enterprises.

According to the analysis, the total volume of freight transportation during this period decreased by 42.76%. The most significant losses were recorded in railway (-53.73%) and marine transport (-100%), which is attributed to geopolitical challenges, economic problems, and insufficient modernization of infrastructure. Road transport has maintained its position due to its flexibility and ability to provide door-to-door delivery, though it has a negative environmental impact due to high carbon dioxide emissions.

Railway transport remains a key mode for large-scale freight transportation; however, its efficiency has declined due to aging rolling stock and insufficient investment in infrastructure development. Water and marine transport have practically lost their market share due to significant wearing of fixed assets and lack of funding.

Special attention in the article is given to the analysis of the technical condition of the material and technical base of transport enterprises. The depreciation rate of fixed assets, particularly in water (0.3685) and

land transport (0.4873), indicates a critical need for modernization. The high level of fixed asset wear reduces transportation efficiency and increases maintenance costs.

The authors emphasize that to ensure sustainable development of Ukraine's transport complex, large-scale investments are needed to restore and modernize the material and technical base, especially in railway and road transport. Moreover, implementing modern technologies to optimize transportation, reduce greenhouse gas emissions, and enhance the efficiency of transport enterprises is essential.

The study results highlight the importance of an integrated approach to solving problems in the transport sector. Key directions for development include infrastructure modernization, stimulating investment in the industry, implementing environmental standards, and digitizing transportation management processes. These measures will improve the competitiveness of Ukraine's transport system, ensure its integration into the European transport network, and contribute to the country's economic growth.

Keywords: transport complex of Ukraine, freight transportation dynamics, railway transport, road transport, water and marine transport, material and technical base, infrastructure modernization, depreciation of fixed assets, investment in transport sector, environmental impact, transport efficiency, european transport network integration.

References

1.Kulbovskyi, S. A. (2023). Investytsiini stratehii ukrainskykh pidpryiemstv u mizhnarodnomu biznesi [Investment strategies of Ukrainian enterprises in international business]. Ekonomika, upravlinnia ta administruvannia, 3(105), 10–15. Retrieved from: https://doi.org/10.26642/ema-2023-3(105)-10-15 [in Ukrainian]

2.Ofitsiinyi sait Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy, rozdil Transport, Neoborotni aktyvy pidpryiemstv za vydamy ekonomichnoi diialnosti z rozpodilom na velyki, seredni, mali ta mikropidpryiemstva za 2013-2023 roky [Official site of the State Statistics Service of Ukraine, section Transport, Non-current assets of enterprises by type of economic activity, distributed by large, medium, small, and microenterprises for 2013-2023].Retrieved from: https://stat.gov.ua/uk/topics/transport [in Ukrainian]

3. Otenko, I. (2014). Formuvannia biznes-modeli innovatsiinoho rozvytku pidpryiemstva [Formation of a business model for the innovative development of an enterprise]. Zbirnyk naukovykh prats Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriia: Ekonomichni nauky, 37(3), 40–45. [in Ukrainian]

4. Okhrimenko, O. O., & Manaienko, I. M. (2013). Efektyvnist investytsiinoho mekhanizmu pidpryiemstv elektroenerhetyky: dialektyka yakisnykh ta kilkisnykh peretvoren [Effectiveness of the investment mechanism of energy enterprises: Dialectics of qualitative and quantitative transformations]. Problemy ekonomiky, 4, 41. [in Ukrainian]

5. Raicheva, L. (2024). Avtomobilnyi transport u katehoriakh infrastruktury, konkurentsii, strukturnoho rozvytku [Automotive transport in categories of infrastructure, competition, and structural development]. Ekonomika ta suspilstvo, 60. Retrieved from: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-60-51 [in Ukrainian]

6. Smerichevskyi, S., Raicheva, L., & Mikhailchenko, O. (2024). Problemy i perspektyvy modernizatsii transportnoho kompleksu natsionalnoi ekonomiky [Problems and prospects of modernization of the transport complex of the national economy]. Ekonomika ta suspilstvo, 28. Retrieved from: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1504 (accessed: 30.11.2024). [in Ukrainian]

7.Statystychnyi zbirnyk "Transport Ukrainy. 2022" [Statistical collection "Transport of Ukraine. 2022"]. Retrieved from: https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2024/zb/10/zb_Trans_22.pdf [in Ukrainian]

8. Statystychnyi zbirnyk "Transport Ukrainy. 2023" [Statistical collection "Transport of Ukraine. 2023"]. Retrieved from: https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2024/zb/10/zb_Trans_23.pdf [in Ukrainian]

9. Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy. [Statistical Yearbook of Ukraine] Retrieved from: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm [in Ukrainian]

10.Preparing for Modernization in the Transportation Workforce. Govtech. October 26, 2023.

Retrieved from: https://www.govtech.com/sponsored/preparing-for-modernization-in-the-transportation-workforce?utm_source=chatgpt.com

11.Winick, K. (2022). Transportation Modernization: Building a New Era of Public Transit. Strategic Communications Group. March 14, 2022. Retrieved from:https://governmenttechnologyinsider.com/transportation-modernization-building-a-new-era-of-public-transit/?utm_source=chatgpt.com

12.Wu X., Mouhrim N., Araldo A., Molenbruch Y., Feillet D., Braekers K. Joint Design of Conventional Public Transport Network and Mobility on Demand. *Arxiv.* Jul 1, 2024. URL: https://arxiv.org/abs/2407.01700?utm_sour ce=chatgpt.com#.

УДК 330.4:334:338.2
UDC 330.4:334:338.2
DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-242-255

ТЕОРІЯ ІГОР В МОДЕЛЮВАННІ УЗГОДЖЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ІНТЕРЕСІВ УЧАСНИКІВ ТРАНСПОРТНОГО ІНФРАСТРУКТУРНОГО ПРОЕКТУ НА ЗАСАДАХ КОНЦЕСІЇ

GAME THEORY IN MODELLING THE COORDINATION OF ECONOMIC INTERESTS OF PARTICIPANTS IN A TRANSPORT INFRASTRUCTURE PROJECT ON THE BASIS OF CONCESSION



***Бондар Наталія Миколаївна**, доктор економічних наук, професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна, професор кафедри економіки, e-mail: rutan2000@gmail.com, тел. +380667192440*

https://orcid.org/0000-0002-8254-2449



***Сагайдак Євгенія Степанівна**, аспірантка кафедри економіки, Національний транспортний університет, Київ, Україна, , e-mail: qatarsis22@gmail.com, тел. +380679119796*

https://orcid.org/0000-0001-7698-928X

Анотація. Будь який концесійний проект та його учасників можна розглядати як самостійну соціально – економічну систему, яка є підсистемою нижчого рівня порівняно з великою системою господарського рівня та характеризується внутрішньою впорядкованістю елементів цілого, а також наявністю сукупності процесів, які ведуть до встановлення зв'язків між елементами такої системи. Цілями статті є: визначення складових механізму узгодження інтересів; обґрунтування аналітичного процесу узгодження інтересів учасників концесійного проекту та доцільності використання теорії ігор на різних етапах процесу узгодження економічних інтересів учасників проектів ДПП. В статті представлено склад учасників концесійного проекту. Визначені рівні узгодження економічних інтересів (державний, концесійної компанії, ринковий, територіальної громади). Систематизовано інструменти узгодження економічних інтересів: правові, економічні, соціально-психологічні, технологічні.

Наведено методи узгодження економічних інтересів шляхом планування, моніторингу, координації, регламентування та нормування. Наведено складові моделі механізму узгодження інтересів учасників концесійного проекту, зокрема: за рівнями формування та узгодження, за інструментами та методами узгодження. Систематизовано складові елементи аналітичного процесу узгодження інтересів учасників концесійного проекту: етапи, процедури, операції.

Зазначено, що основним методом дослідження питання узгодження економічних інтересів є теоретико-ігрове моделювання. Доведена доцільність використання теорії ігор на різних етапах моделі узгодження економічних інтересів учасників концесійного проекту. Наведені приклади використання елементів теорії ігор при вирішення конкретних завдань моделі узгодження економічних інтересів учасників концесійних проектів на різних етапах його реалізації.

Ключові слова: економічний інтерес, інтерес, концесія, теорія ігор, узгодження, моделювання, методи моделювання, рішення, учасники, проект

Вступ. Реалізація проектів державно-приватного партнерства є досить складним процесом, оскільки передбачає залучення багатьох учасників як боку держави, так і приватного бізнесу. Враховуючи, що основною рисою таких проєктів є орієнтація на вирішення суспільно значущих завдань, однією зі сторін, які також беруть участь у нагляді за виконанням проєкту є суспільство (територіальна громада), представники якої також висловлюють свої інтереси під час підтримки проекту. Компанія, що реалізує проєкт, також створюється з представників різних бізнес-структур (будівельних, експлуатаційних та обслуговуючих організації). Також до складу учасників приватного пулу можуть входити фінансові інституції (банки, приватні інвестиційні, пенсійні фонди тощо). У разі національного значення проєкту до складу організації, яка реалізує проєкт, можуть входити і представники органів виконавчої влади.

Виникає низка питань, пов'язаних з узгодженням інтересів учасників. Зокрема, в яких пропорціях учасники вносять необхідні ресурси; як сформувати структуру джерел фінансування, що забезпечують мінімальну вартість проєкту; як розподілити доходи, ризики, відповідальність між учасниками проєкту. Визначення механізмів, які використовуються для узгодження економічних інтересів, міститься в працях таких авторів як, Н. Бондар [4, 5], Н. Богдан [3], Я. Лісун [16], Н. Рябцева [23] тощо. Поряд з цим при наявності певної кількості наукових розробок коло проблем, що стосуються підходів до узгодження економічних інтересів саме учасників концесійних проектів – продовжують залишатися недостатньо дослідженими.

Постановка завдання. Цілями статті є: визначення складових механізму узгодження інтересів; обґрунтування аналітичного процесу узгодження інтересів учасників концесійного проекту та доцільності використання теорії ігор на різних етапах процесу узгодження економічних інтересів учасників проектів ДПП.

Виклад основного матеріалу. Будь який концесійний проект та його учасників можна розглядати як самостійну соціально – економічну систему, яка є підсистемою нижчого рівня порівняно з великою системою господарського рівня та характеризується внутрішньою впорядкованістю елементів цілого, а також наявністю сукупності процесів, які ведуть до встановлення зв'язків між елементами такої системи.

За своєю природою взаємодія між учасниками економічних відносин пов'язана з потребою реалізації економічних інтересів. Для раціонального функціонування учасників відносин використовуються механізм координації, який є характеристикою явища «узгодження економічних інтересів». Множинність підходів до узгодження економічних інтересів свідчить про складність та багатогранність цього поняття.

Шляхами поєднання економічних інтересів в умовах ринкової економіки вважають координоване узгодження інтересів економічних суб'єктів або субординоване підпорядкування одних економічних інтересів іншим [3, 21]. Взаємодія між економічними суб'єктами та структурними

елементами системи пов'язана з реалізацією економічних інтересів. При цьому раціональне функціонування та розвиток такої системи забезпечується механізмом координації, який в свою чергу є характеристикою явища «узгодження економічних інтересів» та окремою категорією, спорідненою з такими категоріями, як «господарський механізм» та «механізм управління економікою» [18].

Розроблення механізму узгодження інтересів учасників концесії потребує застосування системного підходу. Системний підхід потрібен, що не тільки розробити цілісну структуру проекту, а щоб через системні питання найбільш повно визначити результат проекту [4, 20]. Оскільки побудова системи учасників концесійного проекту, як виду ДПП передбачає наявність центру та учасників, які можуть мати різні з центром цілі та проявляти активність дослідники звертають увагу на доцільність застосування математичного апарату теорії активних систем – розділу теорії управління соціально – економічними системами, який вивчає властивості механізмів їх функціонування, що зумовлені проявами активності учасників системи [4]. Основним методом дослідження в теорії активних систем є моделювання теоретико – ігрове та імітаційне, що використовує теорію ієрархічних, кооперативних ігор, теорію контрактів, теорію реалізованості тощо [4].

Організаційна система учасників концесійного проекту буде складатись з двох рівнів: перший рівень, мегасистема (державні органи управління, які уповноважені приймати рішення та пул приватних партнерів – інвесторів та кредиторів); другий, нижчий рівень, активні елементи (центр (SPV) та виконавці проекту, що виконують завдання з реалізації проектування, фінансування, будівництва, експлуатації та обслуговування об'єкта) [4, 5]. У таблиці 1 наведено рівні, інструменти та методи механізму узгодження економічних інтересів учасників проекту концесії.

Таблиця 1 **–** Рівні, інструменти та методи механізму узгодження економічних інтересів учасників проекту концесії

Table 1 – Levels, tools and methods of the mechanism for harmonizing the economic interests of concession project participants

№	Складові механізму узгодження	Зміст
1	2	3
1.	**Рівні формування та узгодження інтересів учасників концесійного проекту**	
1.1	Державний	Цілеспрямований вплив засобами законотворення, державних пільг, гарантій, замовлень, програм тощо
1.2	Концесійної компанії	Організаційна структура, представники учасників в органі управління спільної концесійної компанії, об'єднання ресурсів, компетентностей, розподіл відповідальності, ризиків,
1.3	Ринковий	Стихійне, конкурентне формування оцінок та очікувань в напрямку саморегулювання. Не є самодостатнім.
1.4	Територіальної громади	Інтеграція людей у вирішення питань та захист особистий і колективних інтересів
1.5	Із залученням третіх сторін	Наприклад, радники, які залучаються на етапі погодження проектів ДПП, медіатори тощо.
2.	**Інструменти узгодження**	
2.1	Правові	Реалізуються через документи обов'язкової дії для сторін договору, учасників проекту, зацікавлених осіб тощо шляхом регламентування порядку реалізації проекту в цілому або окремих його аспектів

Продовження таблиці 1
Continuation of Table 1

2.2	Економічні	Застосовуються через різноманітні економічні важелі, за допомогою яких формалізуються, аналізуються, прогнозуються та визначаються можливі варіанти узгодження інтересів учасників на всіх рівнях
№	Складові механізму узгодження	Зміст
2.3	Соціально – психологічні	Використовуються для підвищення активності учасників проекту у належній його реалізації
2.4	Технологічні	Впливають на учасників проекту через доведену проектно - кошторисну документацію, яка обов'язкова до виконання та вимагає дотримання технологічних операцій, послідовності будівельних процесів, норм тощо
3. Методи узгодження		
3.1	Планування	Визначення концепції проекту, параметрів взаємодії між учасниками проекту, розробка деталей проекту, розподіл ресурсів, вибір та прийняття організаційних, економічних, технологічних рішень для досягнення поставлених цілей.
3.2.	Моніторинг	Регулярне відстеження стану проекту та його змін за умови регулярного застосування одних й тих самих принципів вибірки та інструментарію для збору даних
3.3.	Координація	Впорядкування взаємозв'язків між учасниками проекту з метою узгодження дій та об'єднання зусиль задля реалізації проекту
3.4.	Регламентування	Визначення змісту, обсягу та порядку виконання дій залученими сторонами, розподіляє права та обов'язки
3.5.	Нормування	Встановлення обов'язкових для застосування показників (наприклад, державних будівельних норм)

Джерело: Узагальнено авторами за [1, 5, 6, 9, 12, 15]

Процедура узгодження інтересів учасників концесії може бути представлена шляхом опису аналітичного процесу узгодження інтересів. Для кожного рівня узгодження інтересів застосовуються ті ж самі етапи, процедури та операції (табл.2)

Принципи системного дослідження можливо застосувати не тільки для опису системи учасників концесійного проекту, а й для вирішення питання узгодження інтересів учасників проекту, як потреби у виробленні рішення. Це пов'язане з тим, що за основу принципів системного дослідження покладена необхідність підходу до вивчення будь – якого явища з точки зору його організації: співвідношення всіх частин системи та системи із середовищем [14].

Поряд з системним підходом до вирішення питання узгодження інтересів учасників проекту дослідники пропонують в ДПП узгоджувати інтереси на основі багатоваріантних розрахунків внутрішньої вартості проекту розвитку об'єкту ДПП за методом дисконтування грошових потоків, перегляду умов укладання угод партнерства і виборі таких значень параметрів угоди, за яких досягається максимальна внутрішня вартість проекту як з позиції державного партнера, так і приватного [7].

Таблиця 2 **–** Складові аналітичного процесу узгодження інтересів учасників концесійного проекту

Table 2 **–** Components of the analytical process of reconciling the interests of concession project participants

Елементи	Складові
Етапи	Діагностика
	Оцінка
	Формування множини альтернатив
	Вибір оптимального рішення
Процедури	Інформаційні
	Розрахункові
	Моделювання
	Оцінки
	Порівняльні
	Узагальнюючі
Операції	Математичні
	Логічні
	Технічні
	Творчі

Джерело: складено авторами за [24, 10]

Аналітичний процес узгодження інтересів спирається на математичний апарат, що застосовується при прийнятті рішень. Так, в теорії прийняття рішень задача з пошуку кращих альтернатив із заданої множини альтернатив називається загальною задачею оптимізації. Й якщо принцип оптимальності задається скалярною функцією вибору із заданої множини альтернатив, то маємо звичайну оптимізаційну задачу (наприклад з лінійного програмування). Якщо принцип оптимальності задається множиною критеріальних функцій, то маємо задачу багатокритеріальної оптимізації. Задачі з відомою множиною альтернатив і явно заданим принципом називаються задачами вибору [10].

Узгодження інтересів передбачає «розподіл», поняття якого в економічній теорії різниться в залежності від змісту завдання. В цілому об’єкт розподілу є результатом загальної діяльності учасників, який має бути справедливо поділений. Для розподілу спільного економічного результату застосовують комбінований метод, який дозволяє одночасно враховувати кількісні, якісні і коаліційні характеристики вкладу учасників у спільний результат. Цей метод розроблений на основі алгоритмів раціонування, кооперативних ігор, мультикритеріального прийняття рішень і групової експертної оцінки [13].

В практичних (прикладних) задачах прийняття рішень формалізація кожного кроку процесу прийняття рішення пов’язана з певними проблемами, в першу чергу – з визначенням мети (цілі) та засобів її досягнення. Й формалізація в цьому випадку передбачає опис на мові математики задачі з прийняття рішень з метою моделювання практичної ситуації прийняття рішення [10].

Структурований підхід до прийняття рішень вказує на ідентичність етапів в прийнятті рішень, як із застосуванням теорії ігор, так і при моделюванні конфліктної ситуації [17, 10, 28]. При цьому такі етапи

прийняття рішень узгоджуються з процесом узгодження інтересів на основі рефлексивного підходу, про актуальність якого на теперішній час свідчать дослідження науковців [16, 25].

Процес узгодження рішень між агентами також може бути розглянутий з позиції ієрархії інформаційного обміну – вертикального чи горизонтального узгодження [25]. Горизонтальні зв'язки є однорівневими, перебувають на одному управлінському рівні та не підпорядковуються один одному. В той час, коли вертикальне узгодження має передбачати зв'язок на різних рівнях управління та враховувати підпорядкованість.

В контексті узгодження інтересів учасників концесії розглядають методи управління зацікавленими сторонами, які пропонують такі інструменти, як основна матриця інтересів, концепція індексу зацікавлених сторін та техніка ілюстрації кола зацікавлених сторін, врахування сітки Томаса – Кілмана [10, 30]. В контексті узгодження інтересів учасників концесійного проекту також заслуговує на увагу синкретичне управління інноваційними проектами, високу ефективність якого зазначають дослідники [8].

Для оцінки узгодженості інтересів учасників концесійного проекту, як сторін ДПП, можливо застосовувати побудову інтегрального показника узгодженості інтересів сторін ДПП з використанням методу багатовимірної середньої інтегральної оцінки за видами економічної діяльності. Такий показник узгодженості показує результати реалізації проектів, які можуть бути використані для розвитку методології аналізу й оцінювання умов здійснення проектів [23].

Теорія ігор – це розділ прикладної математики, який використовується, зокрема, в економіці для оцінки поведінки в стратегічних ситуаціях, або у грі, де успіх людини у вибору залежить від вибору інших. Теорія використовує математичні моделі для аналізу методів співпраці або змагання логічних і розумних гравців для пошуку оптимальної для них стратегії. Тому такі дослідження є міждисциплінарними [38].

Гра – це математична модель ситуації, результат якої буде виграшем для сторін (гравців), структура якої визначається кількістю гравців, доступним їм стратегіям та виграшам щодо кожної комбінації стратегій [28,38].

Осборн і Рубінштейн визначили основні припущення, які лежать в основі теорії ігор, а саме: раціональність агентів у грі та їх стратегічне міркування. Раціональність гравців полягає в тому, що особи, які приймають рішення переслідують чітко визначені екзогенні цілі. Стратегічне міркування агентів полягає в тому, що вони враховують свої знання або очікування щодо інших осіб, які здатні приймати рішення [31].

Узагальнене досліджень питань застосування теорії ігор в проектах ДПП відображено в таблиці 3.

Наведені приклади не демонструють поширеність досліджень з пошуку спільних стратегій для учасників проектів, в умовах поєднання їх інтересів.

Саме кооперативні, або коаліційні, ігри слід застосувати для гармонізації інтересів, оскільки при кооперативній грі за участі двох гравців передбачається, що гравці не можуть впливати один на одного допоки вони не досягнуть певної угоди. Кооперативні ігри дозволяють аналізувати можливу множину наслідків переговорного процесу, а не сам переговорний процес.

Таблиця 3 – Приклади використання теорії ігор для аналізу окремих аспектів реалізації проектів ДПП

Table 3 – Examples of the use of game theory to analyze certain aspects of PPP project implementation

№	Питання, вирішення якого пропонується з використанням теорії ігор
1	Моделювання процесу переговорів уряду та приватної компанії в концесії моделі щодо періоду концесії типу «BOT», як ітеративної гру, де виграш уряду зменшується разом з часом концесії. Однак є ще фактор часу, витраченого на укладання угоди, який сторони договору прагнуть скоротити. Ітеративні методи моделювання ігрових ситуацій [33, 37]
2	Дослідження зв‘язку поведінки субпідрядника в будівельному проекту та надійністю плану проекту щодо його графіку. Дослідники визначають, яким має бути рівень довіри субпідрядника до плану проекту, щоб відносини змінились з конкурентних на спільні. Моделювання сценарію управління проектом на основі кооперативні гри екстенсивної форми [36, 33]
3	Моделювання поведінки субпідрядників з точки зору розподілу ресурсів. Генпідрядник намагається змусити субпідрядника надати пріоритет своєму проекту, а субпідрядник, який часто працює в кількох проектах одночасно, намагається розподілити свої ресурси таким чином, щоб максимізувати прибуток [33,35].
4	Аналіз пропозицій приватного сектору щодо проекту ДПП з метою вибору приватного партнера в проекті. Моделювання проблеми прийняття рішення як статичну некооперативну гру та запропоновано пошук оптимальної рівноваги Неша. Алгоритм передбачає визначення єдиного рейтингу учасників торгів, який враховує чисельні критерії ефективності та відображає перспективи як державного, так і приватного партнерів умовах не обмеженої кількості приватних гравців та договірних умов [32].
5	Моделювання процесу переговорів щодо розподілу витрат між нейтральним щодо ризику головним підрядником проекту і субпідрядником, який не схильний до ризику. Рівновага Неша [33]
6	Дослідження випадку ДПП Metronet – London Underground в частині обґрунтування рішення передачі активів і зобов’язань концесіонера Metronet Infraco під державний контроль через неможливість його, за оцінками арбітрів, виконання своїх зобов’язань в подальшому. Концесіонеру було відмовлено в отриманні додаткової субсидії. Застосування теорії ігор в ретроспективну дослідженні того, чи варто було проекту дозволити «провалитися», а не рятувати його. підтвердило, що уряд мав рацію, відмовивши у наданні субсидії [27]
7	Механізм розподілу ризиків в проектах ДПП за допомогою поєднання методології реальних опціонів з теорією ігор, який розглядає інвестиційні рішення, як опції. Оцінюється проект, який включає гарантію мінімального доходу і обмеження доходу. Допускається, що приватний партнер може підтримувати низькі доходи задля уникнення розподілу надприбутків з державним партнером. Прикладом механізму розподілу ризиків для захисту державного партнера є обмеження доходів, як мінімізація збитків від можливої опортуністичної поведінки [38].
8	Визначення стратегії прийняття рішень при укладанні договорів та досягнення цілей угоди на основі методу «маркетинг – мікс». Формування набору стратегій для сторін, кожна з яких має наслідки, знаходження рівноваги за допомогою теорії ігор [34]
9	Моделювання змін у концесійному проекту що можуть викликати необхідність перемовин щодо внесення змін у проект впродовж періоду концесії, коли приватний партнер отримує дохід до повернення об’єкту державному партнеру [32, 33].

Джерело: узагальнено автором за [27, 29, 30, 32, 33,34, 35, 36, 37, 38].

Незбігання інтересів двох або більше сторін, яке зазвичай є основою конфлікту, може бути як абсолютним, антагоністичним (виграш однієї сторони досягається за рахунок програшу іншої), так і не антагоністичним (інтереси сторін не є абсолютно протилежними, не такими що збігаються). У випадку незбігання інтересів учасників проектів завданням буде уміння розв'язати конфлікт без можливості обрання крайніх форм (розірвання, припинення проекту) [10].

Існує думка, що через унікальність аналітичного апарату для взаємодії між різними суб'єктами та можливість передбачити наслідки можливих рішень, теорія ігор повинна бути обов'язково застосована в якості, як мінімум, інструменту для прийняття рішень на рівні державних політик з ключових питань [22]. Теорія ігор дозволяє виявити стабільні стани системи, де жоден з учасників не має стимулу змінювати свою поведінку в односторонньому порядку. Психологічно теорія ігор заглиблюється в процес прийняття рішень людьми, особливо в ситуаціях, пов'язаних з конфліктом, співпрацею і переговорами.

Поряд з цим недоліком теорії ігор вважають вплив недостатньої компетенції, неточної інформації, інших факторів на припущення щодо раціональної поведінки гравців та прийняття ними раціональних рішень. Реальністю є такою, що не всі особи, які приймають рішення або впливають на їх прийняття, діють стратегічно. Наявність взаємозалежності між гравцями, коли користь кожного залежить не тільки від його власних дій, а й від дій кожного з інших гравців, що є відмінною рисою теорії ігор, притаманна відносинам учасників концесійного проекту, що дозволяє сформувати висновок про перспективність використання певних типів теорії ігор в узгодженні інтересів.

Отже в межах цього дослідження узгодження інтересів буде розглядатись, як поєднання активних дій учасників проекту, результатом якого є формування області компромісів, що задовольняє очікуванням сторін та сприяє досягненню мети проекту.

Теорія ігор, що зосереджується на стратегічних взаємодіях та економічній поведінці, є основою для вивчення взаємодії між учасниками ДПП та для формування правильних стратегій дій як для державного партнера, так і для ініціаторів. Кооперативні ігри можуть забезпечити своїм членам більше варіантів корисності [2, 11, 10].

Суть концесійного проекту, як одного з видів проектів ДПП, полягає в поєднанні ресурсів державного та приватного партнера задля досягнення, зокрема, економічних, соціальних результатів. Тобто логічним є очікування зазначеними учасниками концесійного проекту більшого обсягу прибутку від участі в проекті в порівнянні зі звичайною операційною діяльністю.

Питання, яке дозволяє вирішити кооперативна гра з побічними платежами, є наступним: яким чином розподілити очікуваний прибуток від проекту за умови, що працюючи в коаліції учасники проекту можуть забезпечити отримання більшого обсягу прибутку, ніж працюючи поодинці. Теорія кооперативних ігор вирішення таких задач за допомогою С-ядра кооперативної гри, яке є множиною відповідних недомінуючих розподілів Х, або вектору Шеплі за умови пустоти С-ядра.

Висновки. Стаття присвячена важливим питання узгодження економічних інтересів учасників концесії, успішність вирішення яких є передумовою ефективної реалізації проєкту. В статті представлені складові механізму узгодження інтересів; обґрунтувано зміст аналітичного процесу узгодження інтересів учасників концесійного проекту, а також доцільність використання теорії ігор на різних етапах процесу узгодження економічних інтересів учасників проектів ДПП. Використання принципів системного та структурованого підходу дозволить не тільки для описати склад системи учасників концесійного проекту, а й вирішити питання узгодження інтересів учасників проекту. Узгодження інтересів буде полягати саме у справедливому та обґрунтованому розподілі результату

діяльності спільної концесійної компанії пропорційно до вкладів, функцій та відповідальності учасників.

Під час узгодження інтересів учасників концесійного проекту доцільно використовувати математичний апарат теорії ігор при прийнятті рішень. Саме кооперативні, або коаліційні ігри пропонується застосувати для гармонізації, узгодження інтересів з метою демонстрації сторонам можливості існування найкращого для всіх сторін рішення та унеможливлення виникнення непередбачуваної поведінки сторін.

Перелік посилань

1. Алсуф'єва О.О. Механізм узгодження економічних інтересів суб'єктів національної економіки: рівні та засоби координації. Економічний вісник, 2015, №1, С. 34-41.

2. Барановська Л.В. Теорія ігор: курс лекцій : навч. посіб. Київ, 2022. 245 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/49092/1/Teoriia_ihor.pdf (дата звернення 07.11.2024).

3. Богдан Н. М. Узгодження економічних інтересів як ресурсне забезпечення регіонального розвитку. Український журнал приладної економіки, 2018, Том 3, № 1., С. 6-19.

4. Бондар Н.М. Про критерії ефективності механізму державно-приватного партнерства. Управління проектами, системний аналіз і логістика, 2014, Вип. 13(2), С. 22-38.

5. Бондар Н.М. Розвиток транспортної інфраструктури України на засадах державно – приватного партнерства: монографія. К.: НТУ, 2014. – 336 с.

6. Беспалова О. Сутність та значення координаційних органів як суб'єктів реалізації державної політики. Адміністративне право і процес, № 6, 2020, С. 105-109. URL: http://pgp-journal.kiev.ua/archive/2020/6/20.pdf (дата звернення 10.12.2024).

7. Будник В. Узгодження інтересів учасників державно-приватного партнерства на основі концепцій вартості. Економічний часопис-XXI, 2015, № 1-2(2), С. 47-50. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecchado_2015_1-2(2)__13 (дата звернення 17.12.2024).

8. Бушуєв С. Д., Івко, А. В., Лященко, Т. О., & Тихонова, О. О. (2024). Синкретичне управління інноваційними проєктами. Управління розвитком складних систем, (57), С. 20–26. URL: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.57.20-26 (дата звернення 16.12.2024).

9. Варналій З. С., Васильців Т. Г., Лупак Р. Л., Білик Р. Р. Бізнес-планування підприємницької діяльності : навч. посіб. Чернівці, 2019. 264 с.

10. Волошин О. Ф., Мащенко С. О. Моделі та методи прийняття рішень : навч. посіб. Київ, 2010. 336 с.

11. Гладкова Л., Наумова М. Застосування теорії ігор в економіці. Наукові записки [Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка], 2013, Вип. 4 (2). С. 16-21 Випуск 4 (II). URL: https://core.ac.uk/download/pdf/228635336.pdf (дата звернення 05.11.2024).

12. Григор'єв Г.С. Фінансово – економічний моніторинг в системі державного регулювання національної економіки. Науковий вісник Херсонського державного університету, 2016, Випуск 18, Частина 1., С. 60-65.

13. Єрмоленко О. Оцінка економічної ефекквтиності інформаційних систем комерційного підприємства на основі комбінованого методу розподілу спільного економічного результату. Економіка та суспільство, 2019, С. 161-168. URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/21 (дата звернення 04.12.2024).

14. Жаліло Я. А. Теорія та практика формування ефективної економічної стратегії держави: монографія. Київ, НІСД, 2009. 336 с.

15. Лендьел М. Нові інституційні механізми регіонального розвитку в Європі. [Электронный ресурс]. URL: http://194.44.230.3/science/idurr/lendel.doc (дата звернення 05.11.2024).

16. Лісун Я.В. Узгодження соціально – економічних інтересів підпршиємств на основі рефлексивного методу. Вісник Хмельницького національного університету, 2015, №4 , Т.3. С. 27-30.

17. Коломієць Г.Б. Застосування теорії ігор в оподаткуванні як сфері узгодження суспільних і приватний інтересів. Вісник Хмельницкого національного університету, 2020, № 4, Том 3. URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2021/11/2020-4t3-35.pdf (дата звернення 05.11.2024).

18. Котенок А.Г. Діалектична природа координації елементів економічної системи в контексті сучасної парадигми економічної системи. Вчені записки, 2016, №17. С. 5-18.

19. Мажара Г.А., Капустян В.О. Ірраціональні стратегії в умовах часткової інформованості гравців на прикладі індивідуально – оптимальних переваг. Академічний огляд, 2019, №2, С. 61-67. URL: https://acadrev.duan.edu.ua/images/PDF/2019/2/7.pdf (дата звернення 07.11.2024);

20. Молоканова В. М., Гордєєва І. О. Системний підхід до управління проектами в умовах поведінкової економіки. Управління розвитком складних систем : зб. наук. пр. Київ, 2021. Вип. 45. С. 43–49. URL: https://crust.ust.edu.ua/items/351e94b4-2c5d-4dce-a2ad-dd81d61784e8 (дата звернення 05.11.2024).

21. Птащенко Л.О. Збалансованість економічних інтересів: інноваційні напрями державного і корпоративного стратегічного управління: Монографія, Київ, 2009. 296 с.

22. Рашкован І., Ігнатенко О. Як теорія ігор може допомогти нашому суспільству? Сайт Українського католицького університету. URL: https://ucu.edu.ua/news/yak-teoriya-igor-mozhe-dopomogty-nashomu-suspilstvu/ (дата звернення 07.11.2024).

23. Рябцева Н.В., Алсуф'єва О. О. Механізм узгодження економічних інтересів в нноваційній мароекономічній системі. Економічний вісник, 2013, № 2. С. 77-84.

24. Серединська В.М., Загородна О.М., Федорович Р.В. Економічний аналіз : навч. посіб. Тернопіль, 2010, 624 с.

25. Турлакова С., Логвіненко Б. Моделювання процесів горизонтального узгодження рішень на підприємствах на основі рефлексивного підходу. Економіка промисловості, 2021 №4, С. 81- 92.

26. Biancardi, M., Bufalo, M., Di Bari, A. A strategic options game approach to support PPP investment decisions under risk-sharing mechanisms. *Ann Oper Res* (2024). URL: https://doi.org/10.1007/s10479-024-06155-6 (дата звернення 05.11.2024).

27. Can game theory be used to address PPP renegotiations? A retrospective study of the of the Metronet - London Underground PPP. Gregory Michael Kennedy. June 2013. URL: https://repositorio.ucp.pt/bitstream/10400.14/15839/1/201090686.pdf (дата звернення 05.12.2024).

28. Game Theory: Strategizing Scenarios: Game Theory in Action. Сайт компанії Faster Capital. URL: https://fastercapital.com/content/Game-Theory--Strategizing-Scenarios--Game-Theory-in-Action.html (дата звернення 08.11.2024).

29. Javed, A.A.; Lam, P.T.; Chan, A.P. Change negotiation in public-private partnership projects through output specifications: an experimental approach based on game theory Constr. Manag. Econ. 2014, 32,323–348. URL: https://www.researchgate.net/publication/262183373_Change_negotiation

_in_public-private_partnership_projects_through_output_specifications_an_experimental_approach_based_on_game_theory (дата звернення 06.11.2024).

30. Managing External Stakeholder Relationships in PPP projects - A Multidimensional Approach – Julian Siering & Adadm Svensson. Gothenburg, Sweden, 2012. Report No. 2012. 163 p.

31. Martin J. Osborne Ariel Rubinstein, The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England.1994. URL: https://github.com/ImaginationZ/CGT-MD2013/blob/master/Martin%20J.%20Osborne%2C%20Ariel%20Rubinstein-A%20Course%20in%20Game%20Theory-The%20MIT%20Press%20 (1994).pdf (дата звернення 05.12.2024).

32. Ouenniche, J., Boukouras, A. & Rajabi, M. Порядковий підхід теорії ігор до аналізу та вибору партнерів у проектах державно-приватного партнерства. J Optim Theory Appl 169, 2016, P. 314–343. URL: https://doi.org/10.1007/s10957-015-0844-3 (дата звернення 17.11.2024).

33. Piraveenan, M. Applications of Game Theory in Project Management: A Structured Review and Analysis, 2019, 7, 858 p. URL: https://doi.org/10.3390/math7090858 (дата звернення 05.11.2024).

34. Rouhollah Kiani Ghaleh. Using game theory to determine the point of interest sharing in a bilateral contract. International Journal of Business Management and Entrepreneurship, Vol 3, 2014, N7, 1-14. URL: https://mbajournal.ir/index.php/IJBME/article/view/47/40 (дата звернення 17.11.2024).

35. Sacks, R., & Harel, M. (2006). An economic game theory model of subcontractor resource allocation behaviour. *Construction Management and Economics*, *24*(8), 869–881. URL: https://doi.org/10.1080/01446190600631856 (дата звернення 17.12.2024).

36. Sacks, R.; Harel, M. How Last Planner motivates subcontractors to improve plan reliability—A game theory model. In Proceedings of the 14th Annual IGLC Conference, Santiago, Chile, 25–27 July 2006. URL: https://www.researchgate.net/publication/255582582_How_last_planner_motivates_subcontractors_to_improve_plan_reliability_-_A_game_theory_model (дата звернення 17.11.2024).

37. Shen, LY, Bao, HJ, Wu, YZ та Lu, WS (2007) Using Bargaining-Game Theory for Negotiating Concession Period for BOT-Type Contract. Journal of Construction Engineering & Management, 133, 385-392. URL: https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2007)133:5(385) (дата звернення 17.12.2024).

38. Using game theory to determine the point of interest sharing in a bilateral contract. Rouhollah Kiani Ghaleh. International Journal of Business Management and Entrepreneurship, Vol 3, No 7, (Spring 2024), 1-14. URL: https://mbajournal.ir/index.php/IJBME/article/view/47/40 (дата звернення 17.11.2024).

APPLICATION OF GAME THEORY IN MODELING THE ADJUSTMENT OF ECONOMIC INTERESTS OF CONCESSION PROJECT PARTICIPANTS

Bondar Nataliia M., Doctor of Economics Sciences, Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, Professor of the Department of Economics, ORCID ID: *https://orcid.org/0000-0002-8254-2449*

Sagaidak Ie. S., graduate student of the Department of Economics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, 01010, m. Kyiv, St. M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, https://orcid.org/0000-0001-7698-928X

Summary. Any concession project and its participants can be considered as an independent socio-economic system, which is a subsystem of a lower level compared to a large economic level system and is characterized by the internal order of the elements of the whole, as well as the presence of a set of processes that lead to the establishment of connections between the elements of such a system. The objectives of the article are: to determine the components of the mechanism for coordinating interests; to substantiate the analytical process of coordinating the interests of concession project participants and the feasibility of using game theory at different stages of the process of coordinating the economic interests of PPP project participants. The article presents the composition of the concession project participants. The levels of

coordination of economic interests are determined (state, concession company, market, territorial community, with the involvement of third parties (consultants)). The instruments for coordinating economic interests are systematized: legal, economic, socio-psychological, technological. Methods for coordinating economic interests through planning, monitoring, coordination, regulation and standardization are presented.

The components of the model of the mechanism for coordinating the interests of concession project participants are presented, in particular: by levels of formation and coordination, by tools and methods of coordination. The components of the analytical process of coordinating the interests of concession project participants are presented: stages, procedures, operations.

It is noted that the main method of studying the issue of coordinating economic interests is game-theoretic modeling. The feasibility of using game theory at different stages of the model of coordinating the economic interests of concession project participants is proven. Examples of using game theory elements in solving specific tasks of the model of coordinating the economic interests of concession project participants at different stages of its implementation are presented.

Keywords: economic interest, interest, concession, game theory, coordination, modeling, modeling methods, solutions, participants, project

References

1. Alsufieva O.O. Mekhanizm uzghodzhennia ekonomichnykh interesiv subiektiv natsionalnoi ekonomiky: rivni ta zasoby koordynatsii. (The mechanism of coordination of economic interests of the national economy: levels and means of coordination). Ekonomichnyi visnyk, 2015, №1, S. 34-41 [in Ukrainian].

2. Baranovska L.V. Teoriia ihor: kurs lektsii (Game theory: a course of lectures): navch. posib. Kyiv, 2022. 245 s. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/49092/1/Teoriia_ihor.pdf (Last accessed: 07.11.2024) [in Ukrainian].

3. Bohdan N. M. Uzghodzhennia ekonomichnykh interesiv yak resursne zabezpechennia rehionalnoho rozvytku (Coordination of economic interests as a resource for regional development). Ukrainskyi zhurnal pryladnoi ekonomiky, 2018, Tom 3, № 1., S. 6-19.4. [in Ukrainian].

4. Bondar N.M. Pro kryterii efektyvnosti mekhanizmu derzhavno-pryvatnoho partnerstva. (On the criteria for the effectiveness of the public-private partnership mechanism). Upravlinnia proektamy, systemnyi analiz i lohistyka, 2014, Vyp. 13(2), S. 22-38. [in Ukrainian].

5. Bondar N.M. Rozvytok transportnoi infrastruktury Ukrainy na zasadakh derzhavno – pryvatnoho partnerstva (Development of Ukraine's transport infrastructure on the basis of public-private partnership): monohrafiia. K.: NTU, 2014. – 336 s. [in Ukrainian].

6. Bespalova O. Sutnist ta znachennia koordynatsiinykh orhaniv yak subiektiv realizatsii derzhavnoi polityky (The essence and importance of coordinating bodies as subjects of state policy implementation). Administratyvne pravo i protses, № 6, 2020, S. 105-109. URL: http://pgp-journal.kiev.ua/archive/2020/6/20.pdf (Last accessed: 10.12.2024). [in Ukrainian].

7. Budnyk V. Uzghodzhennia interesiv uchasnykiv derzhavno-pryvatnoho partnerstva na osnovi kontseptsii vartosti (Harmonising the interests of public-private partnership participants based on value concepts). Ekonomichnyi chasopys-KhKhI, 2015, № 1-2(2), S. 47-50. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecchado_2015_1-2(2)__13 (Last accessed: 17.12.2024). [in Ukrainian].

8. Bushuiev S. D., Ivko, A. V., Liashchenko, T. O., & Tykhonova, O. O. (2024). Synkretychne upravlinnia innovatsiinymy proiektamy (Syncretic management of innovation projects). Upravlinnia rozvytkom skladnykh system, (57), S. 20–26. URL: https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.57.20-26 (Last accessed: 16.12.2024) [in Ukrainian].

9. Varnalii Z. S., Vasyltsiv T. H., Lupak R. L., Bilyk R. R. Biznes-planuvannia pidpryiemnytskoi diialnosti (Business planning for entrepreneurial activity): navch. posib. Chernivtsi, 2019. 264 s. [in Ukrainian].

10. Voloshyn O. F., Mashchenko S. O. Modeli ta metody pryiniattia rishen (Models and methods of decision making) : navch. posib. Kyiv, 2010. 336 s. [in Ukrainian].

11. Hladkova L., Naumova M. Zastosuvannia teorii ihor v ekonomitsi (Application of game theory in economics). Naukovi zapysky [Kirovohradskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni

Volodymyra Vynnychenka], 2013, Vyp. 4 (2). S. 16-21 Vypusk 4 (II). URL: https://core.ac.uk/download/pdf/228635336.pdf (Last accessed: 05.11.2024) [in Ukrainian].

12. Hryhoriev H.S. Finansovo – ekonomichnyi monitorynh v systemi derzhavnoho rehuliuvannia natsionalnoi ekonomiky (Financial and economic monitoring in the system of state regulation of the national economy). Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu, 2016, Vypusk 18, Chastyna 1., S. 60-65. [in Ukrainian].

13. Yermolenko O. Otsinka ekonomichnoi efekvtynosti informatsiinykh system komertsiinoho pidpryiemstva na osnovi kombinovanoho metodu rozpodilu spilnoho ekonomichnoho rezultatu. (Evaluation of the Economic Efficiency of Information Systems of a Commercial Enterprise on the Basis of the Combined Method of Distribution of the Common Economic Result). Ekonomika ta suspilstvo, 2019, S. 161-168. URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/21 (Last accessed: 04.12.2024) [in Ukrainian].

14. Zhalilo Ya. A. Teoriia ta praktyka formuvannia efektyvnoi ekonomichnoi stratehii derzhavy (Theory and practice of forming an effective economic strategy of the state): monohrafiia. Kyiv, NISD, 2009. 336 s. [in Ukrainian].

15. Lendel M. Novi instytutsiini mekhanizmy rehionalnoho rozvytku v Yevropi (New institutional mechanisms for regional development in Europe). URL: http://194.44.230.3/science/idurr/lendel.doc (Last accessed: 05.11.2024) [in Ukrainian].

16. Lisun Ya.V. Uzghodzhennia sotsialno – ekonomichnykh interesiv pidprshyiemstv na osnovi refleksyvnoho metodu (Coordination of social and economic interests of enterprises based on the reflexive method). Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, 2015, №4 , T.3. S. 27-30 [in Ukrainian].

17. Kolomiiets H.B. Zastosuvannia teorii ihor v opodatkuvanni yak sferi uzghodzhennia suspilnykh i pryvatnyi interesiv (Application of game theory in taxation as a sphere of reconciliation of public and private interests). Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, 2020, № 4, Tom 3. URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2021/11/2020-4t3-35.pdf (Last accessed: 05.11.2024) [in Ukrainian].

18. Kotenok A.H. Dialektychna pryroda koordynatsii elementiv ekonomichnoi systemy v konteksti suchasnoi paradyhmy ekonomichnoi systemy (Dialectical nature of coordination of economic system elements in the context of the modern paradigm of the economic system). Vcheni zapysky, 2016, №17. S. 5-18 [in Ukrainian].

19. Mazhara H.A., Kapustian V.O. Irratsionalni stratehii v umovakh chastkovoi informovanosti hravtsiv na prykladi indyvidualno – optymalnykh perevah (Irrational strategies under conditions of partial information of players on the example of individual optimal preferences). Akademichnyi ohliad, 2019, №2, S. 61-67. URL: https://acadrev.duan.edu.ua/images/PDF/2019/2/7.pdf (Last accessed: 07.11.2024) [in Ukrainian].

20. Molokanova V. M., Hordieieva I. O. Systemnyi pidkhid do upravlinnia proektamy v umovakh povedinkovoi ekonomiky (A systematic approach to project management in the context of behavioural economics.). Upravlinnia rozvytkom skladnykh system : zb. nauk. pr. Kyiv, 2021. Vyp. 45. S. 43–49. URL: https://crust.ust.edu.ua/items/351e94b4-2c5d-4dce-a2ad-dd81d61784e8 (Last accessed: 05.11.2024) [in Ukrainian].

21. Ptashchenko L.O. Zbalansovanist ekonomichnykh interesiv: innovatsiini napriamy derzhavnoho i korporatyvnoho stratehichnoho upravlinnia (Balancing economic interests: innovative directions of state and corporate strategic management): Monohrafiia, Kyiv, 2009. 296 s. [in Ukrainian].

22. Rashkovan I., Ihnatenko O. Yak teoriia ihor mozhe dopomohty nashomu suspilstvu? (How can game theory help our society?) Sait Ukrainskoho katolytskoho universytetu. URL: https://ucu.edu.ua/news/yak-teoriya-igor-mozhe-dopomogty-nashomu-suspilstvu/ (Last accessed: 07.11.2024) [in Ukrainian].

23. Riabtseva N.V., Alsufieva O. O. Mekhanizm uzghodzhennia ekonomichnykh interesiv v nnovatsiinii maroekonomichnii systemi (A mechanism for reconciling economic interests in an innovative macroeconomic system). Ekonomichnyi visnyk, 2013, № 2. S. 77-84 [in Ukrainian].

24. Seredynska V.M., Zahorodna O.M., Fedorovych R.V. Ekonomichnyi analiz (Economic analysis): navch. posib. Ternopil, 2010, 624 s. [in Ukrainian].

25. Turlakova S., Lohvinenko B. Modeliuvannia protsesiv horyzontalnoho uzghodzhennia rishen na pidpryiemstvakh na osnovi refleksyvnoho pidkhodu (Modelling the Processes of Horizontal Coordination of Decisions at Enterprises Based on a Reflexive Approach). Ekonomika promyslovosti, 2021 №4, S. 81- 92 [in Ukrainian].

26. Biancardi, M., Bufalo, M., Di Bari, A. та ін. A strategic options game approach to support PPP investment decisions under risk-sharing mechanisms. Ann Oper Res (2024). URL: https://doi.org/10.1007/s10479-024-06155-6 (Last accessed: 05.11.2024).

27. Can game theory be used to address PPP renegotiations? A retrospective study of the of the Metronet - London Underground PPP. Gregory Michael Kennedy. June 2013. URL: https://repositorio.ucp.pt/bitstream/10400.14/15839/1/201090686.pdf (Last accessed: 05.12.2024);

28. Game Theory: Strategizing Scenarios: Game Theory in Action. Сайт компанії Faster Capital. URL: https://fastercapital.com/content/Game-Theory--Strategizing-Scenarios--Game-Theory-in-Action.html (Last accessed: 08.11.2024);

29. Javed, A.A.; Lam, P.T.; Chan, A.P. Change negotiation in public-private partnership projects through output specifications: an experimental approach based on game theory Constr. Manag. Econ. 2014, 32,323–348. URL:https://www.researchgate.net/publication/ 262183373_Change_negotiation in_public-private_partnership_projects_through_output_ specifications an_experimental _approach_based_on_game_theory (Last accessed: 06.11.2024).

30. Managing External Stakeholder Relationships in PPP projects - A Multidimensional Approach – Julian Siering & Adadm Svensson. Gothenburg, Sweden, 2012. Report No. 2012. 163 p.

31. Martin J. Osborne Ariel Rubinstein, The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England.1994. URL: https://github.com/ImaginationZ/CGT-MD2013/blob/master/Martin%20J.%20Osborne%2C%20Ariel%20Rubinstein-A%20Course%20in%20Game%20Theory-The%20MIT%20Press%20 (1994).pdf (Last accessed: 05.12.2024).

32. Ouenniche, J., Boukouras, A. & Rajabi, M. An Ordinal Game Theory Approach to the Analysis and Selection of Partners in Public–Private Partnership Projects. J Optim Theory Appl 169, 2016, P. 314–343. URL:https://doi.org/10.1007/s10957-015-0844-3 (Last accessed: 05.12.2024)

33. Piraveenan, M. Applications of Game Theory in Project Management: A Structured Review and Analysis, 2019 , 7, 858 p. URL: https://doi.org/10.3390/math7090858 (Last accessed: 05.11.2024)

34. Rouhollah Kiani Ghaleh. Using game theory to determine the point of interest sharing in a bilateral contract. International Journal of Business Management and Entrepreneurship, Vol 3, 2014, No 7, 1-14. URL: https://mbajournal.ir/index.php/IJBME/article/view/47/40 (Last accessed: 05.12.2024)

35. Sacks, R., & Harel, M. (2006). An economic game theory model of subcontractor resource allocation behaviour. Construction Management and Economics, 24(8), 869–881. URL: https://doi.org/10.1080/01446190600631856 (Last accessed: 07.12.2024)

36. Sacks, R.; Harel, M. How Last Planner motivates subcontractors to improve plan reliability—A game theory model. In Proceedings of the 14th Annual IGLC Conference, Santiago, Chile, 25–27 July 2006. URL:
https://www.researchgate.net/publication/255582582_How_last_planner_motivates_subcontractors_to_improve_plan_reliability_-_A_game_theory_model (Last accessed: 17.11.2024)

37. Shen, LY, Bao, HJ, Wu, YZ та Lu, WS (2007) Using Bargaining-Game Theory for Negotiating Concession Period for BOT-Type Contract. Journal of Construction Engineering & Management, 133, 385-392. URL: https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2007)133:5(385) (Last accessed: 17.12.2024);

38. Using game theory to determine the point of interest sharing in a bilateral contract. Rouhollah Kiani Ghaleh. International Journal of Business Management and Entrepreneurship, Vol 3, No 7, (Spring 2024), 1-14. URL: https://mbajournal.ir/index.php/IJBME/article/view/47/40 (Last accessed: 17.11.2024).

ДК 339.5
UDC 339.5
DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-256-266

ФІНАНСОВИЙ МОНІТОРИНГ В ЕКСПОРТНО-ІМПОРТНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ МАЛИХ І СЕРЕДНІХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ: ВИКЛИКИ ТА ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ

FINANCIAL MONITORING IN EXPORT-IMPORT ACTIVITIES OF UKRAINIAN SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES: CHALLENGES AND OPTIMIZATION PATHS



Матеящук Богдан Михайлович *Ph.D. студент, Національний транспортний університет, Київ, Україна, mateiashchuk@gmail.com, тел. +380931247811, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1,*

https://orcid.org/0009-0005-8861-019X



Козак Людмила Степанівна*, Заслужений працівник освіти України, кандидат економічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри «Економіка», e-mail: lskozak1@gmail.com, тел. +380442803016, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 314,*

https://orcid.org/0000-0003-3995-172X



Ярова Руслана Василівна, *кандидат юридичних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри конституційного та адміністративного права, e-mail:yarovaruslana@ukr.net, тел.: +380971123062, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 243,.*

https://orcid.org/0000-0001-5525-1059

Анотація. Стаття присвячена аналізу впливу фінансового моніторингу на здійснення експортно-імпортних операцій малими та середніми підприємствами (ММСП) в Україні. Після підписання Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, українські ММСП отримали доступ до нових міжнародних ринків, що відкриває значні можливості для їхнього розвитку. Однак, відсутність презумпції невинуватості, складність та неврегульваність чітко визначених критеріїв фінансового моніторингу, стають суттєвими перешкодами для ефективної діяльності ММСП.

У статті досліджуються ключові виклики, з якими стикаються ММСП у процесі дотримання вимог фінансового моніторингу, зокрема: відсутність презумпції невинуватості при здійсненні платежів, надмірна бюрократизація процесів та обмежені кадрові й фінансові ресурси підприємств для відповідності вимогам моніторингу.

Також в статті запропоновані можливі шляхи спрощення процедур моніторингу, зокрема шляхом впровадження ризик-орієнтованого підходу та автоматизації процесів перевірки, що

дозволило б зменшити адміністративне навантаження на ММСП та покращити їхню конкурентоспроможність на міжнародних ринках.

Ключові слова: малі та середні підприємства (ммсп), фінансовий моніторинг, експортно-імпортна діяльність, банківський контроль, регуляторне навантаження, конкурентоспроможність, міжнародна економічна інтеграція.

Постановка проблеми. Малий та середній бізнес (МСБ) є важливим сегментом економіки будь-якої країни, що сприяє розвитку інновацій, створенню робочих місць та забезпеченню стійкого економічного зростання. В Україні малі та середні підприємствам (ММСП) відіграють особливу роль, оскільки вони забезпечують близько 80% усіх робочих місць у приватному секторі та генерують значну частину валового внутрішнього продукту [1].

Відкриття доступу до європейських ринків після підписання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом [2] у 2014 році стало новою можливістю для українських підприємців. Однак, для того, щоб українські підприємства могли інтегруватися в глобальні ринки та розширити свою зовнішньоекономічну діяльність, їм потрібно адаптуватися до сучасних вимог фінансового моніторингу. Експортно-імпортні операції малих і середніх підприємств відіграють важливу роль у розвитку зовнішньоекономічних зв'язків країни, але водночас вони стикаються з суттєвими викликами щодо дотримання вимог українського та міжнародного фінансового моніторингу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематиці організації фінансового моніторингу в Україні присвячено ряд праць українських вчених. Так, у дослідженні О.В. Смагло [3] розкрито сутність фінансового моніторингу, визначено його основні об'єкти, пов'язані з відповідними учасниками фінансових операцій, проаналізовано сучасний стан, тенденції розвитку фінансового моніторингу. Гнаткович О.Д, Овиннікова Т.В., Смолінська С.Д. [4] у своєму дослідженні проаналізували діяльність Державної служби фінансового моніторингу України та сформували напрями її удосконалення в сучасних умовах цифровізації вітчизняної економіки. Однак, треба зазначити, що у працях вітчизняних вчених недостатньо висвітлено практичні аспекти проблем, з якими стикається український бізнес під час контролю, особливо з точки зору малих і середніх підприємств, що функціонують в умовах постійного дефіциту обігових коштів.

Постановка завдання. Метою даної статті є дослідження впливу фінансового моніторингу на здійснення експортно-імпортних операцій малими та середніми підприємствами України та розробка рекомендацій щодо оптимізації процесів моніторингу для підвищення конкурентоспроможності українських ММСП на міжнародному ринку.

Для досягнення цієї мети передбачається вирішення наступних завдань:

– аналіз сучасних нормативних вимог до фінансового моніторингу в Україні та міжнародних стандартах;

– дослідження специфіки впровадження цих вимог для малого та середнього бізнесу, що здійснює зовнішньоекономічну діяльність;

– розробка пропозицій щодо покращення умов ведення експортно-імпортних операцій через спрощення або оптимізацію вимог до моніторингу.

Виклад основного матеріалу дослідження. За визначенням Національного банку України фінансовий моніторинг – діяльність із виявлення незаконно отриманих доходів та запобігання фінансуванню тероризму. Національний банк встановлює до банків та небанківських установ вимоги щодо протидії відмиванню незаконно отриманих доходів та перевіряє їх дотримання [5]. На практиці реалізація цієї високої мети виливається в ряд проблем для бізнесу, а саме**:**

– Відсутність презумпції невинуватості у здійсненні платежів. Якщо сума операції перевищує 400 тис грн., або банк вважає, що певна угода має ознаки порушення правил фінансового моніторингу, він має право заблокувати транзакцію до з'ясування обставин. Для малих і середніх підприємств, особливо тих, хто вперше виходить на європейські ринки, такі ситуації є неочікуваними і можуть призвести до серйозних фінансових втрат. Часто банки зловживають цим правом, блокуючи кошти до того часу, як клієнт надасть увесь пакет документів.

– Банківський контроль і затримки платежів. Українські банки контролюють міжнародні транзакції, вимагаючи детальну інформацію про операції, учасників та джерела коштів. Для МСБ це означає додаткові витрати часу та ресурсів на підготовку документів. Через складні процедури і запити банків на додаткові документи часто затримуються платежі, що може тривати кілька днів або тижнів. Для малих підприємств, залежних від швидкого обігу коштів, та при обмеженому доступі до кредитних ресурсів, такі затримки загрожують втратою ринкових можливостей.

– Вимоги до розкриття бенефіціарів. У разі здійснення експортно-імпортних операцій з іноземними компаніями українські банки вимагають детальної інформації про власників та кінцевих бенефіціарів іноземних підприємств. У більшості випадків отримати таку інформацію дуже важко, а інколи практично неможливо.

Відповідно до Закону України «Про запобігання та протидію легалізації (відмиванню) доходів, одержаних злочинним шляхом» [6], фінансові операції, що підлягають обов'язковому фінансовому моніторингу, є такими, що перевищують 400 000 гривень для звичайних операцій, та без обмежень для окремих категорій (наприклад, операції з готівкою, переказ коштів без відкриття рахунку, операції з нерезидентами, тощо).

Таким чином, кожна експортно/імпортна операція повинна бути під контролем суб'єктів первинного фінансового моніторингу — банків, фінансових установ та інших організацій, які забезпечують контроль за операціями своїх клієнтів.

Згідно з законодавством, кожен фінансовий суб'єкт зобов'язаний:

– ідентифікувати клієнтів та їхніх бенефіціарів під час здійснення фінансових операцій;

– перевіряти походження коштів у випадках, коли операції перевищують визначені порогові значення або викликають підозру;

– забезпечувати облік та збереження інформації про всі фінансові операції для можливості ретроспективного аналізу протягом тривалого часу (не менше 5 років).

– негайно повідомляти державні органи про всі підозрілі операції, що можуть бути пов'язані з відмиванням грошей або фінансуванням тероризму.

Складність виконання таких вимог особливо гостро відчувається серед малих підприємств, які часто не мають ані ресурсів, ані необхідної експертизи для проведення розслідувань діяльності своїх контрагентів та їх фінансових потоків.

Україна є членом різних міжнародних організацій, таких як FATF-style регіональна група MONEYVAL, яка контролює дотримання стандартів боротьби з відмиванням грошей та фінансуванням тероризму в європейському регіоні. MONEYVAL є органом Ради Європи, і Україна бере участь у його діяльності, що вимагає дотримання стандартів FATF. Як член цієї групи, Україна регулярно проходить оцінювання щодо відповідності міжнародним стандартам та зобов'язана впроваджувати відповідні заходи. Тому, на додаток до національного законодавства, Україна зобов'язана дотримуватися міжнародних стандартів фінансового моніторингу, таких як рекомендації FATF (Financial Action Task Force). FATF встановлює міжнародні стандарти боротьби з відмиванням грошей та фінансуванням тероризму, які спрямовані на забезпечення прозорості міжнародних фінансових операцій. Україна як член міжнародної спільноти зобов'язана впроваджувати ці стандарти в національну практику.

Міжнародні рекомендації FATF вимагають:

– Підвищеної уваги до транзакцій, пов'язаних з офшорними зонами або країнами з високим рівнем ризику.

– Проведення посилених перевірок для операцій з новими клієнтами або контрагентами, що раніше не здійснювали великі фінансові операції.

– Застосування ризик-орієнтованого підходу, що дозволяє фінансовим установам сконцентруватися на транзакціях із найбільшим ризиком.

Для успішної інтеграції українських малих та середніх підприємств у міжнародну торгівлю необхідно не тільки розуміти та виконувати нормативні вимоги до фінансового моніторингу, але й ефективно адаптувати ці процеси до реалій роботи бізнесу. Виконання вимог законодавства, як на національному, так і на міжнародному рівні, може бути досить складним для підприємств з

обмеженими ресурсами. Особливо це стосується малих та середніх підприємств, які часто стикаються з низкою викликів при реалізації цих процедур. Далі розглянемо основні труднощі, які виникають у ММСП у процесі дотримання вимог фінансового моніторингу.

1. Відсутність презумпції невинуватості у здійсненні платежів. Відсутність презумпції невинуватості в фінансовому моніторингу означає, що під час проведення транзакцій банки можуть автоматично розглядати будь-яку операцію як потенційно підозрілу до надання всіх необхідних документів, що підтверджують її законність. Це ставить малий і середній бізнес у вразливе становище, оскільки кожна фінансова операція підлягає ретельному моніторингу, а невідповідність хоча б одному критерію може призвести до затримки або блокування платежу.

Презумпція винуватості фактично означає, що бізнес змушений надавати докази на підтвердження кожної своєї фінансової операції. У багатьох випадках це призводить до ситуацій, коли навіть невеликі затримки або неточності в документах можуть стати підставою для блокування платежів. Це є особливо складним для ММСП, оскільки вони часто не мають достатніх ресурсів для оперативного надання всієї необхідної інформації або наймання спеціалізованого персоналу для виконання вимог фінансового моніторингу.

Наявність механізму презумпції невинуватості могла б спростити процеси моніторингу, дозволивши банкам виконувати транзакції на основі мінімального рівня довіри до клієнтів і перевіряти тільки ті операції, які дійсно мають ознаки підозри. Проте на практиці цього немає, що створює суттєві затримки в роботі бізнесу.

2. Надмірне адміністративне навантаження, дефіцит кваліфікованого персоналу та відсутність адаптивної підтримки. Ще одним викликом для ММСП є бюрократичні процедури, пов’язані з перевіркою фінансових операцій та виконанням вимог фінансового моніторингу. Для того, щоб відповідати законодавчим нормам, підприємства змушені збирати великий обсяг документації та регулярно надавати звіти. Банки, виконуючи свої зобов’язання щодо фінансового моніторингу, вимагають докладної інформації про транзакції та бенефіціарів, що часто затримує платежі та перешкоджає оперативній діяльності бізнесу.

Найчастіше банки додатково запитують такі документи: фінансова звітність, виписки з рахунків у інших банках, опитувальники та анкети, різноманітні пояснення щодо доцільності операції.

Цей перелік не є вичерпним та встановлюється банками самостійно. Нижче, як приклад, наведено анкету, яку Райфайзен банк вимагав заповнити у свого клієнта для зарахування коштів за контрактом на експорт послуг (рис. 1).

Лист опису
зовнішньоекономічної операції для клієнтів сегменту ВВ

1	Найменування Клієнта	
2	Код ЄДРПОУ	
3	Пояснення щодо суті, мети, економічної доцільності фінансової операції	
Опис діяльності клієнта		
4	Опис бізнесу клієнта	
5	Які використовуються о/з (приміщення, склади, транспорт, обладнання)	
		(у разі відсутності власних о/з, **надати договори оренди**)
6	Перелік основних контрагентів (назва, код); розкрити суть взаємовідносин з ними (продавці, покупці)	
7	Інформація про основних контрагентів в іноземній валюті	
		(заповнюється по контрактам, які переводяться з інших банків)
Опис діяльності контрагента		
8	Найменування Контрагента	
9	Країна реєстрації	
10	Дата реєстрації	
11	Офіційний сайт (в разі наявності)	

12	Кінцеві бенефіціарні власники (ПІБ, країна громадянства, країна проживання, частка)	
13	Опис діяльності контрагента	
14	Чи відповідає вид діяльності нерезидента операції з поставки товару/надання послуг	Так / Ні (залишити вірне)
		(якщо ні, необхідно **надати розгорнуте пояснення**)
15	Надати інформацію щодо ділової репутації контрагента	
16	Яким чином налагоджено ділові відносини (критерії вибору)	
17	Контрагент є виробником чи посередником	Виробник / Посередник (залишити вірне)
18	Причини та економічна доцільність співпраці з нерезидентом-посередником	
		(заповнюється в разі, коли в операції задіяний посередник)
19	Назва виробника товару/ надавача послуг, офіційний сайт, країна походження товару	
Опис зовнішньоекономічної операції		
20	№ та дата Контракту	
21	Код товару згідно з УКТЗЕД	
22	Яким чином, у яких нерезидентів/резидентів здійснювалась закупівля аналогічного товару у попередні періоди	
23	**Кінцевий споживач купленого товару**	
		(якщо кінцевим споживачем товару є не клієнт, **надати договори з покупцями)**
24	Подальші наміри співпраці з даним нерезидентом, заплановані об'єми закупки	
25	Умови поставки товару, маршрут	
26	Джерела походження коштів для оплати (власні кошти в іноземній валюті, оплата від контрагентів, фінансова допомога, тощо)	
		* **у разі фінансової допомоги необхідно надати**: -підтвердження економічної доцільності залучення фінансової допомоги та інформацію про джерела погашення; -договори ПФД та підтвердження фін.стану позикодавця (фін.звітність, декларація про майновий стан)

Наступним підтверджую

☐ у складі КБВ (кінцевого бенефіціарного власника) Контрагента(ів) відсутні резиденти російської федерації/республіки білорусь

☐ товар/послуга не є походженням з російської федерації /республіки білорусь/ Іран/Сирія/Афганістан/Корейська Народно-Демократична Республіка (КНДР)/Республіка Нікарагуа

☐ товар/послуга має надійти на митну територію України протягом 6-ох місяців з дня її оплати

Гарантую правильність наданої у цьому документі інформації, яка буде використана до АТ «Райффайзен Банк» виключно для цілей валютного нагляду та зобов'язуюсь оновлювати її у разі зміни.

Рисунок 1 – Анкета Райффайзен банку для зарахування коштів за експортним контрактом.
Figure 1 – Raiffeisen Bank Questionnaire for crediting funds under an export contract.

Державна підтримка малого бізнесу в Україні часто є недостатньо гнучкою та орієнтованою на потреби ММСП. Так, за даними опитування ММСП, яке провело ПРООН в Україні, до найбільших проблем відносять (рис.2): складність законодавства яке регулює бізнес; відсутність розуміння бізнес-потреб державними органами. [7].

Багато регуляторних вимог однаково застосовуються до всіх підприємств, незалежно від їхнього розміру, що створює надмірне адміністративне навантаження на малі компанії. Наприклад, вимоги до перевірки транзакцій, звітності та надання детальної інформації про бенефіціарів є стандартними для великих корпорацій і малих підприємств, що ставить ММСП у нерівні умови.

Очевидно що така ситуація створює попит з боку ММСП на спеціалізований персонал, який би міг забезпечувати виконання вимог фінансового моніторингу. Більші компанії можуть дозволити собі найняти окремих фахівців або створити внутрішні відділи для роботи з фінансовим моніторингом, тоді як ММСП часто не мають таких ресурсів. В результаті, підприємства залежать від зовнішніх .

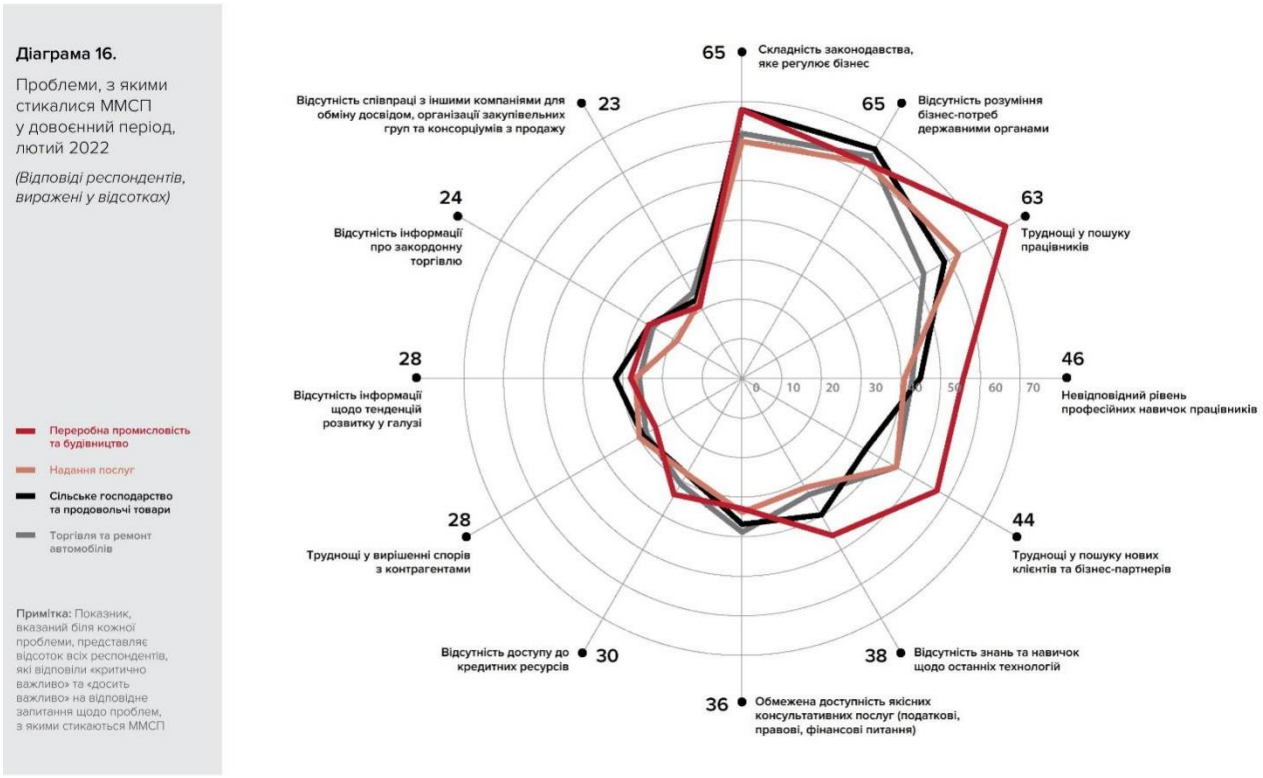


Рисунок 2 – Проблеми, з якими стикалися ММСП у довоєнний період, лютий 2022 [7].
Figure 2 – Challenges faced by SMEs in the pre-War period, february 2022 [7].

консультаційних фірм або вимушені покладати ці функції на менеджмент, який не завжди володіє достатніми знаннями у цій сфері

3. Необхідність розкриття інформації про кінцевих бенефіціарів В Україні вимоги до розкриття бенефіціарів закріплені в Законі України «Про запобігання та протидію легалізації доходів, одержаних злочинним шляхом» [6]. Ці вимоги є частиною загальносвітових зусиль для забезпечення прозорості фінансових операцій, боротьби з відмиванням грошей і фінансуванням тероризму. Проте для підприємств, особливо тих, що беруть участь у міжнародних операціях, виконання цих вимог може стати непростим завданням.

Кінцевим бенефіціаром вважається особа, яка безпосередньо або опосередковано володіє компанією або контролює її діяльність. У більшості країн, включно з Україною, законодавство вимагає від компаній і фінансових установ розкривати інформацію про кінцевих бенефіціарів, особливо під час здійснення фінансових операцій з іноземними контрагентами або під час перевірки нових клієнтів.

Банки та інші фінансові установи зобов'язані отримувати й перевіряти інформацію про бенефіціарів перед проведенням фінансових операцій. Це стосується як великих корпорацій, так і ММСП. Для ММСП виконання вимог щодо розкриття бенефіціарів може стати складним завданням через кілька причин:

– Складність доступу до інформації про іноземних контрагентів. У разі міжнародних транзакцій підприємства повинні надати точні дані про власників іноземних компаній. Проте доступ до такої інформації може бути обмеженим, особливо якщо йдеться про компанії з юрисдикцій, які не зобов'язані публікувати деталі власників.

– Складні корпоративні структури. Деякі підприємства є частинами складних корпоративних груп або мають кілька рівнів власників. Це ускладнює процес ідентифікації бенефіціарів і потребує додаткових зусиль для збирання всіх необхідних даних. Малі підприємства часто не мають ресурсів для проведення такого аналізу.

– Високі витрати часу та ресурсів. Збирання інформації про кінцевих бенефіціарів потребує часу, особливо в тих випадках, коли підприємство працює з кількома контрагентами одночасно. Це може відволікати ресурси від основної діяльності підприємства та призводити до затримок у проведенні операцій.

– Ризик блокування транзакцій. Якщо підприємство не може надати всю необхідну інформацію або якщо вона виявляється неповною, банк може відмовити у проведенні транзакції або затримати її до завершення перевірки. Це створює додаткові ризики для бізнесу, особливо якщо мова йде про міжнародні контракти з чіткими термінами.

4. Зміна банку. Якщо підприємство бажає змінити банк, який обслуговує його експортно-імпортні операції, наприклад, через неякісний сервіс, воно повинно повідомити про це новий банк і надати відповідні документи, які підтверджують дотримання вимог валютного нагляду. Процедура зміни банку для обслуговування валютних операцій описана в Положенні НБУ про заходи захисту та визначення порядку здійснення окремих операцій в іноземній валюті [8] і включає кілька етапів:

- Повідомлення про зміну банку: Якщо підприємство вирішило змінити банк, який обслуговує його експортно-імпортні операції, воно повинно повідомити про це обидва банки – поточний та новий. Це необхідно для того, щоб передати всю інформацію, пов'язану з операціями та граничними строками розрахунків, новому банку, який продовжить моніторинг.
- Закриття валютного нагляду в поточному банку: Перед зміною банку підприємство повинне забезпечити, щоб усі операції, що знаходяться на валютному контролі, були завершені або передані на обслуговування новому банку. Це включає закриття всіх відкритих валютних контрактів і завершення фінансових операцій. Поточний банк передає новому банку всю необхідну інформацію про експортно-імпортні операції, щоб не було порушення строків валютного нагляду. Обмін інформацією між банками здійснюється засобами зв'язку Національного банку України.
- Передача валютної історії: Новий банк зобов'язаний отримати всю історію операцій, пов'язаних з експортно-імпортними контрактами, щоб забезпечити безперервність валютного нагляду та дотримання граничних строків розрахунків. Це може включати як операції, що вже були виконані, так і ті, що знаходяться в процесі завершення.
- Відповідальність нового банку: Після прийняття валютної історії та документів від попереднього банку новий банк бере на себе відповідальність за валютний нагляд і контроль за операціями відповідно до законодавства України.

Процедура зміни банку для обслуговування експортно-імпортних операцій є досить складною через необхідність передачі великого обсягу інформації та забезпечення відповідності вимогам

валютного нагляду. Для ММСП ця процедура може стати суттєвим бар'єром, особливо якщо компанія прагне оперативно змінити банк через погану якість сервісу або інші проблеми.

Малі та середні підприємства в Україні стикаються з численними викликами у сфері фінансового моніторингу, що обмежує їхню здатність брати участь у міжнародній торгівлі та конкурентоспроможності на світових ринках. Для успішного подолання цих проблем необхідні комплексні заходи з боку державних органів, фінансових установ та самих підприємств.

Можливі шляхи подолання проблем фінансового моніторингу для малих і середніх підприємств:

1. Впровадження презумпції невинуватості для фінансових операцій. Одним із найбільш критичних аспектів, що ускладнюють роботу ММСП, є відсутність презумпції невинуватості при проведенні фінансових операцій. Введення механізму, за яким операції не будуть автоматично блокуватися без прямих підстав, може суттєво покращити швидкість і ефективність проведення транзакцій. Це передбачає зміну підходу банків до фінансового моніторингу, де операції розглядатимуться як законні доти, доки не буде доказів протилежного. Для цього необхідно:

– Законодавчо закріпити принцип презумпції невинуватості у фінансових операціях;

– Знизити поріг для обов'язкових перевірок операцій, які викликають підозру, і запровадити диференційовану систему моніторингу на основі ризиків.

2. Спрощення процедур розкриття бенефіціарів. Важливою проблемою для ММСП є складність ідентифікації бенефіціарів під час проведення міжнародних операцій. Для спрощення цього процесу держава повинна розробити стандартизовані платформи, де підприємства зможуть легко отримувати доступ до інформації про бенефіціарів. Можливі шляхи вирішення:

– Створення національної платформи з доступом до міжнародних баз даних інформації про власників іноземних компаній;

– Спрощення вимог до розкриття інформації для малих підприємств, які мають невеликі обсяги транзакцій.

3. Зниження адміністративного навантаження. Малі та середні підприємства часто не мають достатньо ресурсів для виконання всіх вимог фінансового моніторингу, зокрема для підготовки великої кількості документів і звітів. Спрощення бюрократичних процедур дозволить їм зосередитися на своїй основній діяльності. Державні органи та банки можуть впровадити наступні заходи:

– Стандартизація та закріплення вичерпного переліку інформації, яку контрагент повинен надати для проведення транзакції;

– Введення спрощеної системи звітності для МСБ, що дозволить зменшити обсяг документації;

– Надання можливості здійснювати операції на основі стандартних перевірок, а не індивідуальних запитів для кожної транзакції;

– Розробка програм автоматизації процесів підготовки звітності для полегшення взаємодії з фінансовими установами.

4. Надання спеціалізованих консультацій та підтримки. Малі підприємства часто не мають власних ресурсів для ефективного виконання вимог фінансового моніторингу. У зв'язку з цим необхідно створити спеціалізовані центри підтримки для МСБ, які надаватимуть консультації та допомогу у підготовці документації, роз'яснюватимуть норми законодавства та допомагатимуть у взаємодії з банками. Можливі ініціативи:

– Створення державних або приватних консультаційних центрів з питань фінансового моніторингу;

– Запуск інформаційних кампаній і навчальних програм для підприємців щодо вимог фінансового моніторингу;

5. Використання цифрових інструментів і технологій. Сучасні технології можуть значно полегшити процес фінансового моніторингу для МСБ. Впровадження цифрових рішень дозволить автоматизувати процеси перевірки та звітності, знизити кількість помилок та прискорити роботу підприємств. Необхідно:

– Впровадити електронні платформи для автоматизації перевірки операцій і підготовки звітності;

– Використовувати штучний інтелект та аналіз великих даних для оцінки ризиків і виявлення підозрілих операцій;

– Сприяти впровадженню технологій блокчейн для підвищення прозорості та надійності фінансових операцій.

6. Міжнародна співпраця та адаптація міжнародних стандартів. Україна, будучи членом міжнародних організацій, зобов'язана дотримуватись міжнародних стандартів фінансового моніторингу, таких як рекомендації FATF. Однак, ці стандарти повинні бути адаптовані до реалій українського бізнесу. Задля цього необхідно:

– Впровадити ризик-орієнтований підхід до моніторингу, що дозволить концентрувати зусилля на найбільш ризикованих операціях;

– Розробити спрощені механізми для малих підприємств, що відповідають вимогам міжнародних стандартів, але враховують їхні можливості;

– Забезпечити активну міжнародну співпрацю та обмін досвідом з іншими країнами, що впровадили подібні реформи.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвиток у даному напрямі. Фінансовий моніторинг є необхідним елементом сучасної економіки, спрямований на запобігання відмиванню коштів і фінансуванню тероризму. Однак, для малих і середніх підприємств України, особливо тих, що здійснюють експортно-імпортні операції, його впровадження супроводжується значними труднощами. Основні проблеми полягають у складних вимогах до розкриття бенефіціарів, затримках платежів через банки та високому адміністративному навантаженні, що впливає на швидкість і ефективність бізнес-операцій.

Впровадження презумпції невинуватості у фінансових операціях, спрощення вимог щодо розкриття інформації про бенефіціарів, зниження адміністративного навантаження та використання сучасних цифрових інструментів є ключовими кроками, які можуть значно полегшити дотримання вимог фінансового моніторингу для ММСП. Це дозволить українським підприємствам ефективніше інтегруватися в міжнародні ринки та підвищити свою конкурентоспроможність. Подальші дослідження в даному напрямі можуть бути зосереджені на кількох ключових аспектах:

– Аналіз впливу цифрових технологій на спрощення процесів фінансового моніторингу, зокрема впровадження блокчейну та штучного інтелекту для автоматизації перевірок.

– Розробка адаптованих механізмів для малих підприємств, які враховували б обмежені ресурси таких компаній і дозволяли їм легше виконувати вимоги міжнародного фінансового моніторингу.

– Порівняння міжнародного досвіду. Вивчення практик інших країн, що впровадили подібні реформи для спрощення фінансового моніторингу для ММСП, з метою застосування найкращих рішень у контексті України.

– Оцінка впливу регуляторних змін на конкурентоспроможність українських ММСП на міжнародному ринку, що дозволить краще зрозуміти економічні вигоди від реформ у сфері фінансового моніторингу.

Таким чином, комплексне дослідження цих питань сприятиме подальшій модернізації та оптимізації фінансового моніторингу для українських підприємств, зменшуючи їхнє адміністративне навантаження та підвищуючи ефективність зовнішньоекономічної діяльності.

Перелік посилань

1. Показники діяльності суб'єктів великого, середнього, малого та мікропідприємництва (2010-2022) [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України. – Режим доступу: https://www.ukrstat.gov.ua.

2. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони [Електронний ресурс] / Кабінет міністрів України. – Режим доступу: https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/yevropejska-integraciya/ugoda-pro-asociacyu.

3. Смагло О.В. Функціонування системи фінансового моніторингу в Україні [Електронний ресурс] // Економіка та суспільство. – 2021. – Вип. 26. – Режим доступу: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/341/326.

4. Гнаткович О.Д., Овчиннікова Т.В., Смолінська С.Д. Фінансовий моніторинг в Україні та напрями його покращення [Електронний ресурс] // Економіка та суспільство. – 2022. – Вип. 35. – Режим доступу: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1271/1225.

5. Національний банк України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://bank.gov.ua/ua/supervision/monitoring.

6. Закон України «Про запобігання та протидію легалізації (відмиванню) доходів, одержаних злочинним шляхом» № 361-IX від 06.12.2019 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/361-20#Text.

7. ПРООН. Експрес-оцінка впливу війни на мікро-, малі та середні підприємства в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/otsinka-vplyvu-viyny-na-mikro-mali-ta-seredni-biznesy-v-ukrayini.

8. Постанова НБУ № 5 від 02.01.2019 р. Про затвердження Положення про заходи захисту та визначення порядку здійснення окремих операцій в іноземній валюті [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0005500-19#n252.

FINANCIAL MONITORING IN EXPORT-IMPORT ACTIVITIES OF UKRAINIAN SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES: CHALLENGES AND OPTIMIZATION PATHS

Mateiashchuk Bohdan M., Ph.D. student, National Transport University, Kyiv, Ukraine, mateiashchuk@gmail.com, tel. +380931247811, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka str., 1 https://orcid.org/0009-0005-8861-019X

Kozak Lyudmila S., Ph.D., professor, National Transport University, head, department of Economics, e-mail: lskozak1@gmail.com, tel. +380442803016, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka str., 1, of. 314, orcid.org/0000-0003-3995-172X.

Yarova Ruslana V., Ph.D., associate professor, National Transport University, Dean of the Faculty of Economics and Law, Kyiv, Ukraine, yarovaruslana@ukr.net, tel.: +380971123062, Ukraine, 01010, Kyiv, str. M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, k. 243. orcid.org/0000-0001-5525-1059

Abstract. The article is dedicated to analyzing the impact of financial monitoring on the export-import operations of small and medium enterprises (SMEs) in Ukraine. Following the signing of the Association Agreement with the European Union, Ukrainian SMEs gained access to new international markets, offering substantial development opportunities. However, the absence of the presumption of innocence, the complexity, and the lack of clear regulation of financial monitoring criteria pose significant obstacles to the effective operation of SMEs.

The article examines the key challenges SMEs face in complying with financial monitoring requirements, including the lack of presumption of innocence in payment processing, excessive bureaucratization of processes, and the limited human and financial resources of enterprises to meet monitoring requirements.

The article also proposes possible ways to simplify monitoring procedures, particularly through the implementation of a risk-based approach and the automation of verification processes. These measures could reduce the regulatory obstacles on SMEs and enhance their competitiveness in international markets.

Keywords: small and medium enterprises (smes), financial monitoring, export-import activity, banking control, regulatory obstacles, competitiveness, international economic integration.

References

1. Indicators of activities of large, medium, small, and microenterprises (2010-2022) [Electronic resource] / State statistics service of Ukraine. – Retrieved from: https://www.ukrstat.gov.ua.

2. Association agreement between the European Union and its member states, of the one part, and Ukraine, of the other part [Electronic resource] / Cabinet of ministers of Ukraine. – Retrieved from: https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/yevropejska-integraciya/ugoda-pro-asociacyu.

3. Smahlo O.V. Functioning of the financial monitoring system in Ukraine [Electronic resource] // Economy and Society. – 2021. – Issue 26. – Retrieved from: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/341/326.

4. Hnatkovich O.D., Ovchynnikova T.V., Smolinska S.D. Financial monitoring in Ukraine and directions of its improvement [Electronic resource] // Economy and Society. – 2022. – Issue 35. – Retrieved from: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1271/1225.

5. National bank of Ukraine [Electronic resource]. – Retrieved from: https://bank.gov.ua/ua/supervision/monitoring.

6. Law of Ukraine "On Prevention and Counteraction to Legalization (Laundering) of Proceeds of Crime" No. 361-IX dated 06.12.2019 [Electronic resource]. – Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/361-20#Text.

7. UNDP. Rapid Assessment of the Impact of the War on Micro, Small, and Medium Enterprises in Ukraine [Electronic resource]. – Retrieved from: https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/otsinka-vplyvu-viyny-na-mikro-mali-ta-seredni-biznesy-v-ukrayini.

8. NBU Resolution №. 5 dated 02.01.2019 on Approval of the regulation on protection measures and the procedure for conducting certain foreign currency operations [Electronic resource]. – Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0005500-19#n252.

УДК 339.9:338.4
UDC 339.9:338.4
DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-267-275

ГЛОБАЛЬНІ ТРЕНДИ ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЙ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ КРАЇН-ЛІДЕРІВ: СВІТОВИЙ ДОСВІД ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

GLOBAL TRENDS IN THE FORMATION OF ECONOMIC SECURITY STRATEGIES OF LEADING COUNTRIES: WORLD EXPERIENCE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF UKRAINE'S ECONOMY



***Федорук Олеся Володимирівна**, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри «Економіка», Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: olesiavfedoruk@gmail.com,*

https://orcid.org/0000-0002-7402-4174

Анотація: У статті досліджено глобальні тренди формування стратегій економічної безпеки країн-лідерів. Проаналізовано декомпозицію поняття міжнародної та національної безпеки. Виявлено базові тенденції формування політики економічної безпеки в розвинених країнах. Досліджено інструменти гарантування економічної безпеки країн-лідерів. Запропоновано підходи щодо формування національної стратегії забезпечення економічної безпеки на основі захисту національних економічних інтересів.

У сучасних динамічних умовах розвитку країни світу тісно пов'язані між собою складною системою господарських відносин, тому не можуть відокремлено розвиватися для уникнення впливу на економіку, зокрема, світових криз, нестабільності валютних курсів, інфляційних процесів, коливання процентних ставок, зміни умов торгівлі та кон'юнктури світових ринків, загострення конкурентної боротьби, зростання витрат на імпорт енергоресурсів, зниження цін на експортні товари.

Суттєво впливають на показники розвитку світової економіки екологічні та продовольчі проблеми, боротьба із хворобами, трансформація міжнародних економічних відносин, зростання заборгованості країн, що несуть глобальну загрозу для всієї світової спільноти. Їх невирішеність негативно впливає на міжнародні економічні відносини, посилює нестабільність світового господарства, а також є джерелом напруженості та конфліктів, що розбалансовує систему міжнародної економічної безпеки.

Ключові слова: стратегії економічного розвитку, економічна безпека, міжнародні економічні відносини, країни-лідери, економічні інтереси, сталий розвиток, національна економіка, міжнародне співробітництво, економічний суверенітет, економічна стабільність.

Вступ. ***Постановка проблеми й актуальність обраної теми, аналіз останніх досліджень та публікацій.*** Система міжнародної економічної безпеки являє собою узгоджений учасниками та закріплений міжнародно-правовими інструментами порядок мирної взаємодії держав в процесі реалізації міжнародних економічних відносин і протидії спільним загрозам. Система забезпечення міжнародної економічної безпеки спрямована насамперед на підтримку міжнародної економічної стабільності як базової характеристики взаємовідносин країн світу на міжнародній арені. Враховуючи

реалії сьогодення, необхідно удосконалити міжнародні механізми координації міждержавних взаємовідносин, що сприятиме досягненню узгодженості спільних дій всіх країн світу у сфері забезпеченню міжнародної економічної безпеки.

Загострення глобальних проблем зумовлює зростання соціально-економічних та політичних протиріч, що збільшує загрозу виникнення регіональних конфліктів і криз, створює загрози міжнародній безпеці. Пом'якшення гостроти глобальних проблем, подолання їх найбільш небезпечних наслідків вимагає зусиль світового співтовариства, що дасть змогу забезпечити економічну безпеку в регіонах світу, а також сформувати систему глобальної економічної безпеки.

Економічна безпека стає одним з найважливіших компонентів міжнародної, регіональної та національної безпеки. Проблема дослідження глобальних трендів формування стратегій економічної безпеки країн-лідерів, використання світового досвіду для сталого розвитку економіки України є актуальною та потребує подальших досліджень.

Метою статті є дослідження глобальних трендів формування стратегій економічної безпеки країн-лідерів, вивчення світового досвіду для сталого розвитку економіки України.

Завданнями статті є: дослідження особливостей формування стратегій економічної безпеки країн-лідерів; аналіз декомпозиції поняття міжнародної та національної безпеки; виявлення базових тенденцій формування політики економічної безпеки в розвинених країнах; дослідження інструментів гарантування економічної безпеки країн-лідерів; удосконалення підходів щодо формування національної стратегії забезпечення економічної безпеки на основі захисту національних економічних інтересів.

Виклад основного матеріалу дослідження й отриманих результатів. Сучасні підходи до визначення поняття економічної безпеки ґрунтуються на ідентифікації зовнішніх та внутрішніх загроз, спрямованих на порушення економічної стабільності країни, здатності захиститися від навмисних зовнішніх спроб підірвати економіку країни. Ці зусилля можуть проявлятися у вигляді навмисних економічних потрясінь і збоїв або використання інших інструментів примусу, включаючи ембарго, бойкоти, тарифи, санкції, збої в ланцюгах постачання. Стійка економіка повинна мати здатність протистояти такому зовнішньому тиску. Політика економічної безпеки має бути спрямована на захист економічного суверенітету країни (рис. 1).

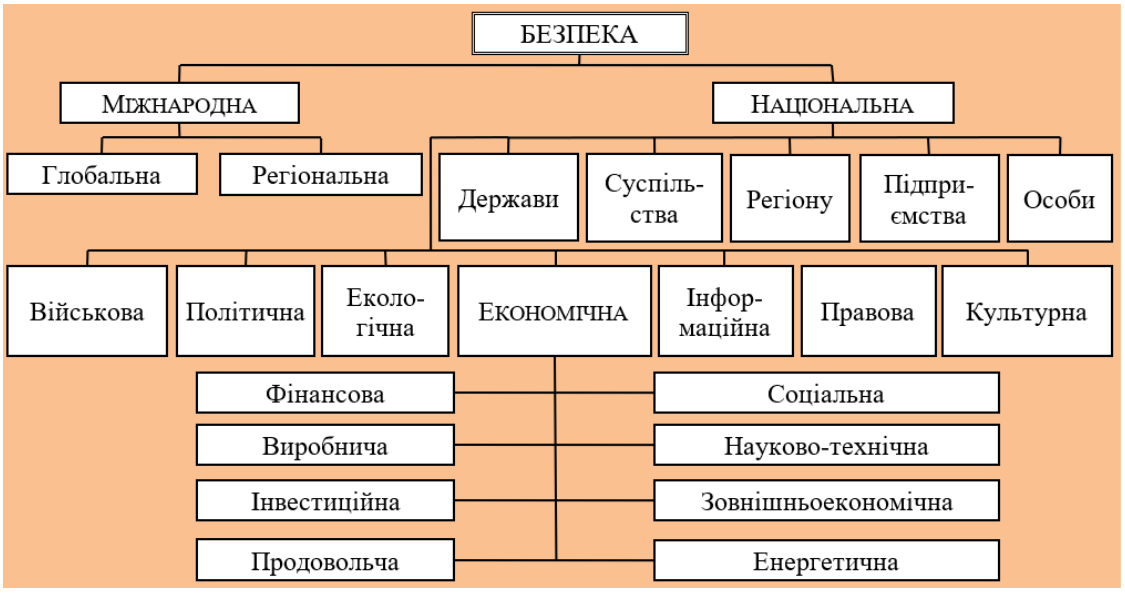


Рисунок 1 – Декомпозиція поняття міжнародної та національної безпеки
Figure 1 – Decomposition of the concept of international and national security

Важливим для розуміння сутності економічної безпеки є зменшення зовнішньої залежності, що перетворюється на обмежену економічну вразливість, пов'язану із зовнішніми шоками. Це передбачає досягнення економічної стійкості за допомогою ключових стратегій, включаючи вдосконалення системи раннього попередження збоїв в ланцюгах постачання, впровадження нових технологій, розвиток економічного потенціалу, а також безпечний доступ до критично важливих ресурсів. Зміцнюючи стійкість та стратегічні галузі економіки, країна може обмежити здатність іноземних гравців загрожувати її економічним інтересам. Таким чином, економічна безпека узгоджується із досягненням середньо- та довгострокової стійкості, віддаючи пріоритет тривалій збалансованості над короткостроковою перспективою максимізації прибутку.

В умовах сьогодення система міжнародних економічних відносин характеризується швидкими змінами. Країни з розвиненою економікою зосереджуються на розширенні міжнародних зв'язків для розвитку торгівлі та інвестицій. Проте, такі потрясіння, як пандемія Covid-19, геополітична напруженість та війни призвели до появи дисбалансів у глобальній системі, тому уряди країн-лідерів активно розробляють нові стратегії економічної безпеки [1].

Загалом, можна виділити такі тенденції формування політики економічної безпеки в розвинених економіках (рис. 2):

1. Тренд стійкості: у глобалізованому світі сегменти ланцюгів постачання можуть зосередитися в одній країні. Коли країни покладаються лише на одного чи двох виробників, ризики суттєво зростають. Уряд повинен визначитися з тим, як мінімізувати вплив цих збоїв на економіку.

2. Тренд захисту: деякі галузі вважаються визначальними для національної безпеки, зокрема такі сектори, як технології, інфраструктура та енергетика.

3. Тренд конкуренції: конкуренція є невід'ємною частиною глобальної економіки, яка забезпечує технологічний прогрес, якісні ресурси та ефективне виробництво. Країни з розвиненою економікою дедалі частіше інвестують у свою промисловість і технології, щоб конкурувати з іншими країнами [2].



Рисунок 2 – Базові тенденції формування політики економічної безпеки в розвинених країнах
Figure 2 – Basic trends in the formation of economic security policy in developed countries

Між країнами зростає узгодженість щодо характеру розв'язання проблем економічної безпеки, включаючи зменшення надмірної залежності від інших країн щодо найважливіших товарів і захист критичної інфраструктури. Незважаючи на наявність узгодженості, відмінності між політиками економічної безпеки залишаються. Політика економічної безпеки часто вимагає компромісів – захист технологій може завдати шкоди вітчизняній промисловості, диверсифікація торгівлі може вплинути на ціни.

Міжнародне співробітництво в сфері економічної безпеки є важливим для взаємних інвестицій з метою створення міцних ланцюгів постачання, щоб уникнути шкоди від промислової політики та субсидій, узгодити експортний контроль для максимальної ефективності та мінімізації збитків. Так, політика економічної безпеки США стосується стратегічної конкуренції з Китаєм – обмеження технологічного розвитку Китаю та домінування на ринку, вирішення проблеми крадіжки Китаєм інтелектуальної власності США, інвестування у власну конкурентоспроможність. Сполучені Штати

набагато менше залежать від торгівлі, ніж багато інших розвинених економік, оскільки їх диверсифікована економіка може забезпечити багато товарів всередині країни (табл. 1) [3].

Таблиця 1 – Інструменти гарантування економічної безпеки США
Table 1 – Tools to ensure the economic security of the United States

Державний орган	Інструменти економічної безпеки
Міністерство торгівлі	Контроль за експортом Антидемпінгові та компенсаційні мита Перевірка інвестицій Ініціативи з безпеки ланцюгів постачання
Міністерство фінансів	Санкції Скринінг вихідних інвестицій Список SDN (Specially Designated Nationals and Blocked Persons List) Список NS-CMIC (Non-SDN Chinese Military-Industrial Complex Companies List)
Державний департамент	Експортний контроль Санкції Іноземна допомога Правила міжнародної торгівлі зброєю (ITAR)
Офіс торгового представника США	Тарифи Повноваження з переговорів щодо торгових угод
Рада національної безпеки	Накази Координація політики Ідентифікація пріоритетів

Сучасні санкції можуть набувати різноманітних форм, включаючи ембарго на постачання, обмеження на в'їзд, заморожування активів, інші економічні заходи, такі як обмеження імпорту та експорту. Також функціонують міжнародні і регіональні організації, які відіграють значну роль в координації багатосторонніх економічних санкцій та ембарго, а саме: Організація Об'єднаних Націй, Європейський Союз, Організація з безпеки та співробітництва в Європі [4].

Низка потрясінь за останні роки, у тому числі перебої з постачанням через COVID-19, досвід економічного тиску з боку Китаю та енергетичний перехід, спонукали Австралію до формування нових напрямів політики економічної безпеки. Багата на ресурси Австралія, в якій домінують гірничодобувна, енергетична, сільськогосподарська галузі та сфери послуг, проводить відкриту економічну політику, орієнтовану на торгівлю. Особливої уваги заслуговують її торговельні відносини з Китаєм, на які припадало майже третина австралійського експорту та близько п'ятої частини імпорту. Хоча Австралія здебільшого самодостатня у виробництві енергії та продуктів харчування, вона покладається на імпорт багатьох промислових продуктів. Збої в ланцюгах постачання під час пандемії Covid-19 змінили державну політику від стратегії постачання «якраз вчасно» до стратегії постачання «про всяк випадок», що призвело до інвестування державних коштів у внутрішнє виробництво стратегічної продукції. Австралія також збільшила інвестиції у виробничі потужності, оголосивши про надання грантів та позик цільовим галузям економіки.

Австралія залишалася відкритою для політики вільної торгівлі – зниження тарифів, підписання нових торгових угод з Індонезією, Перу, Індією та Сполученим Королівством, участь в регіональних

нормотворчих угодах, таких як Індо-Тихоокеанська економічна рамкова угода для процвітання (Indo-Pacific Economic Framework for Prosperity – IPEF), Всеосяжна та прогресивна угода про транстихоокеанське партнерство (Comprehensive and Progressive Agreement for Trans-Pacific Partnership – CPTPP), Регіональне всеосяжне економічне партнерство (Regional Comprehensive Economic Partnership – RCEP).

Уряд Австралії також посилив контроль за іноземними інвестиціями в національну економіку. Так, у 2020 році країна запровадила реформи щодо іноземного інвестування, а подальші реформи у 2024 році спрямовані на іноземні інвестиції в критичну інфраструктуру та ланцюги постачання.

Економіка Японії відчуває дефіцит ресурсів, покладається на імпорт для забезпечення енергією та продовольством. Японія також є потужним виробничим центром і великим експортером транспортних засобів, машин і напівпровідникової продукції. Підхід Японії до економічної безпеки, як і багатьох її партнерів, зосереджується на розбудові економічної стійкості шляхом стабільних постачань сировини та інвестування у високотехнологічне виробництво [5].

У 2020 році в рамках стратегії диверсифікації Японія оголосила про надання японським компаніям субсидій у розмірі 1,5 млрд дол. США на перенесення виробництва з Китаю до Японії та країн Південно-Східної Азії. Хоча частка японського імпорту з Китаю залишалася відносно стабільною – з 23 % у 2019 році до 22 % у 2023 році, – імпорт Японії з країн Південно-Східної Азії та Індії зріс. У 2022 році Японія прийняла Закон про сприяння економічній безпеці із допоміжним бюджетом 7,8 млрд дол. США, цілями якого є:

1) стабільне постачання критично важливих ресурсів;
2) стабільна критична інфраструктура;
3) розвиток технологій;
4) реформування патентної системи.

Безпекова стратегія Японії базується на принципах вільної торгівлі, а також інтенсифікації інвестиційної діяльності. Японія є лідером у багатьох регіональних багатосторонніх торгових угодах, включаючи IPEF і CPTPP. Починаючи з 2017 року після прийняття Закону про іноземну валюту та зовнішню торгівлю, Японія посилила контроль за іноземними інвестиціями. У 2023 році Японія ініціювала перегляд іноземних інвестицій у стратегічних секторах для зміцнення національної економічної безпеки (табл. 2) [6].

Таблиця 2 – Англосаксонська та німецько-японська економічні моделі
Table 2 – Anglo-Saxon and German-Japanese economic models

ХАРАКТЕРИСТИКИ АНГЛОСАКСОНСЬКОЇ МОДЕЛІ	ХАРАКТЕРИСТИКИ НІМЕЦЬКО-ЯПОНСЬКОЇ МОДЕЛІ
➢ акціонерна економіка; ➢ досягнення короткострокових цілей; ➢ вільна конкуренція; ➢ схильність до ризиків; ➢ індивідуальна відповідальність за майбутнє	➢ економіка партнерства; ➢ досягнення довгострокового зростання; ➢ гармонізація інтересів; ➢ схильність до безпеки; ➢ солідарність при вирішенні проблем майбутнього

Враховуючи значні геополітичні наслідки, пов’язані з використанням економічної вразливості, економічна безпека тепер визнається невід’ємною частиною національної безпеки, ставши рушійною силою формування економічної політики. У червні 2023 року Європейський Союз опублікував Стратегію економічної безпеки, яку потім оновив у січні 2024 року, що передбачає реалізацію нових

ініціатив щодо посилення скринінг прямих іноземних інвестицій, покращення європейської координації експортного контролю, потенційних заходів скринінгу зовнішніх інвестицій та підтримки наукових досліджень [7].

Країни-лідери активно створюють та оновлюють стратегії економічної безпеки. Так, Велика Британія сформувала стратегічну безпекову структуру, зосереджену на таких чотирьох основних стовпах: формування міжнародного середовища; стримування, захист і конкуренція в усіх сферах; зменшення вразливості; культивування стратегічних переваг. Стратегія національної безпеки Південної Кореї визначила економічну безпеку як основний принцип забезпечення національної безпеки [8].

Велика Британія дотримується подібного підходу до забезпечення економічної безпеки, як Сполучені Штати та ЄС. Уряд зробив економічну безпеку центром своєї політичної платформи під назвою «securonomics». У 2023 році Велика Британія розпочала реалізацію розширеного плану виробництва, згідно з яким інвестує 5,7 млрд дол. США у чотири цільові сектори: автомобільний, аерокосмічний, біологічні науки та зелена промисловість. Цей план забезпечить Великій Британії лідерство в розробці та впровадженні чистих і цифрових виробничих технологій для нарощування міжнародної конкурентоспроможності на основі таких пріоритетів: інвестування в майбутнє виробництва шляхом розширення та розвитку успішних програм до 2030 року, налагодження партнерських відносин з підприємствами для підтримки ринкових інвестицій в інновації, дослідження та розробки; міжнародне співробітництво та підвищення спроможності Великої Британії створювати стійкі ланцюги постачання для зміцнення економічної безпеки; скорочення витрат, усунення бар'єрів для підвищення конкурентоспроможності та забезпечення збереження привабливості для міжнародних інвесторів у довгостроковій перспективі [9].

Підхід Південної Кореї до гарантування економічної безпеки полягає у забезпеченні інвестицій у стратегічні технології. Південна Корея є великим гравцем в автомобільній і напівпровідниковій промисловості та інших високотехнологічних секторах. Зараз Південна Корея відіграє важливу роль у ланцюгах постачання багатьох галузей промисловості, це другий у світі виробник напівпровідників і батарей після Тайваню та Китаю. У 2020 році впроваджено Корейський новий курс, державні інвестиції в розмірі 116 млрд дол. США спрямовані в сектори цифрових і чистих технологій, інфраструктуру, виробництво чистої енергії, дослідження та розробки. В останні роки Південна Корея розширила свою участь у міжнародній торгівлі, підписавши нові угоди про вільну торгівлю з країнами Латинської Америки, Близького Сходу та Південно-Східної Азії. Як і Японія, Південна Корея відчуває дефіцит ресурсів і покладається на імпорт енергії та корисних копалин, уряд безпосередньо інвестує в закордонні енергетичні проєкти. Пріоритетами економічної безпеки Південної Кореї є гарантування стабільного постачання критично важливих ресурсів.

Варто зауважити, що економічна безпека держави виступає ключовою умовою додержання та реалізації національних економічних інтересів, тому в її належному рівні зацікавлені бізнес, державні структури та суспільство. Захист національних економічних інтересів тісно пов'язаний із забезпеченням економічної безпеки держави – станом, за якого національні економічні інтереси захищені від внутрішніх і зовнішніх загроз. Захист національних економічних інтересів, зокрема в зовнішньоторговельній сфері, є найважливішою функцією системи забезпечення економічної безпеки (рис. 3) [10].

Національна стратегія забезпечення економічної безпеки має передбачати здійснення структурної перебудови національної економіки та підвищення її конкурентоспроможності, посилення антимонопольного регулювання; покращення інвестиційного клімату, удосконалення регуляторного і корпоративного законодавства; реформування податкової системи для створення стимулів до інновацій та зростання ефективності; стимулювання високотехнологічного експорту, підвищення ефективності експортної діяльності країни, удосконалення товарної структури експорту; стимулювання імпортозаміщення, зменшення залежності національної економіки від кон'юнктури світових ринків; удосконалення організаційно-економічних засад функціонування внутрішнього ринку; адаптація інноваційної системи України до умов глобалізації і конкуренції, підвищення її

стійкості до викликів; активізація інноваційних процесів в освітній, науково-технологічній та інформаційно-комунікаційній галузях; розширення участі України в міжнародних організаціях та просування на шляху євроінтеграції за умов забезпечення економічних інтересів України.



Рисунок 3 – Національні економічні інтереси в зовнішньоторговельній сфері
Figure 3 – National economic interests in foreign trade

Висновки. Таким чином, міжнародна економічна безпека в цілому та національна економічна безпека кожної країни зокрема в силу об'єктивних закономірностей розвитку світового господарства є нерозривно пов'язаними між собою. Погіршення стану економіки однієї або декількох країн неминуче через усю складну систему її взаємовідносин з іншими учасниками світового співтовариства відіб'ється і на стані міжнародної економічної безпеки в цілому. За цих умов стратегія національної економічної безпеки не може бути реалізована односторонніми діями, а міжнародна економічна безпека може ґрунтуватися тільки на повному врахуванні взаємних інтересів всіх країн світового співтовариства.

Створюючи систему національної економічної безпеки, адаптовану до міжнародних вимог, Україна бере активну участь в формуванні регіональної, європейської та глобальної систем економічної безпеки. Інтеграція України до загальноєвропейської спільноти сприятиме поглибленню інтеграційних процесів на континенті, формуванню системи європейської та глобальної економічної безпеки. Економічна безпека України має підтримуватися на належному рівні шляхом проведення цілеспрямованої політики забезпечення захисту національних інтересів в економічній сфері від внутрішніх і зовнішніх загроз з урахування тенденцій розвитку світової економіки.

Перелік посилань

1. European Commission proposes new initiatives to strengthen economic security. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip_24_363/IP_24_363_EN.pdf/.
2. The official website of the European Union. Retrieved from https://commission.europa.eu/index_en/.
3. Toward a U.S. Economic Security Strategy. Retrieved from https://www.csis.org/analysis/toward-us-economic-security-strategy.
4. National Security Strategy of the United States of America (The White House, 2022). Retrieved from https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2022/11/8-November-Combined-PDF-for-Upload.pdf.
5. Sustainable development in the European – Union Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context – 2023 edition. Retrieved from https://ec.europa.eu/eurostat/documents/15234730/16817772/KS-04-23-184-EN-N.pdf/845a1782-998d-a767-b097-f22ebe93d422?t=1688373085450&download=true/.
6. Ulrich Jochheim. Japan's Economic Security Legislation. European Parliamentary Research Service, July 2023. Retrieved from https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/751417/EPRS_ATA(2023)751417_EN.pdf.
7. Федорук О.В. Дослідження ключових індикаторів стану економічної безпеки країн Європейського Союзу в рамках реалізації концепції сталого розвитку. Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». 2024. Випуск 115. Частина 1. С. 183—197. URL: https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.1-183-197.
8. Economic security policies compared: The United States, its allies and partners. Retrieved from https://www.ussc.edu.au/economic-security-policies-compared-the-united-states-its-allies-and-partners.
9. Advanced manufacturing plan. Retrieved from https://assets.publishing.service.gov.uk/media/65788f51095987000d95df34/advanced-manufacturing-plan.pdf.
10. European Commission. An EU Approach to Enhance Economic Security, press release, June 20, 2023. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_3358.

GLOBAL TRENDS IN THE FORMATION OF ECONOMIC SECURITY STRATEGIES OF LEADING COUNTRIES: WORLD EXPERIENCE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF UKRAINE'S ECONOMY

Fedoruk Olesia V., PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: olesiavfedoruk@gmail.com, tel.: +380442803016, https://orcid.org/0000-0002-7402-4174.

Summary. The article examines global trends in the formation of economic security strategies of leading countries. The decomposition of the concept of international and national security is analyzed. The basic trends in the formation of economic security policy in developed countries are identified. The tools for ensuring the economic security of the leading countries are studied. Approaches to the formation of a national strategy for ensuring economic security based on the protection of national economic interests are proposed.

In today's dynamic conditions of development, the countries of the world are closely interconnected by a complex system of economic relations, and therefore cannot develop separately to avoid the impact on the economy, in particular, global crises, exchange rate instability, inflationary processes, interest rate fluctuations, changes in the terms of trade and world market conditions, intensification of competition, rising energy import costs, and falling prices for export goods.

Environmental and food problems, the fight against diseases, the transformation of international economic relations, and the growth of debt of countries that pose a global threat to the entire world community have a significant impact on the global economic development. Their unresolved nature negatively affects international economic relations, increases the instability of the world economy, and is a source of tension and conflict that unbalances the international economic security system.

Keywords: economic development strategies, economic security, international economic relations, leading countries, economic interests, sustainable development, national economy, international cooperation, economic sovereignty, economic stability.

References

1. European Commission proposes new initiatives to strengthen economic security. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip_24_363/IP_24_363_EN.pdf/.

2. The official website of the European Union. Retrieved from https://commission.europa.eu/index_en/.

3. Toward a U.S. Economic Security Strategy. Retrieved from https://www.csis.org/analysis/toward-us-economic-security-strategy.

4. National Security Strategy of the United States of America (The White House, 2022). Retrieved from https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2022/11/8-November-Combined-PDF-for-Upload.pdf.

5. Sustainable development in the European – Union Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context – 2023 edition. Retrieved from https://ec.europa.eu/eurostat/documents/15234730/16817772/KS-04-23-184-EN-N.pdf/845a1782-998d-a767-b097-f22ebe93d422?t=1688373085450&download=true/.

6. Ulrich Jochheim. Japan's Economic Security Legislation. European Parliamentary Research Service, July 2023. Retrieved from https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/751417/EPRS_ATA(2023)751417_EN.pdf.

7. Fedoruk O.V. Doslidzhennia kliuchovykh indykatoriv stanu ekonomichnoi bezpeky krain Yevropeiskoho Soiuzu v ramkakh realizatsii kontseptsii staloho rozvytku [Research of key indicators of the state of economic security of the European Union countries in the framework of the concept of sustainable development]. Naukovyi zhurnal «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo» [Scientific and Technical Journal «Automobile Roads and Road Construction»], 2024, issue 115, part 1, pp. 183—197. Access mode: https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.1-183-197.

8. Economic security policies compared: The United States, its allies and partners. Retrieved from https://www.ussc.edu.au/economic-security-policies-compared-the-united-states-its-allies-and-partners.

9. Advanced manufacturing plan. Retrieved from https://assets.publishing.service.gov.uk/media/65788f51095987000d95df34/advanced-manufacturing-plan.pdf.

10. European Commission. An EU Approach to Enhance Economic Security, press release, June 20, 2023. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_3358.

УДК 351.811:711.73
UDC 351.811:711.73

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-276-292

УПРАВЛІННЯ МІСЬКОЮ МОБІЛЬНІСТЮ: КРАЩІ ПРАКТИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЄКТІВ РОЗВИТКУ СИСТЕМ СТАЛОЇ МОБІЛЬНОСТІ В МІСТАХ УКРАЇНИ

URBAN MOBILITY MANAGEMENT:BEST PRACTICES IN IMPLEMENTING PROJECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE MOBILITY SYSTEMS IN CITIES OF UKRAINE



Білоног Оксана Євгенівна, *кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, Київ, Україна, e-mail: bilonog.oksana@gmail.com, тел. +380679599997,*

https://orcid.org/0000-0003-2471-5388



Янішевський Сергій Володимирович, *кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, Київ, Україна, e–mail: s.yanishevskyi@gmail.com, тел. +380679462842,*

https://orcid.org/0000–0002–0113–5463



Галак Ірина Іванівна, *кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, Київ, Україна, e-mail: i.halak@ntu.edu.ua, тел. +380978459880,*

https://orcid.org/ 0000-0002-5038-7771



Климчук Юрій Олександрович, *Національний транспортний університет, аспірант кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, Київ, Україна, e–mail: yur.klymchuk@gmail.com, тел. +380979548062,*

https://orcid.org/0009- 0006-7104-5275

Анотація. В умовах суттєвого погіршення екології в містах, що обумовлюється роботою транспорту, та проблем енерго- і ресурсозбереження, які є актуальними для України в умовах її соціально-політичної, економічної та безпекової ситуації, забезпечення мобільності міського середовища на сучасному етапі вимагає впровадження підходів сталого розвитку. Мешканці та влада

багатьох українських міст все більше усвідомлюють негативний вплив особистого автомобільного транспорту на рівень комфортності проживання в місті, тому фокус при управління містом поступово зміщується від автомобілів до більш екологічних режимів мобільності, таких як: пішохідні переміщення, велосипедний рух та громадський транспорт.

Мета даної роботи полягає в дослідженні кращих практик реалізації проєктів розвитку міської мобільності в Україні в контексті впровадження підходів сталого розвитку та в розробленні рекомендацій щодо розвитку систем сталої мобільності через відповідні інвестиційні проєкти.

В роботі досліджено досить вдалі приклади проєктів розвитку систем сталої міської мобільності в багатьох українських містах, які реалізовані на перетині інтересів забезпечення мобільності, протидії кліматичним змінам та досягненні доступності й рівності для їх мешканців. Основними напрямками розвитку сталої мобільності є – пріоритетність пішохідного та велосипедного руху, розвиток громадського транспорту та реорганізація міських вуличних просторів.

Грунтовний аналіз прикладів практичної реалізації в містах України проєктів, спрямованих на розвиток сталої мобільності, дав можливість виявити основні проблеми та перешкоди, які мали місце під час їх впровадження, та оцінити ефективність запропонованих рішень з усунення таких перешкод. Приймаючи до уваги сучасний український досвід, в роботі розроблено рекомендації щодо розвитку систем сталої мобільності через відповідні інвестиційні проєкти, які стосуються наступних аспектів: залучення зовнішнього фінансування; раціональне використання ресурсів; партисипація (співпраця місцевої влади із громадськістю); тестування проєктних рішень; контроль за виконанням впроваджених заходів; планування та обгрунтування термінів реалізації; обмін досвідом; дизайн середовища.

Доведено, що проблеми мобільності міського середовища можуть бути досить специфічними у різних містах, проте переважна більшість з них викликана неконтрольованим зростанням кількості автомобільного транспорту, обмеженими ресурсами, невдалим транспортним плануванням, недостатньо розвиненою інфраструктурою, недосконалою транспортною мережею та неефективним муніципальним управлінням. Отже, враховуючи соціально-політичну, економічну і безпекову ситуацію в Україні, основною рекомендацією для забезпечення розвитку сталих систем мобільності в українських містах за даних обставин є фокусування на створенні раціональної політики щодо тих видів мобільності, які є екологічними, а також соціально та економічно стійкими.

Ключові слова: сітілогістика, системи мобільності, управління мобільністю, сталий розвиток, стала мобільність, проєкти розвитку.

Постановка проблеми. Впровадження, актуальної на сьогоднішній день, стратегії сталого розвитку, яка спрямована на забезпечення справедливого та рівного доступу до всіх природніх та соціальних благ як для існуючого, так і для прийдешніх поколінь, передбачає фокусування усіх зусиль в економічній, екологічній та соціальній сфері в таких напрямках як енерго- та ресурсозбереження, а також мінімізація негативного впливу на довкілля. В умовах реалізації даної стратегії, за якою світова спільнота домовилася розвиватися до 2030 року, відбулося формування сучасних логістичних концепцій, однією з яких є сітілогістика. Відповідно, основою концепції сітілогістики, на відміну від класичної логістичної концепції, де головною метою є підвищення ефективності роботи суб'єктів господарювання, є соціальна складова. Як відомо, концепція сітілогістики, яка являє собою науково-практичний напрямок, предметом якого є удосконалення транспортно-логістичних схем та маршрутів перевезень вантажів і пасажирів в умовах великих міст, полягає в підвищенні якості життя населення міста та обумовлюється певним (необхідним) рівнем комфортності міського середовища для проживання в ньому. В свою чергу комфортність (зручність) життя соціуму в міському середовищі залежить від рівня трьох основних чинників: безпечності, екологічності, а також мобільності даного середовища [1]. При цьому, при прийнятті рішень у сфері мобільності основним пріоритетом є людина, а не автомобіль.

Отже, мобільність, як найважливіша складова ефективності сітілогістичної системи, обумовлюється можливістю забезпечення рухомості населення міста з різною метою пересування з

урахуванням варіації логістичних ланцюгів за витратами часу на пересування та полягає в наступному [1]:

- можливість використання особистого транспорту для швидкого та комфортного пересування до місця тяжіння;
- конкуренція в організації мобільних поїздок особистим автомобілем або громадським транспортом (автобусами, тролейбусами, трамваями, метро, електрифікованою залізницею тощо);
- мобільність пересування через муніципальні логістичні ланцюги (торговельні, будівельні, комунальні, адміністративні об'єкти тощо);
- мобільність доставки-відправлення ресурсів, напівфабрикатів, готової продукції промисловим та торговельним підприємствам, які розташовані в географічних межах міста та залежать від графіків постачань;
- можливість доставки замовлень кінцевим споживачам;
- мобільність транзиту матеріальних потоків, які проходять через міські транспортні комунікації;
- транспортна мобільність у непередбачуваних природних умовах.

К контексті провадження вищезгаданої стратегії сталого розвитку особливої актуальності набули питання щодо адаптації до її цілей і систем міської мобільності. Це зумовило необхідність вивчення міжнародного досвіду та проведення досліджень щодо розвитку систем сталої мобільності в Україні. При цьому відмінність поняття мобільності від поняття сталої мобільності полягає в тому, що під останньою розуміють будь-який спосіб або організаційну форму пересування, що є більш економічними та дозволяють знизити рівень впливу (навантаження) на довкілля. До такого роду видів сталих мобільностей можна зарахувати пішохідний і велосипедний рух, пересування на екологічних автомобілях, транзитно-орієнтоване проєктування, оренду транспортних засобів, а також системи міського транспорту, які є економічними, сприяють збереженню простору та пропаганді здорового способу життя [2].

Цілком очевидно, що екологічний аспект є домінуючим чинником при визначенні пріоритетів сталої мобільності, однак ця концепція – це передусім система інтегрованого довгострокового планування, що робить особливий акцент на залученні до його розроблення усіх стейкхолдерів, координації між різними сферами (транспорт, землекористування, екологія, економічний розвиток, соціальна політика, охорона здоров'я тощо), між органами влади різного рівня, дає змогу ефективно управляти транспортною системою міста, зменшуючи її негативний вплив на довкілля, моніторити заходи щодо покращення системи міської мобільності та створювати комфортні умови для життя та відпочинку мешканців міських агломерацій.

Огляд робіт. Питанням планування та забезпечення міської мобільності були присвячені роботи закордонних та українських як науковців, так і практиків. Серед останніх ініціаторами досліджень виступали представники державних та міжнародних інституцій, а також громадських організацій.

Залежність між розвитком систем міської мобільності та ефективністю сітілогістичної діяльності знайшла висвітлення в роботі [1], автори якої розглядають мобільність в якості індикатора комфортності проживання в місті.

Питання адаптації мобільності до підходів сталого розвитку розглядаються в дослідженнях вітчизняних науковців, серед яких варто виділити наступні [2, 3, 4]. Аналіз зарубіжних робіт показав, що в якості практичного посібника, в якому пропонуються і пояснюються кроки та заходи, що є важливими для розроблення, та виконання плану сталої міської мобільності, можуть розглядатися настанови [5], розроблені Генеральним директоратом з мобільності та транспорту Європейської комісії. Дані настанови доповнюються планом дій [6, 7], де пропонуються конкретні заходи як на короткострокову, так і на середньострокову перспективу щодо питань міської мобільності на основі комплексного підходу. Також вони доповнюються оглядами різноманітних аспектів планування міської мобільності [8] та показниками щодо моніторингу стану виконання плану сталої мобільності [9].

В контексті підвищення безпеки сталої міської мобільності, зокрема і щодо вразливих учасників дорожнього руху, заслуговують на увагу роботи [10, 11]. Зокрема, в роботі [12] проведено експертне

оцінювання інженерних та планувальних рішень щодо підвищення безпеки вищезазначеної категорії учасників дорожнього руху та забезпечення інклюзії в системах мобільності міст України.

Аналіз впливу безпрецедентних викликів останніх років таких, як криза зумовлена пандемією COVID-19 та активні воєнні дії на території України внаслідок повномасштабного вторгнення росії на забезпечення мобільності міського середовища в Україні проведено в роботі [13].

Враховуючи загострення екологічної ситуації в містах та проблеми енерго- і ресурсозбереження, які є актуальними для України в умовах її соціально-політичної, економічної та безпекової ситуації, забезпечення мобільності міського середовища на сучасному етапі вимагає впровадження підходів сталого розвитку.

Мета даної роботи полягає в дослідженні кращих практик реалізації проєктів розвитку міської мобільності в Україні в контексті впровадження підходів сталого розвитку та в розробленні рекомендацій щодо розвитку систем сталої мобільності через відповідні інвестиційні проєкти.

Виклад основного матеріалу дослідження. Загалом систему міської мобільності формують такі складові як транспорт особистого використання, громадський транспорт, а також велосипедні та пішохідні переміщення. Очевидно, що в контексті системи сталої міської мобільності ієрархія складових, які її формують, повинна мати наступний вигляд, рис. 1. Концепція сталої мобільності передбачає, що на першому місці серед пріоритетів має бути пішохід, потім – велосипедист, на третьому місці – громадський транспорт, а лише потім – особисті автомобілі [14].

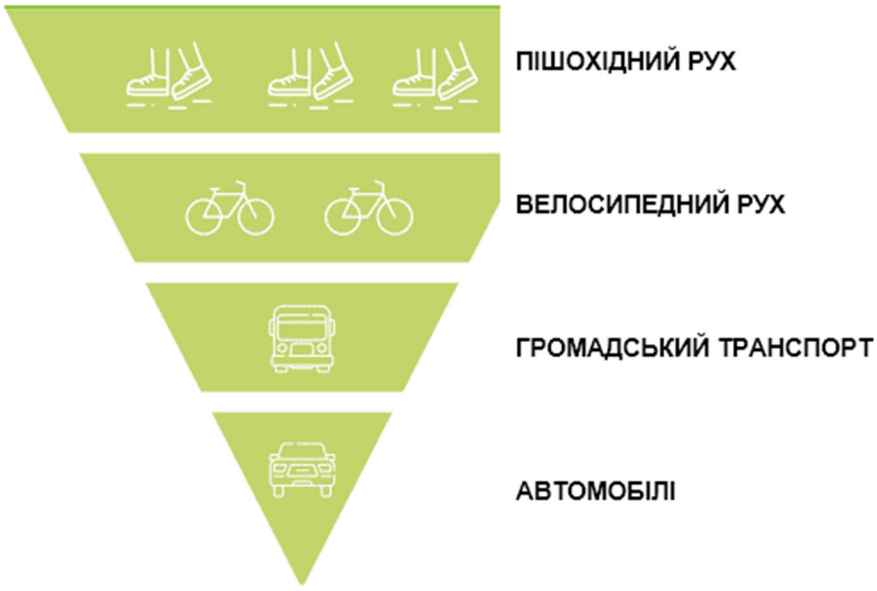


Рисунок 1 – Ієрархія складових системи сталої міської мобільності
Figure 1 – Hierarchy of components of a sustainable urban mobility system

Останнім часом особливої актуальності питанню розвитку сталої мобільності додає проблема забруднення повітря. За даними Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського у м. Києві у літні місяці року показники забруднюючих речовин у повітрі перевищують встановлені норми у декілька разів. Найбільші концентрації шкідливих речовин у повітрі спостерігалися поблизу автомагістралей з інтенсивним рухом транспорту. Отже, основною причиною погіршення якості повітря у столиці є викиди від автомобільного транспорту, частка яких від загальної кількості складає 87 % [15].

Найбільше викидів шкідливих речовин зумовлюється автомобілями особистого використання, кількість яких у містах зростає надзвичайно швидко. В Україні викиди від приватних автомобілів складають 92% всього транспорту [16].

Окрім проблем, пов'язаних із забрудненням повітря, надмірна кількість особистого транспорту у містах призводить до ускладнення пересування містом та виникнення заторових явищ, що негативно позначається на комфортності проживання для мешканців міста. Так, нідерландська аналітична компанія ТомТом, яка є відомим у світі розробником технологій локації та відповідного програмного забезпечення, складає рейтинг міст світу за найбільшими заторами. Даний рейтинг будується на основі значення показника рівня завантаженості вулично-дорожньої мережі міста, який, в свою чергу, визначається з залежності від того, наскільки більше часу у відсотковому вираженні витрачають водії на поїздку в реальних умовах у порівнянні з витратами часу за звичайних (неускладнених) умов руху. Тобто, відсотковий показник усереднено показує кількість додаткового часу подорожі, який водії витрачають протягом певного проміжку часу. Обчислення проводилися за даними GPS-сервісів, які накопичувалися анонімно. Отже, за оприлюдненими результатами, можна простежити стійку негативну динаміку щодо зростання показника рівня завантаженості доріг м. Києва у періоді з 2017 по 2021 рр., рис. 2, [17]. Саме 2021 р. такі дослідження обмежуються, оскільки, починаючи з 2022 р. у зв'язку з активними воєнними діями в Україні, її вкрай складною безпековою ситуацією та, зважаючи на зміну характеру та показників дорожнього руху в українських містах, подальші дослідження компанії ТомТом щодо визначення показника рівня завантаженості вулично-дорожньої мережі міст на території нашої держави не проводилися.

Дані досліджень компанії TomTom показують, що в 2017 р. українська столиця посіла 14 місце в рейтингу міст світу за найбільшими заторами. Протягом кожного з двох наступних років місто піднімалося в даному рейтингу на один щабель. В 2020 р., незважаючи на діючі карантинні обмеження, воно вже було на 7 місці, а в 2021 р. піднялося до 3 місця. Сам показник рівня завантаженості доріг також демонструє щорічну динаміку до зростання. Винятком є лише 2020 р., коли на тлі карантинних обмежень, кількість додаткового часу подорожі, який водії витратили протягом усього року, знизився на 2%.

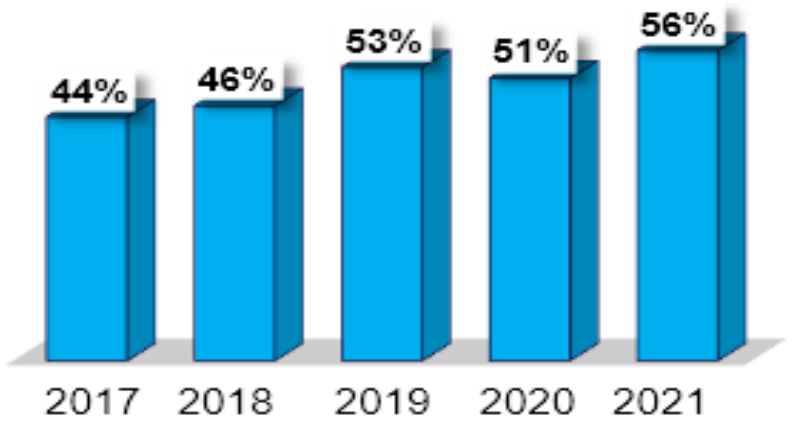


Рисунок 2 – Динаміка показника рівня завантаженості доріг в м. Києві за 2017 – 2021 рр [17]
Figure 2 – Dynamics of the road congestion level indicator in Kyiv for 2017 – 2021 [17]

Загалом в дослідженні зазначається, що в 2021 р. кияни витратили на перебування в дорожніх заторах близько 229 годин. Це складає приблизно 9,5 днів на рік. Найбільш завантаженою вулично-дорожня мережа м. Києва в 2021 році була 8 лютого, коли середня затримка сягнула 139 %. Причиною тодішніх заторів став снігопад. Слід відмітити, що в 2021 р. до рейтингу, крім столиці, також ввійшли

й інші міста України. Так, 6 місце посіла Одеса, на 12 місці опинився Харків, а на 25 місці – Дніпро [17].

Надмірна кількість транспорту потребує відведення все більше міського простору для облаштування парковок та розширення проїзної частини вулично-дорожньої мережі. На жаль, для пішоходів залишаються лише підземні переходи, а розвитку велосипедного та громадського транспорту приділяється недостатньо уваги. Це призводить до того, що місто стає менш комфортним для життя та вимушує його мешканців переїжджати у передмістя. В свою чергу, це породжує інші транспортні проблеми, до прикладу, виникнення заторів на під'їздах до міста.

За даними [14], станом на 2021 р. рівень автомобілізації в м. Києві складав 407 автомобілів на 1000 мешканців. Це вище на 66%, ніж середньоукраїнський показник, який оцінювався на рівні 245 автомобілів на 1000 мешканців Найцікавіше, що в інших розвинених країнах рівень автомобілізації мегаполісів значно нижчий від середнього рівня автомобілізації по країні. До прикладу, станом на 2019 рік в США рівень автомобілізації складав 797 автомобілів на 1000 мешканців, а в Нью-Йорку лише 209 авто/1000 мешканців; в Німеччині – 572 авто/1000 мешканців, а в Берліні – 317 авто/1000 мешканців; в Великій Британії – 519 авто/1000 мешканців, а в Лондоні – 345 авто/1000 мешканців. Варто звернути увагу, що в 2015 році компанія A+S, розробляючи транспорту модель м. Києва, визначала автомобілізацію на рівні 213 автомобілів на 1000 мешканців. Тобто за п'ять років цей показник подвоївся.

За даними [18], коефіцієнт користування автомобілем у м. Києві складає 0,88. Це означає, що кожен власник легкового автомобіля, який має до нього вільний доступ, з імовірністю 88 % вибере його як засіб пересування. З іншого боку, та частка киян, які не мають особистого автомобіля, все ж розглядають його як більш комфортний та надійний засіб пересування у порівнянні з громадським транспортом.

Важливим з точки зору раціонального використання міського простору є коефіцієнт заповнення автомобіля, який в Києві складає 1,5. Це свідчить про неефективне використання автомобіля. І цей показник визнається як найнижчий серед країн Європи [18].

Свого часу великі європейські та американські міста вже зіштовхувалися з подібними проблемами. Зокрема, у 80-90-і роки автомобілізація американських міст зростала шаленими темпами: за 16 років кількість автомобілів, які проводили значну кількість часу у заторах, збільшилась у 3 – 5 разів [19]. Тому перед політиками постало завдання, на фоні негативних аспектів, пов'язаних з використанням індивідуального транспорту (фізичний, фінансовий, соціальний та екологічний) пріоритезувати громадський транспорт за рахунок забезпечення комфортності, швидкості та безпечності таких переміщень. До прикладу, в містах США розвиток інфраструктури громадського транспорту заохочувався державними цільовими програмами з боротьби з заторами та покращенням атмосферного повітря; у Лондоні (Великобританія), Готеборзі та Стокгольмі (Швеція) була встановлена плата за в'їзд приватних авто до центру міста, а деякі з вулиць були виділені виключно для громадського транспорту тощо. Це лише деякі заходи, які довели свою ефективність в організації міського простору. Як ефективні та сталі складові систем мобільності також популяризуватися пішохідні та велосипедні переміщення за рахунок розвитку відповідної інфраструктури.

Слід зазначити, що міська влада багатьох українських міст та їх мешканці все більше усвідомлюють негативний вплив особистого автомобільного транспорту, тому фокус при управлінні містом поступово зміщується від автомобілів до більш екологічних режимів мобільності, таких як: пішохідні переміщення, велосипедний рух та громадський транспорт.

На сьогоднішній день можна відстежити досить вдалі приклади розвитку систем сталої міської мобільності в багатьох українських містах, які реалізовані на перетині інтересів забезпечення мобільності, протидії кліматичним змінам та досягненні доступності й рівності для їх мешканців. В таблицях 1 та 2 представлено загальну характеристику найбільш вдалих проєктних рішень щодо розвитку сталої міської мобільності в містах України за такими показниками, як термін реалізації, масштаб, замовник / виконавець, а також сприйняття громадськістю та труднощі і перешкоди в реалізації.

Таблиця1 – Загальна характеристика проєктів розвитку міської мобільності в Україні [22]
Table 1 – General characteristics of urban mobility development projects in Ukraine [22]

Назва проєкту	Вартість	Джерело фінансування	Термін реалізації
1	2	3	4
Проєкти пріоритезації пішохідного руху			
Капітальний ремонт вулиці Руданської в м. Львові	Близько 3 млн. грн, (довжина вулиці – 70 м)	Міський бюджет	2019 рік
Реконструкція вулиці Яворницького в м. Дніпрі	Більше 120 млн. грн, (довжина вулиці близько 200 м)	Міський бюджет	2020 рік
Реконструкція вулиці Короленка в м. Дніпрі	Більше 100 млн. грн, (довжина вулиці близько 160 м)	Міський бюджет	2019 – 2020 роки
Безпечні шкільні маршрути на Житомирщині	165 тис. євро	Грант Transformative Urban Mobility Initiative (90%) та міський бюджет (10%)	2019 – 2021 роки
Реконструкція парку «Саржин яр» у м. Харкові	Більше 200 млн. грн	Міський бюджет	2018 – 2020 роки
Проєкти розвитку велосипедного руху			
Будівництво велоінфра-структури у м. Миргороді	7,4 млн. грн	Державний фонд регіонального розвитку (5 млн) та місцевий бюджет (2,4 млн)	2020 рік
Проєкти реорганізації міських вуличних просторів			
Реконструкція площі Двірцевої у м. Львові	Більше 165 млн. грн	Міський бюджет	1019 – 2020 роки
Реконструкція вулиці Замостянської у м. Вінниці	Близько 164 млн. грн	Бюджет громади (105,65 млн грн) та Державний фонд регіонального розвитку (50,65 млн грн)	1018 – 2019 роки
Проєкти розвитку громадського транспорту			
Автоматизована система оплати проїзду в громадському транспорті м. Вінниці	5,532 млн. євро	Європейський банк реконструкції та розвитку та гранти Європейських фондів	16 місяців – поставка та інсталяція обладнання, 44 місяці – технічне та гарантійне обслуговування

Таблиця2 – Характеристика проєктів розвитку міської мобільності в Україні щодо особливостей реалізації [22]

Table 2 – Characteristics of urban mobility development projects in Ukraine regarding implementation features [22]

Назва проєкту	Замовник / виконавець	Ставлення громадськості	Труднощі реалізації
1	2	3	4
Проєкти пріоритезації пішохідного руху			
Капітальний ремонт вулиці Руданської в м. Львові	Галицька районна адміністрація / ЛКП «Інститут просторового розвитку»	Містяни загалом дуже задоволені, проте наголошували на відсутності велостійок.	Складність планувального рішення полягала в тому, щоб забезпечити доступ до вулиці спецтранспорту й унеможливити стихійне паркування автомобілів
Реконструкція вулиці Яворницького в м. Дніпрі	Департамент благоустрою та інфраструктури Дніпровської міської ради / Vk architects	Схвальне	Вулиця розташована під ухилом, що ускладнювало технічні роботи
Реконструкція вулиці Короленка в м. Дніпрі	Департамент благоустрою та інфраструктури Дніпровської міської ради / ГоловАПУ Дніпровської міської ради, ТДВ «Дніпродіпротранс»	Реакція громадськості розділилися. Негатив був пов’язаний зі спилюванням дерев у зв’язку із заміною інженерних комунікацій	Проблеми були пов’язані переважно з підготовкою території під благоустрій: інженерні комунікації були застарілі та прокладені з порушенням норм
Безпечні шкільні маршрути на Житомирщині	Комунальна установа «Агенція розвитку міста» Житомирської міської ради	Схвальне	Через карантинні обмеження не вдалося обговорити з громадою інфраструктурні рішення. Через це було часткове нерозуміння водіями вжитих безпекових рішень на проїзній частині, що стимулювали зниження швидкості
Реконструкція парку «Саржин яр» у м. Харкові	СКП «Харківзеленбуд» Харківської міської ради / SBMstudio	Вцілому відгуки громади позитивні. Проєкт отримав гран-прі «Першої українсь-кої національної премії в області ландшафтної архітектури та садово-паркового мистецтва 2020»	Технічні проблеми при втіленні інженерних рішень
Проєкти розвитку велосипедного руху			
Будівництво велоінфра-структури у м. Миргороді	Миргородська міська рада	Загалом громада позитивно відгукується як про будівництво велоінфраструктури,	Брак коштів у міському бюджеті та нерозуміння важливості розвитку сталої мобільності й безпечного

		так і про промоційно-інформаційні заходи	велосипедного руху частиною представників громади, що приймають рішення
Проєкти реорганізації міських вуличних просторів			
Реконструкція площі Двірцевої у м. Львові	Львівавтодор / Інститут просторового розвитку	Схвальне	Заміна інженерних мереж ускладнила організацію руху під час будівництва
Реконструкція вулиці Замостянської у м. Вінниці	Вінницька міська рада / КП «Агенція просторового розвитку»	За результатами соцопитування, більше 50% мешканців задоволені результатами, менше ніж 4% не подобається. 62% респондентів вважають, що вулиця стала безпечнішою, 21% важко відповісти. Проте 44% не почуваються в безпеці поряд із трамвайною колією	Однією з перепон під час проєктування було визначення висоти підвищеної проїзної частини в зоні трамвайних зупинок: через те, що трамваї мають різну висоту, не вдалося досягти повної безбар'єрності.
Проєкти розвитку громадського транспорту			
Автоматизована система оплати проїзду в громадському транспорті м. Вінниці	КП «Вінницякартсервіс» / «Mikroelektronika» (Чеська Республіка)	Негативно до проєкту поставилися пільгові категорії населення, що звикли користуватися посвідченнями для безкоштовного проїзду. Водночас проєкт отримав відзнаки в конкурсах на загальнодержавному рівні: перемогу в номінації «Інновації у сфері транспорту» конкурсу «Дієва Громада» та в номінації «Найкраще Smart безпечне місто» міжнародного форуму «Smart City Awards 2020»	1. Оскільки юридичного підґрунтя для впровадження автоматизованої системи в Україні не було, знадобився ряд змін у законодавстві. 2. Технічні проблеми виникали як під час налаштування системи (необхідність додаткового ізолювання транспортних засобів), так і під час користування (списання коштів із банківських карт відбувається протягом декількох днів, через що повідомлення про оплату приходять у будь-який час). 3. Важким був період початку прийому заявок на пільгові картки – доводилося обробляти близько 700 заявок щодня. 4. Ще однією проблемою було забезпечення безоплатного проїзду пільговим пасажирам із населених пунктів Вінницької ОТГ

Виходячи з піраміди ієрархії складових сталої мобільності (див. рис. 1), пріоритетність пішохідного руху є одним із ключових напрямків розвитку систем сталої мобільності. Зміщення фокусу з автомобілів на людей та створення пішохідних вулиць дозволяє не лише підвищити

доступність міських територій, а й збільшити їхню естетичну привабливість, пожвавити місцеву економіку, зменшити рівень забруднення повітря, шумового навантаження та заторів, а також кількість та наслідки дорожньо-транспортних пригод за участі пішоходів [20]. Останніми роками в українських містах збільшується число проєктів, покликаних перетворити вулиці на комфортні пішохідні простори. Проте досі існують упередження щодо впливу таких проєктів на транспортну ситуацію, а також сумніви щодо доцільності та необхідності подібних перетворень. Характеристика таких проєктів, а саме – капітальний ремонт вулиці Руданської в м. Львові, реконструкція вулиці Яворницького та вулиці Короленка в м. Дніпрі наведена в таблицях 1 та 2.

Іншим цікавим прикладом проєкту, який направлений на сумісний розвиток пішохідного та велосипедного руху став проєкт розроблення безпечних шкільних маршрутів на Житомирщині. Одним із пріоритетів «Плану сталої міської мобільності» м. Житомира, затвердженого в рамках «Концепції інтегрованого розвитку міста», є безпека дорожнього руху (включаючи шкільну мобільність та безпеку). Як відомо, діти розглядаються, як найбільш вразливі учасники дорожнього руху. По-перше, вони найчастіше пересуваються до школи пішки, по-друге, вони є менш помітними для водіїв, а їхня поведінка є менш передбачуваною. При цьому процес формування культури безпеки руху у дітей є простішим, ніж у дорослих [3].

У травні 2019 року Житомир став одним із десяти переможців конкурсу Transformative Urban Mobility Initiative (TUMI) Global Mobility Challenge 2019 (Лейпциг, Німеччина) та отримав грант на покращення мобільності школярів [21]. Згідно з умовами співфінансування проєкту розробка проєктно-кошторисної документації мала відбуватися коштом міського бюджету. Метою проєкту було покращення сталої мобільності школярів та діалог школярів, учителів, батьків, адміністрації шкіл та міської влади на принципах партисипації. Проєкт передбачав розробку планів мобільності шкіл, заходи з промоції та будівництво пішохідної та велосипедної інфраструктури. Характеристика проєкту наведена в таблицях 1 та 2.

Міське життя сприяє обмеженню доступу до природи, що, в свою чергу, збільшує вплив негативних факторів поганої якості повітря та малорухливого способу життя на здоров'я мешканців.

Розвиток зелених просторів дозволяє знизити вплив забруднення повітря і шумового забруднення, пом'якшити наслідки зміни клімату (таких як понаднормові опади та аномальна спека), зменшити ефект «міського теплового острова», покращити стан здоров'я та емоційний стан мешканців, а отже і якість міського життя. Міста мають прагнути забезпечити усім групам населення доступ до якісних зелених просторів, зв'язуючи їх зеленими коридорами і формуючи зелений каркас міста. Серед прикладів таких рішень варто вказати на проєкт реконструкції парку «Саржин яр» у м. Харкові, таблиці 1та 2.

В умовах сталого розвитку, другим за ієрархією складових сталої мобільності (див. рис. 1) є велосипедний транспорт, який відноситься до сталих видів транспорту, що не забруднює довкілля, сприяє підвищенню фізичної активності та здоров'я користувачів, покращує безпеку руху шляхом зменшення інтенсивності та швидкості автомобільного руху, за умови створення зв'язної та безпечної мережі велосипедних шляхів та іншої велосипедної інфраструктури. Серед головних причини, чому велосипедний рух в Україні не набуває належної популярності є те, що існує велика небезпека таких переміщень та відсутність велосипедної інфраструктури [23]. В таблицях 1 та 2 наведено приклад реалізації проєкту розвитку велосипедного руху в м. Миргороді.

Як показав нещодавній досвід, в умовах паливної кризи навесні 2022 року, коли в деяких українських містах спостерігався колапс системи мобільності, єдиним ефективним способом пересування в містах та інших населених пунктах нашої країни виявився велосипед. Ті населені пункти, які розвивали велосипедну інфраструктуру й промотували використання велосипедів, виявились більш підготовленими до цього виклику, ніж ті, хто покладався лише на автомобільний транспорт. Тому, можна стверджувати, що розвиток способів пересування, які приводяться в рух мускульною силою та електричними двигунами створює більшу стійкість системи мобільності до паливної нестабільності [24].

Серед проєктів, які розвивають сталу міську мобільність, сумісно охоплюючи при цьому сфери пішохідного та велосипедного руху, а також громадський транспорт є реорганізація міського простору. Одним із основних завдань для українських міст має бути пошук способів трансформації вуличного простору задля ефективнішого, безпечнішого та соціально справедливішого використання вулиць та їхньої пропускної (провізної) здатності, що має вимірюватися не в кількості транспортних засобів, а й у загальній кількості людей (пішоходів, велосипедистів, пасажирів громадського транспорту і в тому числі автомобілів). Перерозподіл вуличного простору полягає не в тому, щоб ускладнити пересування водіям автомобілів, а в покращенні можливостей мобільності пішоходів, велосипедистів та громадського транспорту. Таким чином підвищується загальний рівень мобільності в місті. Зміни відбуваються за рахунок покращення інфраструктури громадського транспорту, створення велосмуг та велодоріжок, розширення тротуарів. Характеристика проєктів реконструкції площі Двірцевої у м. Львові та реконструкції вулиці Замостянської у м. Вінниці наведена в таблицях 1 та 2.

До критеріїв якості системи громадського транспорту, крім ефективності, безпеки, економічної та фізичної доступності, також відноситься комфорт та зручність, що включає наявність електронної карти, можливості оплати проїзду мобільними засобами та банківськими картами, різноманітність проїзних квитків та наявність офіційного додатку з усією актуальною інформацією. Автоматизовані системи оплати проїзду дозволяють підвищити зручність та конкурентоспроможність громадського транспорту, здійснювати моніторинг та аналіз даних про пасажиропотік із подальшою можливістю оптимізувати систему. В таблицях 1 та 2 наведена характеристика проєкту автоматизованої системи оплати проїзду в громадському транспорті м. Вінниці.

Також варто згадати низку вдалих проєктних рішень у сфері громадського транспорту, які були реалізовані протягом останніх років в м. Києві. Серед них проєкти міської мобільності з акцентом на розвиток екологічного транспорту та покращення інфраструктури, а також облаштування смуг руху для громадського транспорту.

Грунтовний аналіз прикладів практичної реалізації в містах України проєктів, спрямованих на розвиток сталої мобільності, який представлено в роботі [22], дав можливість виявити основні проблеми та перешкоди, які мали місце під час їх впровадження, та оцінити ефективність запропонованих рішень з усунення таких перешкод. Приймаючи до уваги сучасний український досвід можна запропонувати ряд рекомендацій щодо розвитку систем сталої мобільності через відповідні інвестиційні проєкти. Таким чином, основні рекомендації щодо реалізації таких проєктів та їх обгрунтування, які представлено на рисунку 3, стосуються наступних аспектів:

- залучення зовнішнього фінансування;
- раціональне використання ресурсів;
- партисипація (співпраця місцевої влади із громадськістю);
- тестування проєктних рішень;
- контроль за виконанням впроваджених заходів;
- планування та обгрунтування термінів реалізації;
- обмін досвідом;
- дизайн середовища.

З огляду на всі вищенаведені міркування можна констатувати, що проблеми мобільності міського середовища можуть бути досить специфічними у різних містах, проте переважна більшість з них викликана неконтрольованим зростанням кількості автомобільного транспорту, обмеженими ресурсами, невдалим транспортним плануванням, недостатньо розвиненою інфраструктурою, недосконалою транспортною мережею та неефективним муніципальним управлінням. Отже, враховуючи соціально-політичну, економічну і безпекову ситуацію в Україні, основною рекомендацією для забезпечення розвитку сталих систем мобільності в українських містах за даних



Рисунок 3 – Структура рекомендацій щодо підвищення ефективності реалізації проєктів розвитку систем сталої мобільності

Figure 3 – Structure of recommendations for improving the efficiency of implementing sustainable mobility systems development projects

обставин є фокусування на створенні раціональної політики щодо тих видів мобільності, які є екологічними, а також соціально та економічно стійкими. Тобто це, в першу чергу, розвиток пішохідних переміщень та велосипедного руху і громадського транспорту.

Висновки з проведеного дослідження та перспективи подальших розвідок за даним напрямом. Враховуючи суттєве погіршення екології в містах, що обумовлюється роботою транспорту, та проблеми енерго- і ресурсозбереження, які є актуальними для України в умовах її соціально-політичної, економічної та безпекової ситуації, забезпечення мобільності міського середовища на сучасному етапі вимагає впровадження підходів сталого розвитку. Мешканці та влада багатьох українських міст все більше усвідомлюють негативний вплив особистого автомобільного транспорту на рівень комфортності проживання в місті, тому фокус при управлінні містом поступово зміщується від автомобілів до більш екологічних режимів мобільності, таких як: пішохідні переміщення, велосипедний рух та громадський транспорт.

На сьогоднішній день можна відстежити досить вдалі приклади проєктів розвитку систем сталої міської мобільності в багатьох українських містах, які реалізовані на перетині інтересів забезпечення мобільності, протидії кліматичним змінам та досягненні доступності й рівності для їх мешканців. Основними напрямками розвитку сталої мобільності є – пріоритезація пішохідного та велосипедного руху, розвиток громадського транспорту та реорганізація міських вуличних просторів.

Грунтовний аналіз прикладів практичної реалізації в містах України проєктів, спрямованих на розвиток сталої мобільності, дав можливість виявити основні проблеми та перешкоди, які мали місце під час їх впровадження, та оцінити ефективність запропонованих рішень з усунення таких перешкод. Приймаючи до уваги сучасний український досвід, основні рекомендації щодо розвитку систем сталої мобільності через відповідні інвестиційні проєкти стосуються наступних аспектів: залучення зовнішнього фінансування; раціональне використання ресурсів; партисипація (співпраця місцевої влади із громадськістю); тестування проєктних рішень; контроль за виконанням впроваджених заходів; планування та обгрунтування термінів реалізації; обмін досвідом; дизайн середовища.

Проблеми мобільності міського середовища можуть бути досить специфічними у різних містах, проте переважна більшість з них викликана неконтрольованим зростанням кількості автомобільного транспорту, обмеженими ресурсами, невдалим транспортним плануванням, недостатньо розвиненою інфраструктурою, недосконалою транспортною мережею та неефективним муніципальним управлінням. Отже, враховуючи соціально-політичну, економічну і безпекову ситуацію в Україні, основною рекомендацією для забезпечення розвитку сталих систем мобільності в українських містах за даних обставин є фокусування на створенні раціональної політики щодо тих видів мобільності, які є екологічними, а також соціально та економічно стійкими.

Перелік посилань

1. Губенко В.К., Николаенко И.В. City Logistics: имплементация парадигмы креативных логистических цепей: монография. – Мариуполь, 2015. – 493 с.

2. Стала мобільність у Львові. URL: https://mobility.lviv.ua/

3. План сталої міської мобільності м. Житомирі. URL: http://zt-rada.gov.ua/?3398[0]=8685

4. Маргіта Н.О., Вороніна Р.М., Карий О.І. / Особливості планування сталої міської мобільності // Національний університет «Львівська політехніка». URL: https://ena.lpnu.ua/

5. Wefering F., Rupprecht S., Bührmann S., Böhler-Baedeker S. Настанови. Розробка та виконання Плану сталої міської мобільності / Європейська Комісія. Генеральний Директорат з Мобільності та Транспорту. – 2014. – 152 с.

6. План дій з питань міської мобільності. Комісія ЄС, Брюсель. URL: http://www.transport-ukraine.eu/sites/default/files/ ec_action_plan_on_urban_mobility.pdf.

7. Action Plan on Urban Mobility – State of Play. European commission directorate-general for mobility and transport. URL: http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility/doc/apum_state_of_play.pdf.

8. Леген Г. Планування сталої міської мобільності (2014): огляд та сфера застосування. URL: http://www.slideshare.net/gladovsky/ss-41891271?related=1.

9. Сімпсон Дж. Інтегровані підходи до планування міської мобільності. Розумні міста та Мобільність// Секретаріат CIVITAS. URL: http://www.slideshare.net/gladovsky/civitas-j-simpsonvinnytsiaukr.

10. Янішевський С.В., Білоног О.Є. Підвищення безпеки сталої міської мобільності для людей літнього віку та осіб з обмеженими можливостями здоров'я // Третя Всеукраїнська науково-практична конференція «Транспортні технології та безпека дорожнього руху», 16–17 червня 2022 року, тези доповідей. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. С. 64-68.

11. Янішевський С.В., Білоног О.Є., Корчевська А.А. Обмеження швидкості транспортних засобів в містах для підвищення безпеки вразливих учасників дорожнього руху. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий збірник. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55). С. 335-347. http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/55/335.pdf

12. Polishchuk V., Yanishevskyi S., Bilonoh O., Nahrebelna L., Trushevsky V., Korchevska A., Semenchenko O., Vyhovska I. (2023). Expert assessment of engineering and planning solutions to improve the safety of vulnerable road users in Ukraine. // Expert assessments in decision making: risks and safety: collective monograph. Pp. 154-206. Tallinn: Scientific Route OÜ, 222. Scopus DOI: https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-2-1

13. Білоног О.Є., Янішевський С.В., Климчук Ю.О., Черненко І.О. Міська мобільність в Україні: аналіз основних викликів Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий збірник. – К. : НТУ, 2024. – Вип. 1 (58). С. 11-22. http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/58/011.pdf

14. Чому не в Києві: як плани сталої міської мобільності зроблять українські міста кращими? Хмарочос – Київський міський журнал. URL: https://hmarochos.kiev.ua/2019/05/28/chomu-ne-v-kyyevi-yak-plany-staloyi-miskoyi-mobilnosti-zroblyat-ukrayinski-mista-krashhymy/

15. Екологічний паспорт міста Києва. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2022. – 120 с. https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Ekologichnyj-pasport-m.-Kyyiv.pdf

16. Міська мобільність в Києві: аналітична довідка та рекомендації. Центр екологічних ініціатив «Екодія». URL: https://ecoaction.org.ua/miska-mobilnist-kyiv.html

17. TomTom Traffic Index. URL: https://www.tomtom.com/traffic-index/

18. Хто, Куди й Коли: несподівані результати першого великого дослідження рухомості киян. URL. https://voxukraine.jrg.

19. Shrank David and Tim Lomax: 1999 Urban Mobility Report, Texas Transportation Institute, 1999

20. Проект FLOW. Роль пішої ходи та їзди на велосипеді в зменшенні заторів: Портфоліо заходів. Брюссель. URL: https://u-cycle.org.ua/articles/rol-pishoi-khody-taizdy-na-velosypedi-u-zmenshenni-zatoriv/

21. Transformative Urban Mobility Initiative (TUMI) Global Mobility Challenge 2019. URL https://tumi-network. org/2019/05/22/2019-tumi-global-urban-mobility-challenge-winners-announced/.

22. Прокопенко В. Розвиток сталої мобільності: кращі практики міст України. Представництво фонду ім. Гайнріха Бьолля. ГО «Центр екологічних ініціатив». 2020. – 69 с.

23. Потреба у розвитку велотранспорту та перешкоди до її реалізації у містах і регіонах України. Дослідження. Київ, 2020 рік. URL: https://ua.boell.org/sites/default/files/2020-12/ Bike%20Report%20-%2010-12-2020.pdf/

24. Посібник «СТАЛА МОБІЛЬНІСТЬ У ГРОМАДАХ: рекомендації щодо відновлення». URL: https://u-lead.org.ua/media?tab=manuals

25. Державний фонд регіонального розвитку. URL: http://dfrr.minregion.gov.ua/pro-konkurs

26. Європейський «Тиждень мобільності» . URL: https://mobilityweek.eu/home/.

URBAN MOBILITY MANAGEMENT:BEST PRACTICES IN IMPLEMENTING PROJECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE MOBILITY SYSTEMS IN CITIES OF UKRAINE

Bilonoh Oksana Ye, Ph. D., associate professor, National Transport University, associate professor of the department of transport law and logistics, e–mail: bilonog.oksana@gmail.com, tel. +380679599997, orcid.org/0000–0003–2471–5388

Yanishevskyi Serhii V., Ph. D., associate professor, National Transport University, associate professor of the department of transport systems and traffic safety, e–mail: s.yanishevskyi@gmail.com, tel. +380679462842, orcid.org/00000002–0113–5463.

Halak Iryna I., Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor of Department of transport Law and Logistics, e-mail: i.halak@ntu.edu.ua, tel. +380978459880, orcid.org/0000-0002-5038-7771.

Klymchuk Yurii O., National Transport University, PhD student of the department of transport systems and road safety, e–mail: yur.klymchuk@gmail.com, tel. +3809795480628, orcid.org/0009-0006-7104-5275.

Summary. In the context of significant deterioration of the ecology in cities, which is caused by the operation of transport, and the problems of energy and resource conservation, which are relevant for Ukraine in the context of its socio-political, economic and security situation, ensuring mobility of the urban environment at the present stage requires the implementation of sustainable development approaches. Residents and authorities of many Ukrainian cities are increasingly aware of the negative impact of personal motor transport on the level of comfort of living in the city, so the focus of urban planning is gradually shifting from cars to more environmentally friendly mobility modes, such as: walking, cycling and public transport.

Today, one can trace quite successful examples of projects for the development of sustainable urban mobility systems in many Ukrainian cities, which are implemented at the intersection of the interests of ensuring mobility, combating climate change and achieving accessibility and equality for their residents. The main directions of sustainable mobility development are prioritizing pedestrian and bicycle traffic, developing public transport, and reorganizing urban street spaces.

A thorough analysis of examples of practical implementation in Ukrainian cities of projects aimed at developing sustainable mobility made it possible to identify the main problems and obstacles that occurred during their implementation, and to assess the effectiveness of the proposed solutions to eliminate such obstacles. Taking into account modern Ukrainian experience, the main recommendations for the development of sustainable mobility systems through relevant investment projects concern the following aspects: attracting external financing; rational use of resources; participation (cooperation of local authorities with the public); testing of project solutions; monitoring the implementation of implemented measures; planning and justification of implementation deadlines; exchange of experience; environmental design.

Urban mobility problems can be quite specific in different cities, but the vast majority of them are caused by uncontrolled growth in the number of motor vehicles, limited resources, unsuccessful transport planning, insufficiently developed infrastructure, imperfect transport network and inefficient municipal management. Therefore, given the socio-political, economic, and security situation in Ukraine, the main recommendation for ensuring the development of sustainable mobility systems in Ukrainian cities under these circumstances is to focus on creating a rational policy for those types of mobility that are environmentally friendly, as well as socially and economically sustainable.

Keywords: city logistics, mobility systems, mobility management, sustainable development, sustainable mobility, development projects.

References

1. Hubenko V.K., Nikolayenko I.V. Mis′ka lohistyka: realizatsiya paradyhmy kreatyvnykh lohistychnykh lantsyuhiv : monohr. – Mariupol′, 2015. – 493 s.

2. Stala mobil′nist′ u L′vovi. URL: https://mobility.lviv.ua/

3. Plan staloyi mis′koyi mobil′nosti m. Zhytomyra: http://zt-rada.gov.ua/?3398[0]=8685

4. Marhita N.O., Voronina R.M., Kariy O.I. / Osoblyvosti planuvannya staloyi mis′koyi mobil′nosti // NU «L′vivs′ka politekhnika». URL: https://ena.lpnu.ua/

5. Wefering F., Rupprecht S., Bührmann S., Böhler-Baedeker S. Nastavi. Rozrobka ta vykonannya Planu staloyi mis′koyi mobil′nosti / Yevropeys′ka Komisiya. Heneral′nyy dyrektorat z mobil′nosti ta transportu. – 2014. – 152 s. 6. План дій з питань міської мобільності. Комісія ЄС, Брюсель. URL: http://www.transport-ukraine.eu/sites/default/files/ ec_action_plan_on_urban_mobility.pdf.

7. Plan diy shchodo mis′koyi mobil′nosti – potochnyy stan. Heneral′nyy dyrektorat Yevropeys′koyi komisiyi z mobil′nosti ta transportu. URL: http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility/doc/apum_state_of_play.pdf.

8. Lehen H . Planuvannya staloyi mis′koyi mobil′nosti: ohlyad ta sfera zastosuvannya. URL: http://www.slideshare.net/gladovsky/ss-41891271?related=1.

9. Simpson Dzh. Intehrovani pidkhody do planuvannya mis′koyi mobil′nosti. Rozumni mista ta Mobil′nist′// Sekretariat CIVITAS. URL: http://www.slideshare.net/gladovsky/civitas-j-simpsonvinnytsiaukr.

10. Yanishevs′kyy S.V., Bilonoh O.YE. Pidvyshchennya bezpeky staloyi mis′koyi mobil′nosti dlya lyudey litn′oho viku ta osib z obmezhenymy mozhlyvostyamy zdorov″ya // Tretya Vseukrayins′ka naukovopraktychna konferentsiya «Transportni tekhnolohiyi ta bezpeka dorozhn′oho rukhu», 16–17 chervnya 2022 roku, tezy dopovidey. – Zaporizhzhya: NU «Zaporiz′ka politekhnika», 2022. S. 64-68.

11. Yanishevs′kyy S.V., Bilonoh O.YE., Korchevs′ka A.A. Obmezhennya shvydkosti transportnykh zasobiv u mistakh dlya pidvyshchennya bezpeky vrazlyvykh uchasnykiv dorozhn′oho rukhu. Visnyk Natsional′noho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovyy zbirnyk. – K. : NTU, 2023. – Vyp. 1 (55). S. 335-347. http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/55/335.pdf

12. Polishchuk V., Yanishevskyi S., Bilonoh O., Nahrebelna L., Trushevsky V., Korchevska A., Semenchenko O., Vyhovska I. (2023). Expert assessment of engineering and planning solutions to improve the safety of vulnerable road users in Ukraine. // Expert assessments in decision making: risks and safety: collective monograph. Pp. 154-206. Tallinn: Scientific Route OÜ, 222. Scopus DOI: https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-2-1

13. Bilonoh O.YE., Yanishevs′kyy S.V., Klymchuk YU.O., Chernenko I.O. Mis′ka mobil′nist′ v Ukrayini: analiz osnovnykh vyklykiv Visnyk Natsional′noho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovyy zbirnyk. – K. : NTU, 2024. – Vyp. 1 (58). S. 11-22. http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/58/011.pdf

14. Chomu ne v Kyyevi: yak plany staloyi mis′koyi mobil′nosti zroblyat′ ukrayins′ki mista krashchymy? Khmarochos – Kyyivs′kyy mis′kyy zhurnal. URL: https://hmarochos.kiev.ua/2019/05/28/chomu-ne-v-kyyevi-yak-plany-staloyi-miskoyi-mobilnosti-zroblyat-ukrayinski-mista-krashhymy/

15. Ekolohichnyy pasport mista Kyyeva. Ministerstvo zakhystu dovkillya ta pryrodnykh resursiv Ukrayiny, 2022. – 120 s. https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Ekologichnyj-pasport-m.-Kyyiv.pdf

16. Mis′ka mobil′nist′ v Kyyevi: analitychna dovidka ta rekomendatsiyi. Tsentr ekolohichnykh initsiatyv «Ekodiya». https://ecoaction.org.ua/miska-mobilnist-kyiv.html

17. TomTom Traffic Index. URL: https://www.tomtom.com/traffic-index/

18. Khto, Kudy y Koly: nespodivani rezul′taty pershoho velykoho doslidzhennya rukhomosti kyyan. URL: https://voxukraine.jrg.

19. Shrank David and Tim Lomax: 1999 Urban Mobility Report, Texas Transportation Institute, 1999.

20. Proekt FLOW (2016). Rol′ pishoyi khody ta yizdy na velosypedi v zmenshenni zatoriv: Portfolio zakhodiv. Bryussel′.URL: https://u-cycle.org.ua/articles/rol-pishoi-khody-taizdy-na-velosypedi-u-zmenshenni-zatoriv/

21. Transformative Urban Mobility Initiative (TUMI) Global Mobility Challenge 2019. URL: https://tumi-network. org/2019/05/22/2019-tumi-global-urban-mobility-challenge-winners-announced/.

22. Prokopenko V. Rozvytok staloyi mobil′nosti: krashchi praktyky mist Ukrayiny. Predstavnytstvo fondu im. Haynrikha B′ollya. HO «Tsentr ekolohichnykh initsiatyv». 2020. – 69 s.

23. Potreba u rozvytku velotransportu ta pereshkody do yiyi realizatsiyi u mistakh i rehionakh Ukrayiny. Doslidzhennya. Kyyiv, 2020 rik: URL: https://ua.boell.org/sites/default/files/2020-12/ Bike%20Report%20-%2010-12-2020.pdf/

24. Posibnyk «STALA MOBIL′NIST′ U HROMADAKH: rekomendatsiyi shchodo vidnovlennya». URL: https://u-lead.org.ua/media?tab=manuals

25. Derzhavnyy fond rehional′noho rozvytku. URL: http://dfrr.minregion.gov.ua/pro-konkurs

26. Yevropeys′kyy «Tyzhden′ mobil′nosti». URL: https://mobilityweek.eu/home/.

УДК 656.13:658
UDC 656.13:658
DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-293-305

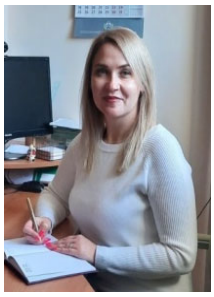
МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНОГО ПРОВАЙДЕРА В ПРОЦЕСАХ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО СТРАТЕГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ

MODEL FOR ASSESSMENT OF THE STATUS OF FUNCTIONING OF A LOGISTICS PROVIDER ORGANIZATION IN THE PROCESSES OF ORGANIZATIONAL STRATEGIC MANAGEMENT



***Воркут Тетяна Анатоліївна**, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: vorkutt@ukr.net., тел. +38 0442544326,*

http://orcid.org/0000-0003-0354-476X



***Волинець Людмила Миколаївна**, кандидат економічних наук, професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: Volinec_3@ukr.net, тел. +380979022993,*

https://orcid.org/ 0000-0002-5064-2349

Анотація. Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю розроблення моделі оцінювання стану функціонування організації логістичного провайдера в процесах організаційного стратегічного управління.

Мета дослідження – розробити комплексну модель для оцінювання стану функціонування організації в контексті результативної і ефективної реалізації стадії моніторингу і контролю стратегічного управління в організації логістичного провайдера.

Об'єкт дослідження – процес організаційного стратегічного управління.

Предмет дослідження – методи, моделі і механізми оцінювання стану функціонування організації для цілей стратегічного управління.

У статті обґрунтовано, що на сьогоднішній день в стратегічному управлінні методи і моделі оцінювання організації зазвичай розглядають концептуальні питання формування відповідних систем оцінювання, проте залишають поза увагою питання реалізації відповідних систем, зокрема, в частині інформаційного забезпечення. В умовах вирішення проблеми розроблення комплексних, таких що беруть до уваги як методологічні аспекти власне процесу стратегічного управління, так і інформаційного забезпечення даного процесу, моделей актуальним є проведення аналізу математичного апарату, який заснований на використанні теорії штучного інтелекту.

Розроблено комплексну, таку що ґрунтується на підходах стратегічного управління і інформаційних технологій, модель для оцінювання стану функціонування організації в контексті результативної і ефективної реалізації стадії моніторингу і контролю стратегічного управління в організації логістичного провайдера.

Ключові слова: організація логістичного провайдера, стратегічне управління, інформаційні технології, моніторинг, контроль.

Постановка проблеми. Процес стратегічного управління в організації, як відомо, передбачає виокремлення наступних стадій – формулювання (формування), реалізація, а також моніторинг і контроль організаційної стратегії. Спостерігаємо натепер підвищення інтересу до наукових шкіл стратегічного управління дескриптивного спрямування зумовлює зростаючу актуальність проблематики стадії моніторингу і контролю. Водночас, результативна і ефективна реалізація даної стадії потребує вибудовування результативної і ефективної системи для оцінювання стану функціонування організації. Відомі на сьогоднішній день в стратегічному управлінні методи і моделі оцінювання організації зазвичай розглядають концептуальні питання формування відповідних систем оцінювання, проте залишають поза увагою питання реалізації відповідних систем, зокрема, в частині інформаційного забезпечення. Разом із тим, умови розвитку інформаційних технологій дозволяють припускати, що результативні і ефективні системи оцінювання стану функціонування організації мають враховувати сучасні можливості інформаційного забезпечення технологічного процесу стратегічного управління. Дані можливості мають розглядатися не лише в контексті реалізації концепцій формування систем для оцінювання стану функціонування організації, а й братись до уваги при розроблені таких концепцій. Тобто постає проблема розроблення комплексних, таких, що беруть до уваги як методологічні аспекти власне процесу стратегічного управління, так і інформаційного забезпечення даного процесу, моделей.

Огляд робіт. Процес стратегічного управління можна представити як такий, що складається з наступних стадій: формування або формулювання стратегії (коректний вибір терміну, зокрема, за роботою [1], різниться залежно від контексту використання, який, у свою чергу, пов'язується з розглядуваною науковою школою стратегічного управління: прескриптивні школи «тяжіють» до формулювання стратегії, дескриптивні – до формування стратегії); реалізація стратегії; моніторинг і контроль стратегії.

Для даної роботи представляє інтерес аналіз відмінностей у баченні прескриптивними і дескриптивними науковими школами стратегічного управління взаємозв'язку між стадіями формування (формулювання) і реалізації стратегії. Зокрема, критикуючи таку прескриптивну школу, як школу дизайну, автори роботи [1] вказують, як на недолік, на відокремлення формулювання від реалізації, що є одним із центральних положень школи дизайну. Зазначається, що це як відрив мислення від дій. В основу розділення стадій, і відповідних їм процесів, формування (формулювання) і реалізації стратегії покладаються доволі «претензійні» припущення про те, що управляючі вищого рівня мають здатність розуміти і передбачати динаміку зовнішнього середовища і що організаційне середовище є достатньо стабільним, чи принаймні передбачуваним. Як наслідок, сформульовані «сьогодні» стратегії будуть залишатися життєздатними протягом тривалого проміжку часу [1]. Крім того, розділення формування (формулювання) і реалізації стратегії виходить із припущення про можливість збору і передачі всіх необхідних даних «наверх», практично, без втрат і викривлень [1].

Разом із тим, розділення формування (формулювання) і реалізації стратегії в середовищі, яке змінюється і/або є відносно складним, не має сенсу. Звідси можливі два випадки – або «той, хто формулює стратегію» має одночасно бути і «тим, хто реалізує стратегію», або останній має сам формулювати стратегію. Головне – мислення і дія (реалізація) є нерозривними. В першому випадку «мислитель» повинен жорстко контролювати реалізацію планів, що вирізняє високоіндивідуалізований підприємницький підхід до створення стратегії, тобто, знаходить відображення в школі підприємництва. В другому – коли «одна голова» не в змозі осмислити весь обсяг інформації, яка надходить, стратегія має розроблятися на певній колективній основі – тобто, визнаючи участь «реалізатора» в формуванні (формулюванні) стратегії, ми визнаємо навчання організації і, відповідно, прийняття підходів школи навчання [1].

Аналогічні, до критичних зауважень на адресу школи дизайну стосовно розділення формування (формулювання) і реалізації стратегії, зауваження в роботі [1] спрямовуються і в бік інших

прескриптивних шкіл стратегічного управління – школи планування і школи позиціонування. Підтримуючи дані критичні зауваження, прибічники школи навчання не втомлюються ставити просте, проте, дуже важливе, питання: «А як, насправді, формуються організаційні стратегії, не як вони формулюються, а як вони формуються?»

Представники дескриптивних шкіл, на відміну від прескриптивних, прагнуть до інтеграції в часі процесів формування стратегії і розгортання (реалізації) стратегії [1]. Водночас, ступінь зазначеної інтеграції суттєво різниться і може розглядатися як, свого роду, континіум – від школи підприємництва до, наприклад, школи навчання чи когнітивної школи. В баченні ряду дескриптивних шкіл, зокрема, школи навчання, взаємозв'язку між стадіями формування і реалізації стратегії, стадія реалізації частково, або навіть повністю, буде збігатися зі стадією формування в часі. Це, відповідно, має враховуватися в процесах організаційного управління, насамперед, при розробленні і впровадженні механізмів стратегічного управління.

Відмінність у баченні вирішення проблеми «розділення» прескриптивними і дескриптивними науковими школами стратегічного управління ілюструє рис. 1. [2].

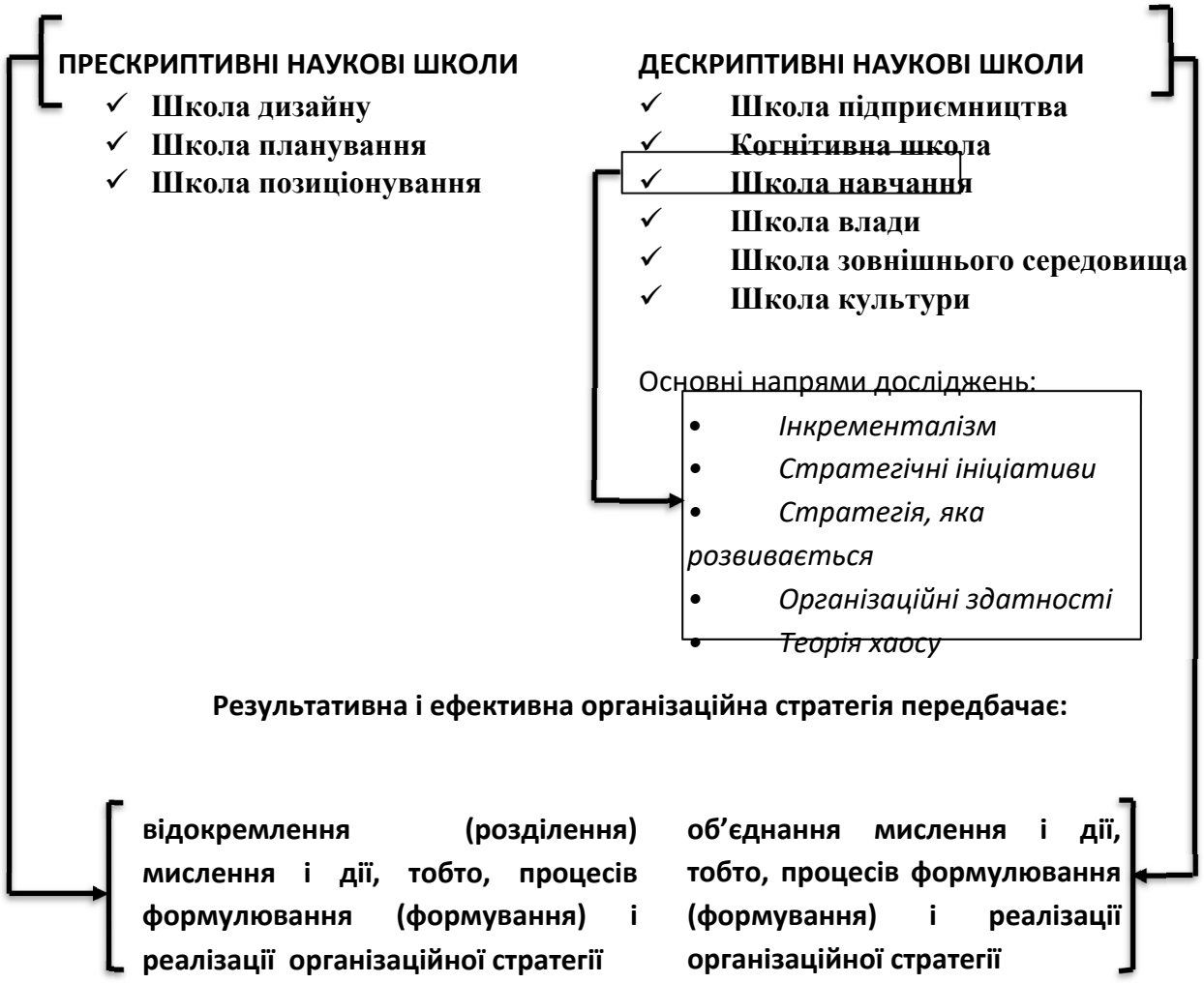


Рисунок 1 – Проблема «розділення» в наукових школах стратегічного управління
Figure 1 – The problem of «separation» in scientific schools strategic management

Стосовно систем оцінювання стану функціонування організації в контексті забезпечення процесу стратегічного управління, то за одну із провідних тривалий час розглядається збалансована система показників (ЗСП).

Як зазначають Р. Каплан і Д. Нортон, автори концепції ЗСП, на початку остання розроблялась як система оцінювання, яка мала б сприяти перекладу стратегічних планів організації в сукупність взаємопов'язаних фінансових і нефінансових показників. У свою чергу, дані показники мали б використовуватися в організації для поширення інформації про стратегію, формування єдиної направленості в роботі, обґрунтування управлінських рішень, визначення пріоритетів при розподілі ресурсів. У сучасному розумінні ЗСП – це, насамперед, механізм реалізації стратегії. Зазначене відбувається через визначення цілей, показників для їх вимірювання, цільових значень цих показників. Крім того, визначаються заходи, зокрема, проєктного характеру, які спрямовуються на подолання відмінностей між поточними і цільовими значеннями даних показників [8, 9, 10].

Відповідно до методології ЗСП система цілей організації визначається на виокремлюваних рівнях організаційної ієрархії. Розроблення ЗСП для кожного рівня організаційної ієрархії носить назву каскадування. ЗСП відносно нижчого рівня узгоджується із відповідною системою відносно вищого рівня організації на основі визначення стратегічних цілей і відповідних їм показників. Дані показники будуть використовуватися для відстеження внеску певної організаційної структури в досягнення загальних цілей організації. ЗСП, за своєю сутністю, охоплює чотири основні аспекти (сфери) діяльності організації. Це орієнтованість на задоволення потреб споживачів (клієнтів), внутрішні бізнес-процеси, фінансові результати, а також інноваційність, навчання та розвиток персоналу [8, 9, 10].

При цьому маємо закцентувати увагу на принципово відмінних підходах до інтерпретації ключових показників, які включає ЗСП, пов’язуючи дану інтерпретацію із прізвищами П. Друкера і Е. Демінга. Зокрема, мова йде про теорію управління за цілями П. Друкера і теорію статистичного мислення Е. Демінга.

Натепер практично всі успішні компанії в світі використовують, у тому чи іншому ступені, елементи, так званої, японської моделі управління. В основі даної моделі – теорія управління, яка була запропонована Е. Демінгом.

Зауважимо, що ряд фахівців у галузі статистики не готові сприйняти власне статистичні аспекти концепції Е. Демінга. В частині, в якій він кардинально переглянув класичну теорію статистичного висновку. Е. Демінг узгодив її із відомою вже йому на той час теорією варіабельності, яка отримала розвиток у роботах В. Шухарта, і доповнив її власними напрацюваннями. «Яблуком розбрату» виявилась ідея статистичної керованості процесів, яка (ідея) виходить із класичних уявлень щодо репрезентативності вибірки. Але лише В. Шухарт і Е. Демінг надали цим поняттям операційного сенсу, зробивши їх придатними для використання на практиці. Крім того, це стало предтечею до появи напрямку в теорії і практиці, який Е. Демінг визначив як «статистичне мислення» [6].

Без сумніву, формування його поглядів відбувалось під впливом праць багатьох відомих, крім Ф. Тейлора, теоретиків і практиків американського управління. Насамперед, Ф. Мейо, А. Маслоу, Ф. Герцберга, Дж. Джурана і власне самого П. Друкера. В якійсь мірі, заочно полемізуючи із останнім, Е. Демінг у передмові до книжки Г. Ніва «Організація як система» писав наступне. Необхідні зміни, які «...мають відновити індивідуальність, скасувати оцінки і градації на всіх рівнях – від шкіл до університетів, щорічні атестації персоналу на робочих місцях, управління за цілями, кількісні норми виробництва, вимоги на кшталт, що робітник має працювати 57 хвилин протягом кожного часу, премії, щомісячні або щоквартальні звіти про досягнення цілей, конкуренцію між співробітниками та відділами й інші форми субоптимізації. Лідерство призначено прийти на зміну цій порожній практиці і відновити індивідуальність. Перетворення мають очолювати управляючі вищого рівня. Перетворення – це не гасіння пожеж, а вирішення конкретних проблем, а також не косметичні покращення» [6].

Як відомо, концепція Е. Демінга пропонує, виходячи зі своєї «статистичної складової», 14 пунктів для управління, які було сформульовано самим Е. Демінгом. Дані 14 пунктів теж зазнавали, і зазнають, критики. Як із точки зору дослідників, які працюють у сфері управління, так і з точки зору

практиків. Останні нерідко називають Е. Демінга «капіталістом у рожевих окулярах». Один із цих пунктів, а саме 11-й, передбачає «виключення управління за цілями, призупинення управління за числами і кількісним результатом», а, на заміну цього, пропонується ввести лідерство. Тобто, мова йде про скасування кількісних цілей для управляючих. Як зауважує, доволі жорстко, Е. Демінг: «Набір внутрішніх цілей, встановлених для менеджменту компанії, то є просто «пародія». Природнє коливання в правильному напрямі (яке виникає зазвичай через неточність даних) розцінюється як успіх, а коливання в протилежному напрямі змушує метушитися в пошуках пояснень і вирішення питання поспіхом, що стає джерелом ще більшого розчарування і появи нових проблем».

В умовах вирішення проблеми розроблення комплексних, таких що беруть до уваги як методологічні аспекти власне процесу стратегічного управління, так і інформаційного забезпечення даного процесу, моделей актуальним є проведення аналізу математичного апарату, який заснований на використанні теорії штучного інтелекту. В роботі [7] визначено основні переваги та недоліки когнітивних алгоритмів. До недоліків зазначених підходів слід віднести відсутність врахування типу невизначеності, неможливість провести пошук у різних напрямках декількома агентами. В роботі [8] представлено підхід, що орієнтований на пошук прихованої інформації в великих масивах даних. Метод заснований на аналітичних базових лініях, зменшення змінних, виявлення розріджених ознак та формування правил. До недоліків зазначеного методу належить неможливість врахування різних стратегій прийняття рішень, відсутність врахування типу невизначеності вихідних даних. В роботах [9, 10] наведений підхід до трансформації інформаційних моделей об’єктів до їх еквівалентних структурних моделей. Цей механізм призначений для автоматизації необхідних операцій з перетворення, модифікації та доповнення під час такого обміну інформацією. До недоліків зазначеного підходу слід віднести неможливість оцінити адекватність та достовірність процесу трансформації інформації, а також провести відповідну корекцію отриманих моделей. В роботі [11] запропоновано метод нечіткого ієрархічного оцінювання, що дозволяє провести оцінювання якості обслуговування бібліотек. До недоліків зазначеного методу слід віднести неможливість оцінити адекватність та достовірність оцінки та відповідно визначити похибку оцінювання. В роботі [12] проведено аналіз 30 найбільш поширених алгоритмів Big-data. Встановлено, що аналіз великих масивів даних повинен проводитися пошарово, відбуватися в режимі реального часу та мати можливість до самонавчання, пошуку рішення в різних напрямках та враховувати зашумленість даних. В роботі [13] представлено підходи з оцінки різнотипних даних для систем підтримки та прийняття рішень, що засновані на кластеризації базового набору вхідних даних, після чого на підставі аналізу відбувається навчання системи. Проте, враховуючи статичність архітектури штучних нейронних мереж, відбувається накопичення помилки. В роботах [14, 15] проведений порівняльний аналіз існуючих технологій підтримки прийняття рішень, а саме: метод аналізу ієрархій, нейронні мережі, теорія нечітких множин, генетичні алгоритми і нейро-нечітке моделювання. Вказані переваги і недоліки даних підходів. Для завдань оцінки стану ієрархічних систем в умовах ризику і невизначеності обґрунтованим є використання теорії штучних нейронних мереж та градієнтних алгоритмів. В роботі [8] розроблено підходи до структурно-цільового аналізу розвитку слабоструктурованих систем. При цьому проблема визначається як невідповідність існуючого стану слабоструктурованої системи необхідному. Разом із тим, до недоліків запропонованих підходів слід віднести проблему локального оптимуму, відсутність врахування обчислювальних ресурсів системи, а також неможливість проведення пошуку в декількох напрямках.

Узагальнено, аналіз наведених праць дозволяє дійти висновку, що наукова прогалина ідентифікується в частині розроблення, вдосконалення і подальшого розвитку методів і моделей, які комплексно розглядають методологічні аспекти стратегічного управління і математичного апарату, заснованого на використанні теорії штучного інтелекту, в умовах формування систем для оцінювання стану функціонування організаційних структур, зокрема, логістичних.

Мета дослідження – розробити комплексну модель для оцінювання стану функціонування організації в контексті результативної і ефективної реалізації стадії моніторингу і контролю стратегічного управління в організації логістичного провайдера.

Об'єкт дослідження – процес організаційного стратегічного управління.

Предмет дослідження – методи, моделі і механізми оцінювання стану функціонування організації для цілей стратегічного управління.

Виклад основного матеріалу. В умовах моніторингу і контролю процесу формування і реалізації стратегій в організації логістичного провайдера до уваги мають братися фактори, які визначають середовище, за якого функціонує дана організація. Зазначені фактори можуть бути згруповані в рамках трьох груп – група факторів зовнішнього середовища, група факторів внутрішнього середовища, а також група факторів, які гіпотетично, можуть бути одночасно віднесені як до зовнішніх, так і до внутрішніх. У свою чергу, в групі факторів зовнішнього середовища можуть бути виокремленні такі підгрупи факторів як підгрупа факторів прямого впливу і підгрупа факторів опосередкованого впливу.

В загальному випадку, як можна очікувати, фактори середовища організації логістичного провайдера будуть визначатися відмінними, за одиницями вимірювання, походженням (безрозмірні, числові, вербальні), показниками, які ці фактори характеризують. Одним із можливих підходів до врахування вищезазначеного є використання теорії штучного інтелекту, а саме окремої складової даної теорії, яка представлена нечіткими когнітивними моделями. Відповідну математичну модель можна представити у наступному вигляді, із урахуванням результатів роботи [16]:

$$S_{\text{лп}} = < \{IF\}, \{OF\}, \{MF\} >, \tag{1}$$

де M – мета управління організацією логістичного провайдера;

$\{IF\}$ – фактори внутрішнього середовища організації логістичного провайдера;

$S_{\text{лп}}$; $\{OF\}$ – фактори зовнішнього середовища організації логістичного провайдера;

$\{MF\}$– фактори, які віднесено як до факторів зовнішнього, так і до факторів внутрішнього середовища організації логістичного провайдера.

Вираз (1) для динамічної системи:

$$\forall t \in \{1,...,T,...\}\; S_t = \begin{cases} s_1^{(t)} F_1\left(\varphi_{1,1}\left(s_1^{(t-1)},...,s_1^{(t-L_1^1)}\right), \varphi_{1,N}\left(s_N^{(t-1)},...,s_N^{(t-L_1^N)}\right)\right) \times \iota_1, \\ s_2^{(t)} F_2\left(\varphi_{2,1}\left(s_1^{(t-1)},...,s_1^{(t-L_2^1)}\right), \varphi_{2,N}\left(s_N^{(t-1)},...,s_N^{(t-L_2^N)}\right)\right) \times \iota_2, \\ \quad ... \\ s_N^{(t)} F_N\left(\varphi_{N,1}\left(s_1^{(t-1)},...,s_1^{(t-L_N^1)}\right), \varphi_{N,N}\left(s_N^{(t-1)},...,s_N^{(t-L_N^N)}\right)\right) \times \iota_N, \end{cases} \tag{2}$$

де S – багатовимірний часовий ряд, що характеризує зміну стану організації логістичного провайдера;

$S_t = \left(s_1^{(t)}, s_2^{(t)}, ..., s_N^{(t)}\right)$ – часовий зріз стану організації логістичного провайдера, представлений у вигляді багатовимірного часового ряду на t-й момент часу;

$s_j^{(t)}$ – значення j-го компонента багатовимірного часового ряду на t-й момент часу, що характеризує зміну стану організації логістичного провайдера;

L_j^i – максимальне значення часової затримки *i*-го компоненту відносно *j*-го, що характеризує значення оперативності оброблення інформації щодо стану організацією логістичного провайдера;

φ_{ij} – оператор для врахування взаємовпливу між *i*-м та *j*-м компонентом багатовимірного часового ряду;

F_i – перетворення для отримання $s_i^{(t)}$, i=1,…, N; N – число компонентів багатовимірного часового ряду;

ι – оператор для врахування ступеню поінформованості про стан організації логістичного провайдера.

Із виразу (2) можна зробити висновок, що даний вираз дозволяє описати стан організації логістичного провайдера із урахуванням затримок у часі. Затримки пов'язані зі збором, обробкою та узагальненням інформації, а також необхідності врахування ступеня поінформованості про стан організації логістичного провайдера. Вираз (2) дозволяє описати процеси, які мають як кількісні, так і якісні одиниці вимірювання.

Комплексна оцінка результативності і ефективності функціонування організації логістичного провайдера в рамках стадії моніторингу і контролю організаційної стратегії складається з наступної послідовності дій:

Дія 1. Введення вихідних даних. Вводяться початкові дані про стан організації логістичного провайдера.

Дія 2. Побудова моделі зовнішніх факторів організації логістичного провайдера.

Дія 3. Побудова моделі внутрішніх факторів організації логістичного провайдера.

Дія 4. Побудова нечіткої когнітивної моделі організації логістичного провайдера.

Для реалізації оцінки взаємозв'язків системних факторів, які впливають на результативність і ефективність функціонування організації логістичного провайдера, застосовується нечітка когнітивна модель, рис. 2.

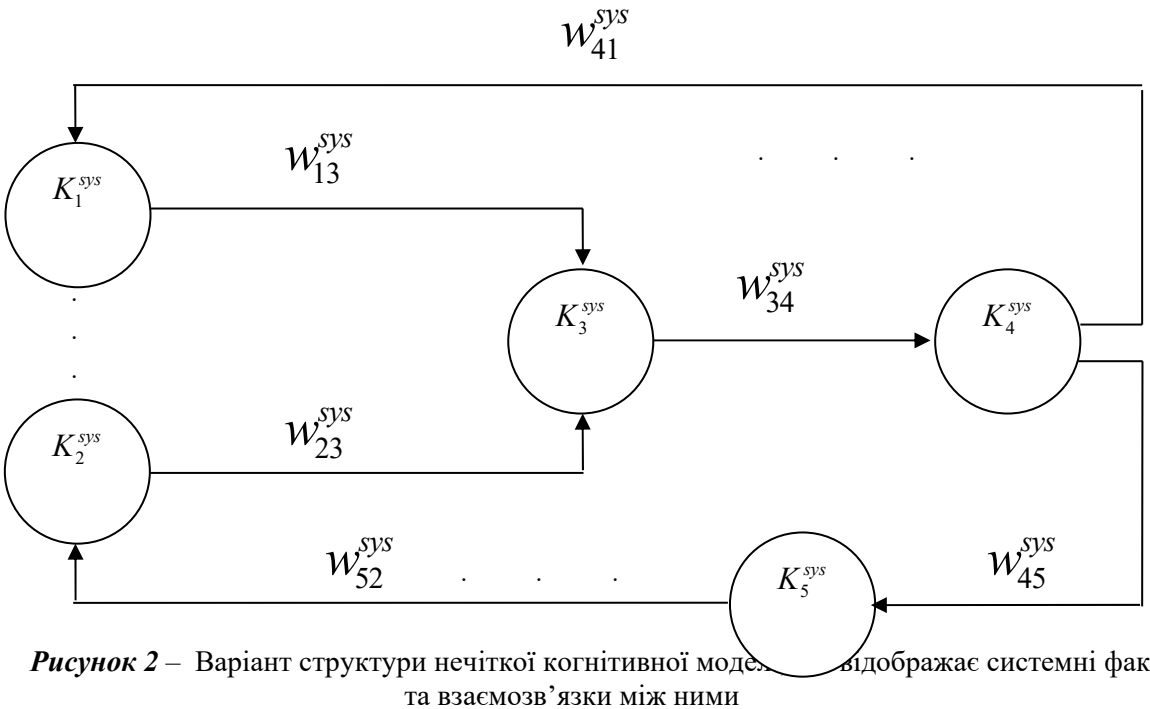


Рисунок 2 – Варіант структури нечіткої когнітивної моделі, що відображає системні фактори та взаємозв'язки між ними

Figure 2 – A variant of the structure of a fuzzy cognitive model, reflecting system factors and the relationships between them

Дана модель дозволяє отримувати вихідні дані для визначення впливу системних факторів на результативність і ефективність функціонування організації логістичного провайдера за допомогою нечітких моделей на основі нечітких нейронних продукційних ANFIC-мереж.

На вербальному рівні завдання оцінювання взаємозв'язків системних факторів функціонування організації логістичного провайдера може бути описано у наступному вигляді:

1) задання множини концептів K_i^{sys}, що характеризують фактори функціонування організації логістичного провайдера;

2) задання множини концептів K_j^{dan}, що характеризують ідентифіковані джерела виникнення ризиків функціонування організації логістичного провайдера;

3) формування структури нечіткої когнітивної моделі оцінювання взаємозв'язків системних факторів $K=(K^{dan}, K^{sys})$ функціонування організації логістичного провайдера;

4) опис стану або значення концептів функціонування організації логістичного провайдера на основі шкали дійсних чисел, що обмежені в діапазоні [–1, 1];

5) визначення способу і задання значення безпосереднього впливу концептів функціонування організації логістичного провайдера один на одного $w_{ij}, K_j^{sys} = w_{ij} K_i^{sys}$;

6) визначення способу акумулювання безпосереднього впливу декількох концептів функціонування організації логістичного провайдера на один $K_j^{sys} = K_j^{sys} + \sum_{j=1}^{N} w_{ij} K_i^{sys}$;

7) визначення механізму опосередкованого впливу концептів функціонування організації логістичного провайдера $K_i \xrightarrow{l} K_q : d_l = \left(K_i, K_{Z_1^l}, K_{Z_1^l}, ..., K_{Z_n^l}, K_q \right), l = 1, ..., m$, де m – можливе число шляхів між концептами K_i й K_q;

8) побудова моделі динаміки функціонування організації логістичного провайдера $K_j^{sys}(t+1) = K_j^{sys}(t) + \sum_{i=1}^{N} w_{ij} K_i^{sys}(t)$.

Для реалізації вищепропонованої комплексної моделі в рамках відповідного математичного забезпечення в дослідженні пропонується використовувати удосконалений метаевристичний алгоритм, заснований на *алгоритмі хаосу ігор*. Зазначений підхід використовується для генерації особин із сильнішою випадковістю та характеристиками, покращеними глобальними можливостями пошуку та зменшеними ймовірностями потрапляння в локальний оптимум.

Дія 1. Введення вихідних даних, що характеризують логістичну діяльність автотранспортних підприємств. В зазначеній дії вводяться вихідні дані, про логістичну діяльність автотранспортного підприємства. Здійснюється ініціація базової моделі логістичної діяльності автотранспортного підприємства. В якості базової моделі використовується модель, запропонована в розділі 5.1 даного дослідження.

Дія 2. Генерація випадкової послідовності агентів пошуку.

Якщо припустити, що є N особин у групі, з яких кожен має d характеристик, і кожна функція має відповідний діапазон значень в інтервалі [$x_{i,\min}^j, x_{i,\max}^j$], значення контролюється в межах допустимого діапазону. Вираз для ініціалізації створення випадкових агентів:

$$x_i^j(0) = x_{i,\min}^j + rand \cdot \left(x_{i,\max}^j - x_{i,\min}^j \right), \begin{cases} i = 1, 2, ..., N \\ j = 1, 2, ..., d \end{cases}, \quad (3)$$

де $x_i^j(0)$ – j-е власне значення в i-ому агенті, $x_{i,\min}^j$ – мінімальний діапазон цього значення, $x_{i,\max}^j$ – максимальний діапазон власного значення, *rand* – випадкове число в інтервалі [0, 1].

Для цієї групи, матриця зав'язків має наступний вигляд:

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_1^2 & \cdots & x_1^j & \cdots & x_1^d \\ x_2^1 & x_2^2 & \cdots & x_2^j & \cdots & x_2^d \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i^1 & x_i^2 & \cdots & x_i^j & \cdots & x_i^d \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_N^1 & x_N^2 & \cdots & x_N^j & \cdots & x_N^d \end{bmatrix} \quad (4)$$

Після отримання агентів, що були ініційовані, проводяться обчислення їх відповідних значень фізичної придатності для кожного агенту.

На кожній ітерації обчислення алгоритму отримуються наступні відомості:

– поточний оптимальний агент для всієї сукупності агентів, записаний як глобально найкращий (ГН);

– випадковим чином обрана частина агентів з усієї сукупності агентів з обчисленим середнім значенням їх придатності (СП);

– обраний на даний момент агент – що є кандидатом рішення X_i. Ці три змінні утворюють тимчасову трикутну область, яка може бути досліджена та оновлена, і здебільшого ГН залишається незмінним.

Дія 3. Генерація двох випадкових агентів для дослідження простору пошуку.

На основі трьох отриманих відомостей генеруються два випадкових агенти для дослідження простору пошуку, що визначають напрямок пріоритетного пошуку. Передбачається, що глобальне оптимальне рішення ГН є постійним протягом усього ітераційного процесу дослідження агентами в просторі пошуку.

Дія 4. Визначення вихідної швидкості пошуку ділянки пошуку агентів.

В ході зазначеної дії визначається вихідна швидкість руху кожного агенту з сукупності агентів:

$$v_i = (v_1, v_2 ... v_S),\ v_i = v_0. \quad (5)$$

Дія 5. Утворення сукупності трикутників в просторі пошуку.

Основною метою створення трикутників пошуку є пошук оптимальних значень у всій ділянці простору пошуку.

На першій ітерації генеруються X_1 і $СП_1$, а трикутник, укладений у ГН, X_1 і $СП_1$, утворює тимчасову ділянку в просторі пошуку, що дозволить виконати пошукове дослідження ділянки пошуку.

На другій ітерації генеруються X_2 і $СП_2$, а трикутник, укладений у ГН, X_2 і $СП_2$, утворює нову тимчасову область пошуку. Далі, i-те покоління X_i і $СП_i$, а також поточне ГН знову містять нову тимчасову ділянку пошуку, дозволяючи не залишити жодну частину цієї ділянки пошуку недослідженою.

До N-ї ітерації, X_N і $СП_N$ генеруються, а поточний ГН охоплює останню тимчасову область пошуку, завершуючи пошуковий обхід цієї ділянки простору пошуку. Хоча глобальне оптимальне

рішення ГН може змінюватися під час ітерацій, генерація X_i і СП$_i$ не пов'язана з поточним глобальним оптимальним рішенням і матиме ефект лише при формуванні тимчасової трикутної області.

Дія 6. Пошук глобального рішення.

Для використання ігрового підходу, присвоїмо кожному значенню кольору кубику відповідну змінну: X_i – синій, СП$_i$ – зелений, а ГН – червоний.

Для першого *Seed* (X_i), оскільки поточне початкове число генерується на основі X_i, кольори, які можна вибрати, є зеленими і червоними, у цього кубика є три зелені сторони і три червоні сторони. При випаданні червоного кольору особини в X_i рухатимуться до ГН, якщо він зелений, особини у X_i будуть рухатися в напрямку СП$_i$, інакше вони рухатимуться в інших напрямках:

$$Seed_i^1 = X_i + \alpha_i \times (\beta_i \times GB - \gamma_i \times MG_i\ ), i = 1, 2, ..., N \tag{5}$$

де X_i – поточне рішення-кандидат, GB – глобальне оптимальне рішення, MG_i – середнє значення агентів у певному діапазоні, β_i та γ_i – випадкове ціле число 0 або 1, яке використовується для моделювання ймовірності кидання кубика і, таким чином, керування напрямком руху агентів, і α_i – випадково згенерований фактор, який використовується для обмеження відстані, на яку переміщуються агенти в методі. Після цього відбувається створення другої особини таким же чином за допомогою ГН:

$$Seed_i^2 = GB + \alpha_i \times (\beta_i \times X_i - \gamma_i \times MG_i\ ), i = 1, 2, ..., N \tag{6}$$

де α_i – випадково згенерований коефіцієнт моделювання обмеження рухів агенту, в той час як β_i і γ_i представляють випадкове ціле число 0 або 1, яке використовується для моделювання ймовірності кидка кубика.

Третя особа буде згенерована з СП$_i$ як початковою точкою, кубики мають три сині сторони і три червоні сторони. Формула для реалізація $Seed_i^3$ виглядає наступним чином:

$$Seed_i^3 = MG_i + \alpha_i \times (\beta_i \times X_i - \gamma_i \times GB), i = 1, 2, ..., N \tag{7}$$

Значення параметрів, що беруть участь у формулі, і принцип напрямку руху такі ж, як для $Seed_i^1$ і $Seed_i^2$.

Для досягнення компромісу між розвідкою та експлуатацією здійснюється керування коефіцієнтом α_i.

$$a_i = \begin{cases} rand \\ (\delta \times rand) + 1 \\ 2 \times rand \\ (\varepsilon \times rand) + (\square\ \varepsilon) \end{cases} \tag{8}$$

де δ і ε – випадкові цілі числа в інтервалі [0,1], а *rand* – рівномірно розподілене випадкове число в інтервалі [0, 1].

Дія 7. Перевірка попадання у глобальний оптимум. На даному етапі перевіряється умова попадання методу у глобальний оптимум по визначеному критерію оцінки ефективності управління логістичною діяльністю автотранспортних підприємств.

Дія 8. Процедура глобального перезапуску.

Якщо популяція агентів залишається незмінною після T ітерацій, популяція швидше за все, впаде в локальний оптимум. Таким чином, рішення кандидату буде ініціалізовано випадковим чином, щоб прискорити вихід із глобального оптимуму.

Дія 9. Навчання баз знань.

В зазначеному дослідженні для навчання баз знань кожного агенту алгоритму використовується метод навчання на основі штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Метод використовується для зміни характеру пересування кожного агенту, для більш точних результатів аналізу в подальшому.

Висновок. Розроблено комплексну, таку що ґрунтується на підходах стратегічного управління і інформаційних технологій, модель для оцінювання стану функціонування організації в контексті результативної і ефективної реалізації стадії моніторингу і контролю стратегічного управління в організації логістичного провайдера.

Перелік посилань

1. Mintzberg, H., Lampel J., Ahlstrand B. Strategy Safari: A Guided Tour Through The Wilds of Strategic Management. Toronto: Free Press. 2001. 416 c.

2. Воркут Т.А., Лущай Ю.В., Севост'янова А.В., Срібна Н.В., Харута В.С. Стратегічно-орієнтоване управління проєктами логістичного аутсорсингу в динамічному зовнішньому середовищі. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51). https://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-1-51-055-073.

3. Niven P.R. Balanced Scorecard Step-By-Step: Maximizing Performance and Maintaining Results. 2nd ed. Hoboren: Wiley, 2006. 336 p.

4. Kaplan R.S., Norton D.P. The Strategy-Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment. Boston: Harvard Business School Press, 2000. 504 p.

5. Kaplan R.S., Norton D.P. Alignment: Using the Balanced Scorecard to Create Corporate Synergies. Boston: Harvard Business School Press, 2006. 320 p.

6. Neave, G. W. (2011). Organization as System: Principles for Building a Sustainable Business by Edwards Deming (2nd ed.). Alpina Publisher..

7. Obruch H., Derbentsev V., Babenko V., Khrustalev K., Khrustalova S. Comparative Performance of Machine Learning Ensemble Algorithms for Forecasting Cryptocurrency Prices. International Journal of Engineering. 2021. Vol 34, No 1. P. 140-148. https://doi.org/10.5829/ije.2021.34.01a.16 .

8. Ko Y.-C., Fujita H. An Evidential Analytics for Buried Information in Big Data Samples: Case Study of Semiconductor Manufacturing. Information Sciences. 2019. Vol. 486. pp. 190–203. https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079

9. Gödri I., Kardos C., Pfeiffer A., Váncza J. Data Analytics-Based Decision Support Workflow for High-Mix Low-Volume Production Systems. CIRP Annals, 68 (1), 471–474. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001

10. Harding J. L. Data Quality in the Integration and Analysis of Data from Multiple Sources: Some Research Challenges. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XL-2/W1. 2013. pp. 59–63. https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013

11. Chen H.. Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. Procedia Computer Science. Vol. 131. 2018. pp. 952–958. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233 12. Osman A. M. S. Novel Big Data Analytics Framework for Smart Cities. Future Generation Computer Systems. 2019. Vol. 91. pp. 620–633. https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046

13. Maccarone A. D., Brzorad J. N., and Stone H. M. Characteristics And Energetics Of Great Egret And Snowy Egret Foraging Flights. Waterbirds. 2008. Vol. 31, No. 4, pp. 541–549. https://doi.org/10.1675/1524-4695-31.4.541.

14. Pérez-González C. J., Colebrook M., Roda-García J. L., Rosa-Remedios C. B. Developing a Data Analytics Platform to Support Decision Making in Emergency and Security Management. Expert Systems with Applications. 2019. Vol. 120. pp. 167–184. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023 .

15. Chan H. K., Sun X., Chung S.-H.. When Should Fuzzy Analytic Hierarchy Process be Used Instead of Analytic Hierarchy Process? Decision Support Systems. 2019. pp. 1–37. https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114 .

16. Tatiana Vorkut, Lyudmila Volynets. DEVISING A METHOD FOR ASSESSING THE EFFICIENCY IN MANAGING LOGISTICS OPERATIONS OF MOTOR TRANSPORT ENTERPRISES. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, – 2024, Vol.6 (3 (132), 17–24. https://doi.org/10.15587/17294061.2024.317567.

MODEL FOR ASSESSMENT OF THE STATUS OF FUNCTIONING OF A LOGISTICS PROVIDER ORGANIZATION IN THE PROCESSES OF ORGANIZATIONAL STRATEGIC MANAGEMENT

Vorkut Tetyana A., Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor National Transport University, Kyiv, Ukraine, vorkutt@ukr.net, *(+38 044) 254-43-26,* http://orcid.org/0000-0003-0354-476X.

Volynets' Lyudmyla M., PhD, professor, National Transport University, professor of Department of transport Law and Logistics, e-mail: Volinec_3@ukr.net , tel. +380979022993, http://orcid.org /0000-0002-5064-2349.

Summary. The relevance of the research topic is due to the need to develop a model for assessing the state of functioning of the organization of the logistics provider in the processes of organizational strategic management.

The purpose of the research is to develop a comprehensive model for assessing the state of the organization's functioning in the context of effective and efficient implementation of the monitoring and control stage of strategic management in the logistics provider's organization.

The object of research is the process of organizational strategic management.

The subject of the study is methods, models and mechanisms for assessing the state of the organization's functioning for the purposes of strategic management.

The article substantiates that today in strategic management methods and models of organization evaluation usually consider the conceptual issues of the formation of appropriate evaluation systems, but leave aside the issue of the implementation of appropriate systems, in particular, in terms of information support.

In terms of solving the problem of developing complex models that take into account both the methodological aspects of the actual strategic management process and the information support of this process, it is relevant to conduct an analysis of the mathematical apparatus, which is based on the use of the theory of artificial intelligence.

Develops a comprehensive model based on strategic management and information technology approaches for assessing the state of the organization's functioning in the context of effective and efficient implementation of the monitoring and control stage of strategic management in the organization of a logistics provider.

Key words: logistics provider organization, strategic management, information technologies, monitoring, control.

References

1. Mintzberg, H., Lampel, J., Ahlstrand, B. (2001). Strategy Safari: A Guided Tour Through The Wilds of Strategic Mangament. Toronto: The Free Press, 416.

2. Vorkut, T. A., Lushchai, Yu. V., Sevostianova, A. V., Sribna, N. V., & Haruta, V. S. (2022). Stratehichno-oriientovane upravlinnia proiektamy lohistychnoho autsorsynhu v dynamichnomu zovnishnomu

seredovyshchi [Strategically-oriented management of logistics outsourcing projects in a dynamic external environment]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriia «Tekhnichni nauky» [Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences"], (1)51, 55-73. https://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-1-51-055-073.

3. Niven, P. R. (2006). Balanced scorecard step-by-step: Maximizing performance and maintaining results (2nd ed.). Wiley. 336 p.

4. Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2000). The strategy-focused organization: How balanced scorecard companies thrive in the new business environment. Harvard Business School Press. 504 p.

5. Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2006). Alignment: Using the balanced scorecard to create corporate synergies. Harvard Business School Press. 320 p.

6. Neave, G. W. (2011). Organization as System: Principles for Building a Sustainable Business by Edwards Deming (2nd ed.). Alpina Publisher.

7. Obruch H., Derbentsev V., Babenko V., Khrustalev K., Khrustalova S. (2021). Comparative Performance of Machine Learning Ensemble Algorithms for Forecasting Cryptocurrency Prices. International Journal of Engineering, 34 (1), 140–148. https://doi.org/10.5829/ije.2021.34.01a.16

8. Ko Y.-C., Fujita H. (2019). An Evidential Analytics for Buried Information in Big Data Samples: Case Study of Semiconductor Manufacturing. Information Sciences. Vol. 486. pp. 190–203. https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079

9. Gödri I., Kardos C., Pfeiffer A., Váncza J. (2019). Data Analytics-Based Decision Support Workflow for High-Mix Low-Volume Production Systems. CIRP Annals, 68 (1), 471–474. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001

10. Harding J. L. (2013). Data Quality in the Integration and Analysis of Data from Multiple Sources: Some Research Challenges. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XL-2/W1, 59–63. https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013

11. Chen H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. Procedia Computer Science, 131, 952–958. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233

12. Osman A. M. S. (2019). Novel Big Data Analytics Framework for Smart Cities. Future Generation Computer Systems. Vol. 91. pp. 620–633. https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046

13. Maccarone A. D., Brzorad J. N., and Stone H. M. (2008). Characteristics And Energetics Of Great Egret And Snowy Egret Foraging Flights. Waterbirds. Vol. 31, No. 4, pp. 541–549. https://doi.org/10.1675/1524-4695-31.4.541

14. Pérez-González C. J., Colebrook M., Roda-García J. L., Rosa-Remedios C. B. (2019). Developing a Data Analytics Platform to Support Decision Making in Emergency and Security Management. Expert Systems with Applications. 2019. Vol. 120. pp. 167–184. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023 .

15. Chan H. K., Sun X., Chung S.-H. (2019).When Should Fuzzy Analytic Hierarchy Process be Used Instead of Analytic Hierarchy Process? Decision Support Systems. 125, 113-114. https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114 .

16. Tatiana Vorkut, Lyudmila Volynets. (2024). DEVISING A METHOD FOR ASSESSING THE EFFICIENCY IN MANAGING LOGISTICS OPERATIONS OF MOTOR TRANSPORT ENTERPRISES. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol.6 (3 (132), 17–24. https://doi.org/10.15587/17294061.2024.317567

УДК 629.083:658.5
UDC 629.083:658.5

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.1-306-326

ФІНАНСОВА МОДЕЛЬ ПІДПРИЄМСТВА АВТОСЕРВІСУ

FINANCIAL MODEL FOR A MOTOR VEHICLE SERVICE ENTERPRISE



Андрусенко Сергій Іванович, *Заслужений працівник освіти України, кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: sergeandrusenko@gmail.com,

https://orcid.org/0000-0002-9914-0200



Бугайчук Олександр Сергійович, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: bug_os@ukr.net

https://orcid.org/0000-0001-8646-6263



Подпіснов Владислав Сергійович*, старший викладач кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: vpodpisnov@ukr.net

https://orcid.org/0000-0002-8583-1502



Дикий Владислав Сергійович, *магістр, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: vladislav.dykyi@gmail.com*

https://orcid.org/0009-0003-7084-8672

Анотація: У статті запропонована фінансова модель підприємства автосервісу та надані приклади її застосування.

Об'єкт дослідження – процес функціонування підприємства автосервісу.

Мета статті – розробка адаптованої фінансової моделі для підприємств автосервісу, що дозволяє оцінювати перспективність стартапів, стратегічне планування та розвиток бізнесу. Автори пропонують комплексний підхід, який враховує доходи, витрати, грошові потоки, а також інвестиційну привабливість.

Методи дослідження – математичне моделювання процесів.

Запропонована фінансова модель дозволяє оцінити прийнятність інвестиційного проекту створення підприємства автосервісу або вдосконалення окремих аспектів його діяльності. Під час використання моделі можна оцінити показники економічної ефективності, що не враховують фактор часу, до яких належать: норма прибутку, період окупності початкових інвестицій, рентабельність проекту, а також показники проектів, реалізація яких передбачає значний період часу. В такому разі використовуються показники, що враховують фактор часу: чиста теперішня вартість (ЧТВ), період окупності з урахуванням фактору часу, внутрішня норма доходу (ВНД). Розрахунок деяких таких показників наведений вище у статті.

Основні аспекти фінансової моделі:

1) прогнозування доходів і витрат: оцінка річної виробничої програми, трудомісткості, доходів та витрат для обґрунтування економічної доцільності;

2) аналіз ефективності: методика включає розрахунок таких показників, як чистий прибуток, рентабельність, точка беззбитковості, період окупності проекту;

3) оцінка ризиків: використання аналізу чутливості для виявлення ключових факторів, які впливають на прибутковість.

Результати:

1) модель дозволяє аналізувати проекти з різним ступенем ризику та враховувати часовий фактор.

2) модель передбачає визначення економічної ефективності за допомогою таких показників, як чиста теперішня вартість (NPV), внутрішня норма доходу (IRR), а також показників, що не враховують дисконтні ставки.

Практичне значення: результати дослідження мають практичну цінність для підприємств автосервісу. Прогнозування на основі моделі допомагає обґрунтовувати інвестиції, оптимізувати витрати та забезпечувати стабільність бізнесу.

Перспективи дослідження: подальші дослідження спрямовані на вдосконалення моделі, розробку методик оцінки ризиків та прогнозування залежно від змін економічних умов.

Ключові висновки:

1) фінансова модель є ефективним інструментом для прийняття управлінських рішень;

2) інтеграція методик оцінки економічної ефективності дозволяє знизити ризики інвестування та оптимізувати діяльність підприємств автосервісу.

Ключові слова: підприємство автосервісу, фінансова модель, дохід, витрати, прибуток, ефективність, маржа, період окупності, чиста теперішня вартість, ризики, точка беззбитковості.

Вступ. Підприємства автомобільного сервісу належать до малих та середніх підприємств за обсягами діяльності.

Створення і функціонування малих підприємств відіграє важливу роль у підвищенні зайнятості та добробуту населення з низки причин, таких як створення нових робочих місць, розвиток підприємництва та самозайнятості, забезпечення населення товарами та послугами, збільшення доходів населення, розвиток місцевої економіки, соціальна стабільність, інновації та конкуренція.

Країни з розвиненою системою підтримки малого бізнесу демонструють вищі показники зайнятості, рівня життя та економічного розвитку. У країнах з розвиненою економікою, таких як США, Німеччина та Японія, малі та середні підприємства відіграють ключову роль у створенні робочих місць та економічному зростанні. Багато країн, що розвиваються активно підтримують розвиток малого підприємництва як важливого інструменту боротьби з бідністю і безробіттям. Підсумовуючи, можна сказати, що створення малих підприємств є важливим фактором підвищення зайнятості та добробуту населення, що сприяє розвитку економіки, соціальній стабільності та інноваційній діяльності. Державна підтримка малого бізнесу, створення сприятливого бізнес-клімату та доступ до фінансів відіграють важливу роль у розвитку цього сектору економіки.

Фінансова модель підприємства – це інструмент, який дозволяє спрогнозувати фінансовий стан бізнесу в майбутньому на основі наявних даних та припущень. Він являє собою систему взаємопов'язаних таблиць і розрахунків, які відображають доходи, витрати, грошові потоки, активи і пасиви компанії.

Фінансова модель виконує безліч важливих для підприємства функцій:

– **прогнозування та планування:** модель дозволяє спрогнозувати майбутні фінансові результати діяльності компанії, такі як виручка, прибуток, грошовий потік. Це необхідно для розробки бізнес-планів, бюджетів і стратегічного планування;

– **оцінка інвестиційної привабливості:** інвестори та кредитори використовують фінансову модель для оцінки потенційної прибутковості та ризиків інвестування в компанію. Модель дозволяє побачити, як будуть змінюватися фінансові показники за різних сценарієв розвитку;

– **прийняття управлінських рішень:** фінансова модель допомагає приймати обґрунтовані рішення у сфері ціноутворення, управління витратами, інвестиційної політики, фандрейзингу та інших аспектів діяльності компанії;

– **аналіз чутливості:** модель дозволяє оцінити, як зміни ключових параметрів (наприклад, продажі, ціни, витрати) вплинуть на фінансові результати компанії. Це допомагає виявити найважливіші фактори, які впливають на прибутковість і стійкість бізнесу;

– **контроль і моніторинг:** за допомогою фінансової моделі можна відстежувати фактичні результати діяльності компанії та порівнювати їх із плановими показниками. Це дозволяє своєчасно виявляти відхилення і вживати коригувальних заходів;

– **оцінка бізнесу:** фінансова модель може бути використана для оцінки поточної вартості компанії, що має важливе значення під час злиття та поглинання, продажу бізнесу або залучення інвестицій.

Фінансова модель особливо важлива в таких ситуаціях:

– **запуск нового бізнесу або проекту:** модель допомагає оцінити потенційну прибутковість і ризики нового підприємства;

– **залучення інвестицій або кредитів:** інвесторам і кредиторам потрібна фінансова модель для оцінки доцільності інвестицій;

– **зміна бізнес-стратегії:** модель дозволяє оцінити вплив зміни бізнес-моделі, виходу на нові ринки або запуску нових продуктів;

– **злиття та поглинання:** модель використовується для оцінки вартості придбаної компанії та аналізу синергії;

– **кризові ситуації:** модель допомагає розробляти антикризові заходи та прогнозувати наслідки різних сценаріїв.

Підсумовуючи, можна сказати, що фінансова модель є незамінним інструментом для будь-якого підприємства, яке прагне до успіху та стійкості. Це допомагає приймати обґрунтовані рішення, планувати майбутнє та контролювати поточну діяльність.

Для оцінки привабливості інвестиційного проекту для розвитку невеликого підприємства автосервісу може використовуватися кілька моделей, кожна з яких має свої особливості та переваги. Вибір конкретної моделі залежить від цілей оцінки, наявної інформації, складності проекту. Розглянемо найбільш підходящі варіанти [1, 2].

1. **Метод чистої приведеної вартості (NPV).** NPV показує різницю між теперішньою вартістю майбутніх грошових потоків від проекту і початковими інвестиціями. Теперішня вартість враховує вартість грошей у часі, тобто той факт, що гроші сьогодні коштують більше, ніж ті ж гроші в майбутньому. Для використання методу необхідно спрогнозувати майбутні грошові потоки від проекту (дохід мінус витрати) протягом терміну його реалізації. Потім ці потоки дисконтуються до поточної точки за допомогою ставки дисконтування, яка відображає необхідний інвестором дохід або вартість капіталу. Якщо NPV більше нуля, проект вважається привабливим, оскільки буде приносити дохід вище необхідної ставки. Перевагою методу є те, що він враховує вартість грошей у часі. Метод є найбільш поширеним і зрозумілим для інвесторів. Недоліком є необхідність точного прогнозування грошових потоків та вибір ставки дисконтування, що може бути складним для малого бізнесу.

2. **Термін окупності.** Термін окупності показує проміжок часу, за який інвестиції в проект будуть повністю оплачені за рахунок генерованих ним грошових потоків. Для використання необхідно розрахувати, скільки часу буде потрібно для накопичення суми грошових потоків, що дорівнює початковим вкладенням. Чим менше термін окупності, тим привабливіше проект. Це простий і зрозумілий метод, який показує швидкість повернення інвестицій, проте не враховує зміни вартості грошей у часі й грошові потоки після закінчення терміну окупності.

3. **Дисконтований термін окупності** враховує тимчасову вартість грошей за рахунок дисконтування грошових потоків. У разі використання методу потрібно дисконтувати майбутні грошові потоки і розрахувати, скільки часу знадобиться, щоб накопичити дисконтовану суму, що дорівнює початковим інвестиціям. Враховує вартість грошей у часі. Не враховує грошові потоки після закінчення терміну окупності.

4. **Аналіз чутливості.** Метод дозволяє оцінити, як зміни ключових параметрів проекту (наприклад, продажі, ціни, витрати) вплинуть на його фінансові показники (наприклад, NPV, IRR). Під час використання потрібно змінювати значення ключових параметрів в моделі і подивитись, як це впливає на результати. Це допомагає виявити найбільш важливі фактори, що впливають на прибутковість проекту, і оцінити його ризики. Дозволяє оцінити стійкість проекту до змін у зовнішньому середовищі. Не дає кількісної оцінки ймовірності зміни параметрів.

У разі використання різних методів необхідно враховувати додаткові фактори, такі як кон'юнктура ринку (поточна ситуація на ринку автосервісів, рівень конкуренції, попит на послуги тощо), **технологічні зміни** (можливість нових технологій та обладнання, які можуть вплинути на бізнес), **кваліфікація персоналу** (є важливим фактором успіху бізнесу автосервісу), **місцезнаходження** (розташування автосервісу відіграє важливу роль у залученні клієнтів).

Спільне використання різних методів оцінки та врахування додаткових факторів дозволить прийняти зважене рішення про інвестування в розвиток вашого автосервісу.

Відмітимо, що для малого бізнесу варто почати з простих і зрозумілих моделей. Важливо пам'ятати, що фінансова модель – це не статичний документ, а живий інструмент, який потрібно регулярно оновлювати та коригувати відповідно до змін у бізнесі. Виходячи з цього адаптація фінансових та економічних моделей діяльності до потреб малих та середніх підприємств є важливою задачею.

Матеріали та методи. Застосоване математичне моделювання процесів як метод дослідження. Джерелами дослідження є набутий досвід аналізу діяльності підприємств взагалі і виконання розрахунків підприємств автомобільного сервісу зокрема, описаний у наукових і навчально-методичних працях авторів.

Метою роботи є розробка адаптованої фінансової моделі підприємства автосервісу для оцінки перспективності стартапів у цій галузі та напрямів розвитку бізнесу, які дозволять спрогнозувати майбутні фінансові результати діяльності компанії, такі як виручка, прибуток, грошовий потік, що необхідно для розробки бізнес-планів, бюджетів і стратегічного планування.

Для досягнення вищеозначеної мети роботи мають бути вирішені наступні завдання:

– розробити адаптовану модель для аналізу діяльності підприємства автосервісу;

– визначити необхідні дані для розрахунку;

– показати можливості застосування моделі для аналізу діяльності підприємства.

Виклад основного матеріалу. Під час моделювання використовувався набутий досвід аналізу діяльності підприємств взагалі [1–10] і виконання розрахунків підприємств автомобільного сервісу зокрема, описаний в [11–16].

Основними складовими фінансової моделі є:

– **вхідні дані:** припущення щодо майбутніх завантаження, продажів, доходів, витрат, цін та інших факторів;

– **прогноз доходів і витрат:** розрахунок доходів і витрат на основі вихідних даних;

– **прогноз грошових потоків;**

– **ключові показники:** розрахунок фінансових показників, таких як прибуток, рентабельність, нормативи адміністративних та загальновиробничих витрат, постійні та змінні витрати, маржа, точка беззбитковості, період окупності.

Основа для формування фінансової моделі підприємства автомобільного сервісу описана в [11, 14].

На базі аналізу визначаються потенційна ємність ринку автосервісу та прогнозна частина ринку, яку планується освоїти, гіпотетичне річне завантаження підприємства роботою з технічного обслуговування та ремонту автомобілів і продажу запасних частин та матеріалів.

Розрахунок проводиться в такій послідовності:

– визначення виробничої програми підприємства на основі прогнозу щодо можливого річного завантаження; за одиницю роботи підприємства береться можлива кількість проданих нормо-годин;

– виконання технологічного розрахунку підприємства, на основі якого визначаються потрібні початкові інвестиції в проект;

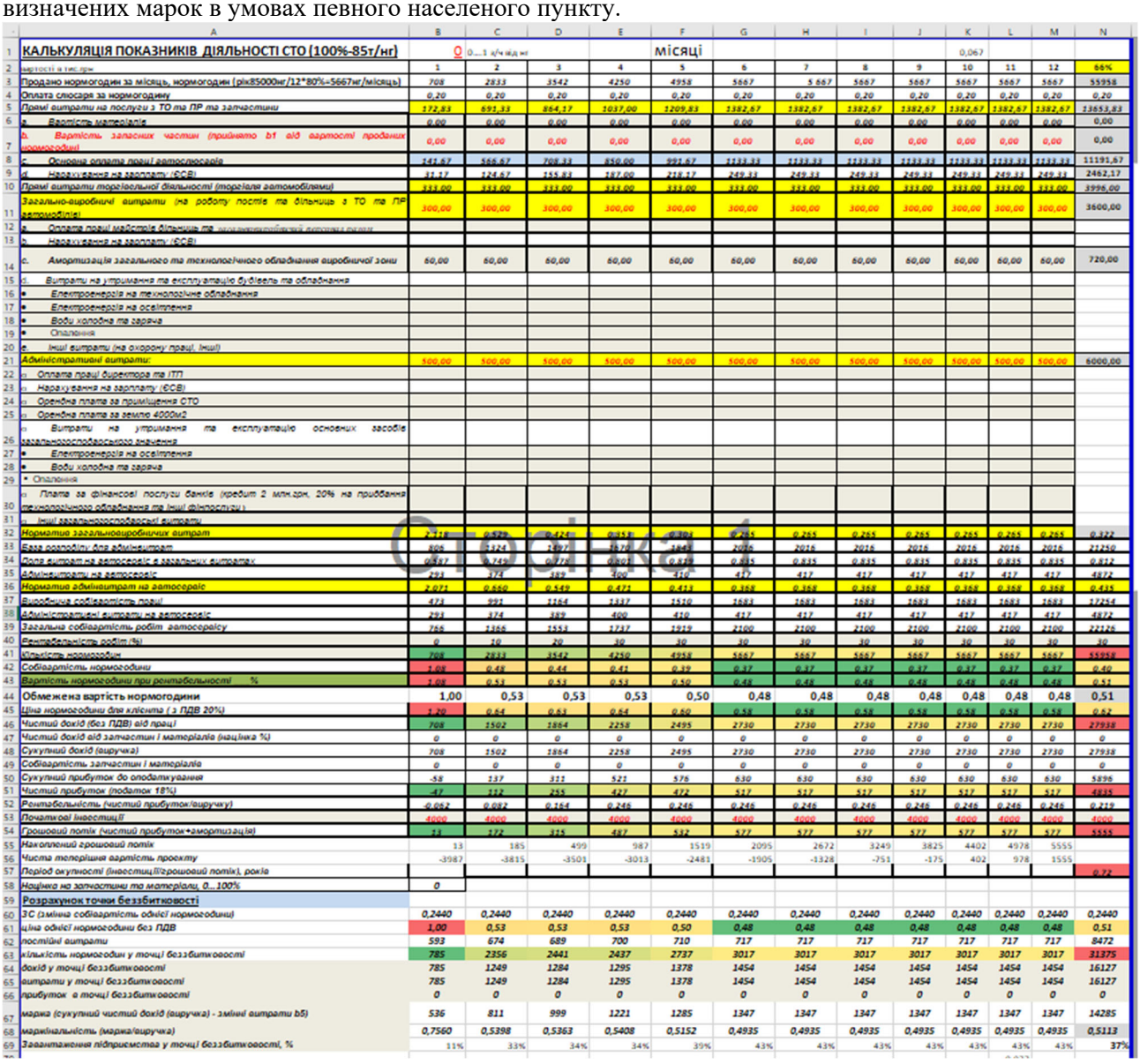
– виконання розрахунку річної суми поточних витрат функціонування підприємства;

– визначення річних сум доходу, чистого доходу і чистого прибутку підприємства;

– розрахунок точки беззбитковості роботи підприємства;

– визначення очікуваних грошових потоків за кожний рік розрахункового періоду, показників ефективності початкових інвестицій, терміну окупності проекту.

Важливим параметром подальшого успіху підприємства є кількість клієнтів, яка може бути залучена до обслуговування, і, відповідно, потужність станції у нормо-годинах. Визначення цих параметрів є складною задачею. Зазвичай цим займаються маркетологи. Зрозуміло, що ця величина не може бути більшою за потенційну ємність ринку. Також частину відбирають конкуренти. Оскільки метою дослідження є вдосконалення методики розрахунку, то для прикладу розрахунку оберемо як максимальну завантаженість СТО величину у 85000 нормо-годин для обслуговування автомобілів визначених марок в умовах певного населеного пункту.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	КАЛЬКУЛЯЦІЯ ПОКАЗНИКІВ ДІЯЛЬНОСТІ СТО (100%-85т/нг)	0	0...1			Місяці					0,067			
2	вартості в тис.грн	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	66%
3	Продано нормогодин за місяць, нормогодин (pik85000нг/12*80%-5667нг/місяць)	708	2833	3542	4250	4958	5667	5 667	5667	5667	5667	5667	5667	55958
4	Оплата слюсаря за нормогодину	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
5	Прямі витрати на послуги з ТО та ПР та запчастини	172,83	691,33	864,17	1037,00	1209,83	1382,67	1382,67	1382,67	1382,67	1382,67	1382,67	1382,67	13653,83
6	a. Вартість матеріалів	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	b. Вартість запасних частин (прийнято b1 від вартості проданих нормогодин)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	c. Основна оплата праці автослюсарів	141,67	566,67	708,33	850,00	991,67	1133,33	1133,33	1133,33	1133,33	1133,33	1133,33	1133,33	11191,67
9	d. Нарахування на зарплату (ЄСВ)	31,17	124,67	155,83	187,00	218,17	249,33	249,33	249,33	249,33	249,33	249,33	249,33	2462,17
10	Прямі витрати торгівельної діяльності (торгівля автомобілями)	333,00	333,00	333,00	333,00	333,00	333,00	333,00	333,00	333,00	333,00	333,00	333,00	3996,00
11	Загально-виробничі витрати (на роботу постів та більниць з ТО та ПР автомобілів)	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	3600,00
12	a. Оплата праці майстрів більниць та													
13	b. Нарахування на зарплату (ЄСВ)													
14	c. Амортизація загального та технологічного обладнання виробничої зони	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	720,00
15	d. Витрати на утримання та експлуатацію будівель та обладнання													
16	• Електроенергія на технологічне обладнання													
17	• Електроенергія на освітлення													
18	• Води холодна та гаряча													
19	• Опалення													
20	e. Інші витрати (на охорону праці, інші)													
21	Адміністративні витрати:	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	6000,00
22	a. Оплата праці директора та ІТП													
23	b. Нарахування на зарплату (ЄСВ)													
24	c. Орендна плата за приміщення СТО													
25	d. Орендна плата за землю 4000м2													
26	e. Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів загальногосподарського значення													
27	• Електроенергія на освітлення													
28	• Води холодна та гаряча													
29	• Опалення													
30	f. Плата за фінансові послуги банків (кредит 2 млн.грн. 20% на придбання технологічного обладнання та інші фінпослуги)													
31	g. Інші загальногосподарські витрати													
32	Норматив загальновиробничих витрат	2,118	0,529	0,424	0,353	0,303	0,265	0,265	0,265	0,265	0,265	0,265	0,265	0,322
33	База розподілу для адміністрат	806	3174	3967	4760	5553	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	21250
34	Доля витрат на автосервіс в загальних витратах	0,587	0,749	0,776	0,801	0,818	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,835	0,812
35	Адміністрати на автосервіс	293	374	387	400	410	417	417	417	417	417	417	417	4872
36	Норматив адміністрат на автосервіс	2,071	0,660	0,549	0,471	0,413	0,368	0,368	0,368	0,368	0,368	0,368	0,368	0,435
37	Виробнича собівартість робіт	473	991	1164	1337	1510	1683	1683	1683	1683	1683	1683	1683	17254
38	Адміністративні витрати на автосервіс	293	374	387	400	410	417	417	417	417	417	417	417	4872
39	Загальна собівартість робіт автосервісу	766	1366	1553	1737	1919	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	22126
40	Рентабельність робіт (%)	0	10	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
41	Кількість нормогодин	708	2833	3542	4250	4958	5667	5667	5667	5667	5667	5667	5667	55958
42	Собівартість нормогодини	1,08	0,48	0,44	0,41	0,39	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,40
43	Вартість нормогодини при рентабельності %	1,08	0,53	0,53	0,53	0,50	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,51
44	Обмежена вартість нормогодини	1,00	0,53	0,53	0,53	0,50	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,51
45	Ціна нормогодини для клієнта (з ПДВ 20%)	1,20	0,64	0,63	0,64	0,60	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,62
46	Чистий дохід (без ПДВ) від праці	708	1502	1864	2258	2495	2730	2730	2730	2730	2730	2730	2730	27938
47	Чистий дохід від запчастин і матеріалів (націнка %)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	Сукупний дохід (виручка)	708	1502	1864	2258	2495	2730	2730	2730	2730	2730	2730	2730	27938
49	Собівартість запчастин і матеріалів	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	Сукупний прибуток до оподаткування	-58	137	311	521	576	630	630	630	630	630	630	630	5896
51	Чистий прибуток (податок 18%)	-47	112	255	427	472	517	517	517	517	517	517	517	4835
52	Рентабельність (чистий прибуток/виручку)	-0,062	0,082	0,164	0,246	0,246	0,246	0,246	0,246	0,246	0,246	0,246	0,246	0,219
53	Початкові інвестиції	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
54	Грошовий потік (чистий прибуток+амортизація)	13	172	315	487	532	577	577	577	577	577	577	577	5555
55	Накопичений грошовий потік	13	185	499	987	1519	2095	2672	3249	3825	4402	4978	5555	
56	Чиста теперішня вартість проекту	-3987	-3815	-3501	-3013	-2481	-1905	-1328	-751	-175	402	978	1555	
57	Період окупності (інвестиції/грошовий потік), років													0,72
58	Націнка на запчастини та матеріали, 0...100%	0												
59	Розрахунок точки беззбитковості													
60	ЗС (зміна собівартість однієї нормогодини)	0,2440	0,2440	0,2440	0,2440	0,2440	0,2440	0,2440	0,2440	0,2440	0,2440	0,2440	0,2440	0,2440
61	ціна однієї нормогодини без ПДВ	1,00	0,53	0,53	0,53	0,50	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,51
62	постійні витрати	593	674	689	700	710	717	717	717	717	717	717	717	8472
63	кількість нормогодин у точці беззбитковості	785	2356	2441	2437	2737	3017	3017	3017	3017	3017	3017	3017	31375
64	дохід у точці беззбитковості	785	1249	1284	1295	1378	1454	1454	1454	1454	1454	1454	1454	16127
65	витрати у точці беззбитковості	785	1249	1284	1295	1378	1454	1454	1454	1454	1454	1454	1454	16127
66	прибуток в точці беззбитковості	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	маржа (сукупний чистий дохід (виручка) - змінні витрати b5)	536	811	999	1221	1285	1347	1347	1347	1347	1347	1347	1347	14285
68	маржинальність (маржа/виручка)	0,7560	0,5398	0,5363	0,5408	0,5152	0,4935	0,4935	0,4935	0,4935	0,4935	0,4935	0,4935	0,5113
69	Завантаження підприємства у точці беззбитковості, %	11%	33%	34%	34%	39%	43%	43%	43%	43%	43%	43%	43%	37%

Рисунок 1 – Загальний вигляд фінансової моделі підприємства автомобільного сервісу

Figure 1 – General structure of the financial model for a motor vehicle service enterprise

За таких даних виконаний технологічний розрахунок виробничо-технічної бази СТО за методикою [11, 12, 15] і отримані наступні параметри підприємства, які наведені нижче і в таблиці на рисунку 1:

СТО має такі параметри, отримані під час технологічного розрахунку:

– загальна трудомісткість робіт із ТО та ПР – 85 000 люд.-год;

– трудомісткість допоміжних робіт – 21 000 люд.-год;

– кількість постів із ТО та ПР – 14;

– кількість допоміжних постів – 5;

– кількість автомобільних місць – 106;

– кількість виробничих робітників – 48;

– кількість допоміжних робітників – 14;

– чисельність ІТП, службовців, обслуговуючого персоналу – 16;

– параметри виробничих приміщень:

пости – 720 м^2; висота – 6 м; об'єм – 4320 м^3;

дільниці – 240 м^2; висота – 3 м; об'єм – 720 м^3;

– параметри складських приміщень:

площа –1200 м^2; висота 6 м; об'єм – 72000 м^3;

– параметри адміністративних та допоміжних приміщень:

площа – 275 м^2; висота – 3 м; об'єм – 825 м^3;

– кількість днів роботи СТО за рік – 355;

– кількість змін роботи – 1,5;

– тривалість зміни, годин – 8.

На підставі цих даних виконаний розрахунок:

– початкових інвестицій на підставі даних про початкові капітальні вкладення і початковий дохід підприємства;

– річної суми поточних витрат функціонування підприємства;

– річної суми доходу, чистого доходу і чистого прибутку підприємства;

– точки беззбитковості роботи підприємства;

– очікуваних грошових потоків за кожний місяць розрахункового періоду, показників ефективності початкових інвестицій, терміну окупності проекту.

Розрахунок наведених вище параметрів роботи підприємства передбачений в запропонованій фінансовій моделі, що наведена на рисунку 1.

Фінансова модель призначена для обґрунтування доцільності реалізації проектів створення нового підприємства автосервісу або впровадження нових видів діяльності в існуючому підприємстві з метою визначення ефективності заходів що планується здійснити.

Для розрахунку у межах фінансової моделі важливим є визначення нормативів розподілу накладних витрат і калькуляція собівартості діяльності.

На підставі ст. 8 Закону «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні» підприємство самостійно розробляє систему і форму внутрішньогосподарського (управлінського) обліку. Управлінський облік переважно полягає в обліку і контролі за витратами підприємства. Процес визначення (обчислення) собівартості конкретного об'єкта витрат називається калькулюванням.

Об'єктом витрат (одиницею калькулювання) можуть бути: одиниця або партія продукції, робота, послуга, продуктова лінія, структурний підрозділ, вид діяльності підприємства, власне клієнт, будь-який інший предмет чи сегмент діяльності, який потребує вимірювання витрат.

Залежно від характеру участі у процесі виробництва продукції (надання послуг) витрати поділяються на основні (прямі) та накладні (непрямі).

Основні (прямі) витрати пов'язані з безпосереднім виконанням технологічних операцій із виробництва продукції (робіт, послуг), а накладні (непрямі) – з управлінням та обслуговуванням діяльності підрозділу (бригади, цеху тощо), галузі чи господарства загалом.

До непрямих витрат належать витрати, пов'язані з випуском (наданням) одночасно кількох або всіх видів продукції (послуг) одного і того ж суб'єкта господарювання.

Ставкою розподілу накладних витрат буде **відношення суми накладних витрат до бази їхнього розподілу** (вартості основної робочої сили, машино-годин, людино-годин, кількості продукції тощо). Якщо підприємство групує витрати за окремими видами робіт, то спочатку доцільно визначити питому вагу тих чи інших накладних витрат, яка припадає на кожен окремий вид робіт.

Для СТО, діяльність яких пов'язана з виконанням великої кількості послуг із ТО та ремонту автомобілів, оптимальним методом калькулювання є позаказний метод. Замовлення оформлюється на конкретну послугу, а накладні витрати включаються у вартість замовлення відповідно до визначених нормативів.

Вартість послуг із ремонту та обслуговування автомобілів, згідно з вимогами чинного законодавства, необхідно зазначати у прейскуранті. Звичайно, при його складанні передбачити усі види ремонтних робіт неможливо. Прейскурант цін на послуги з ремонту автомобілів та їх обслуговування може включати найбільш типові з них. Прейскурант можна складати для типових, однакових за своїм змістом та трудомісткістю робіт, наприклад, ТО-1, ТО-2, балансування коліс, регулювання кутів встановлення коліс і т. ін.

Важливим при цьому стане визначення прямих витрат і розрахунок нормативів непрямих витрат, включених у калькуляцію. Зазначені нормативи розраховуються відносно якогось показника прямих витрат: основної заробітної плати виробничих робітників, вартості основних матеріалів, амортизації устаткування тощо. Для СТО найбільш зручною базою розрахунку нормативів непрямих витрат є основна заробітна плата виробничих робітників.

Вартість інших послуг, не включених до прейскуранта, можна визначити виходячи з вартості однієї нормо-години послуг, яка також зазначається у прейскуранті. Тоді вартість конкретної роботи визначається як сума множення кількості нормо-годин, які необхідно витратити на виконання цієї роботи, на вартість однієї нормо-години надання послуг і вартості матеріалів та запасних частин, використаних під час виконання роботи.

Вартість однієї нормо-години можна розрахувати на підставі звітних або розрахункових даних як відношення обсягу виконаних послуг (за вирахуванням вартості прямих матеріальних витрат) до трудомісткості наданих упродовж звітного періоду послуг із технічного обслуговування та ремонту автомобілів.

Розглянемо склад витрат і порядок калькулювання вартості послуг із ТО та ремонту автомобілів для СТО, яка обслуговує автомобілі одного бренду.

СТО до складу витрат включають такі.

1. **Прямі витрати автосервісу.**

1.1. Прямі витрати на послуги з ремонту автомобілів:

– вартість експлуатаційних та інших матеріалів, використаних при наданні послуг;

– вартість запасних частин;

– оплата праці слюсарів із ремонту автомобілів;

– інші прямі витрати (відрахування на соціальні заходи і т. ін.);

– єдиний соціальний внесок (ЄСВ);

– амортизація або орендна плата за інфраструктуру та обладнання;

– інші прямі витрати.

1.2. Прямі витрати торгової діяльності (окремо не розраховувалися):

– оплата праці менеджерів із продажу автомобілів;

– єдиний соціальний внесок (ЄСВ);

– амортизація будівель та обладнання;

– інші прямі витрати (витрати на експлуатацію інфраструктури, передпродажну підготовку автомобілів тощо).

2. **Загальновиробничі витрати** (виділяються лише загальновиробничі витрати цеху з ремонту автомобілів):

– оплата праці майстрів дільниць;

– додаткова заробітна плата слюсарів із ремонту автомобілів (оплата відпусток, доплата за керівництво бригадою і тощо);

– амортизація будівлі й устаткування цеху;

– витрати на утримання, експлуатацію і ремонт будівлі та устаткування цеху (вартість матеріалів, електроенергії, води, запасних частин, оплата роботи слюсарів із ремонту устаткування, відрахування на соціальні заходи тощо);

– інші витрати (відрахування на соціальні заходи, витрати на охорону праці і техніку безпеки, недостачі і втрати від псування матеріальних цінностей, оплата простоїв тощо).

Визначивши склад загальновиробничих витрат, їх необхідно розділити на постійні та змінні. Але виділити із загальновиробничих витрат СТО якісь постійні витрати досить складно, оскільки вони в тому чи іншому ступені залежать від обсягу наданих послуг; більшість СТО визнає всі загальновиробничі витрати змінними.

3. **Адміністративні витрати:**

– оплата праці дирекції СТО з ЄСВ, у тому числі працівників бухгалтерії;

– амортизація вартості адміністративного корпусу, інших основних засобів (або орендна плата) і вартості нематеріальних активів загальногосподарського призначення;

– витрати на експлуатацію основних засобів загальногосподарського призначення;

– плата за розрахунково-касове обслуговування та інші послуги банку;

– фінансові витрати (відсотки за кредити);

– інші витрати загальногосподарського призначення.

СТО здійснює також інші операційні і фінансові витрати. Їхній склад визначається відповідно до П(С)БО 16. Приведений склад витрат має загальний характер, і кожна СТО може його змінювати. Такі витрати включимо до адміністративних витрат.

Нормативи накладних витрат.

Під час калькулювання вартості послуг розраховуються **нормативи непрямих витрат** (найчастіше на календарний рік). Спочатку визначається загальна сума прямих витрат, прийнятих як база такого розрахунку, і сума непрямих витрат (за видами), здійснених за певний звітний період. Потім для визначення нормативу відповідного виду витрат сума непрямих витрат окремого виду ділиться на загальну суму прямих витрат, прийнятих за базу розрахунку.

Але загальний алгоритм розрахунку нормативів непрямих витрат можна застосовувати не завжди. Якщо СТО є багатопрофільним підприємством і надає різні послуги, цей алгоритм вимагає уточнень. Визначення більшості нормативів непрямих витрат, виходячи з їхньої загальної суми, призведе до необґрунтованого збільшення витрат і, отже, завищення вартості послуг. Це обумовлено тим, що велика частина непрямих витрат використовується для здійснення всіх видів діяльності СТО.

Наприклад, адміністративні витрати пов'язані як із наданням послуг із ремонту автомобілів, так і з проведенням СТО торгівельної діяльності. Тому із загальної суми адміністративних витрат краще виділити суму таких витрат, яка включатиметься до складу вартості послуг, а також суму адміністративних витрат, яка увійде до витрат торгової діяльності.

Сукупні прямі витрати на матеріали, оплату праці (основна заробітна плата виробничого персоналу) і непрямі накладні витрати, віднесені на продукт (непрямі витрати на допоміжні види діяльності), складають повну собівартість об’єкта калькулювання.

Під час складання калькуляції будемо виходити з того, що:

– адміністративні витрати включаються у собівартість у частині, пропорційній частині витрат сервісу в загальних витратах підприємства;

– адміністративні витрати розбиваються за брендами автомобілів згідно з їх часткою в загальній кількості відпрацьованих нормо-годин по всіх видах робіт підприємства;

– загальновиробничі витрати підприємства розподіляються за брендами й видами робіт так:

- визначається частка кожного виду робіт у загальній сумі фактичних нормо-годин по підприємству;
- розподіл за брендами відбувається згідно з часткою кожного бренду від загальної суми фактичних нормо-годин із певного виду робіт.

Методика і приклад визначення нормативів накладних витрат детально описані в [11, 14].

Точка беззбитковості роботи підприємства.

Під час аналізу беззбитковості визначається критичний обсяг реалізації продукції, за якого прибуток дорівнює нулю.

Під точкою, або межею, беззбитковості роботи підприємства мається на увазі такий обсяг реалізованої продукції, за якого виручка від реалізації (без урахування ПДВ) дорівнює загальним витратам на виробництво продукції або надання послуг.

Точку беззбитковості можна визначати у натуральних (обсяг продукції), грошових (виручка, дохід, чистий дохід) одиницях або у відсотках до планової (фактичної) потужності.

Обсяг реалізованої продукції для підприємств автосервісу може вимірюватися у таких показниках:

– натуральних (наприклад, кількістю наданих послуг певного виду);

– вартісних (наприклад, обсягом реалізації наданих послуг);

– трудових (наприклад, сукупною трудомісткістю виконаних робіт);

– відносних (наприклад, коефіцієнтом використання робочого часу персоналу, обладнання).

Робота підприємства аналізується на певному значущому інтервалі ділової активності, який реально властивий для такого підприємства за умов мінімального та максимального виробництва продукції. Теоретично максимальною межею потужності підприємства можна вважати його проектну потужність, яка забезпечена обладнанням, технологією, сировиною, матеріалами, фінансовими, трудовими та іншими необхідними ресурсами. Реальна потужність підприємства звичайно нижча за проектну.

Мінімальна потужність підприємства відповідає тій, за якої доцільне і можливе існування підприємства.

Також мається на увазі, що постійні витрати є незмінними у цьому інтервалі діяльності підприємства.

Тоді кількість нормо-годин на межі доцільності, за якої прибуток дорівнює нулю, можна визначити за формулою [11, 14]:

$$Кнг_{мд} = \frac{ПостВ}{Внг - ОдЗмВ}, \quad (1)$$

де *ПостВ* – постійні витрати діяльності;

Внг – вартість нормо-години без ПДВ;

ОдЗмВ – одинична змінна собівартість нормо-години.

У випадку автосервісних підприємств важливим показником ділової активності є коефіцієнт використання робочого часу виробничого персоналу. Цей коефіцієнт визначається відношенням кількості проданих нормо-годин роботи виробничого персоналу до проектної потужності підприємства, вираженої у трудовому вимірі (людино-годин роботи виробничого персоналу).

Під час розрахунку прибутку підприємства доцільно розглядати три варіанти: песимістичний, оптимістичний та проектний.

В якості песимістичного варіанту доцільно розглядати роботу підприємства на межі беззбитковості, коли прибуток дорівнює нулю. У такій ситуації підприємство може працювати, але повернути вкладені інвестиції буде неможливо.

За оптимістичного варіанту приймемо, що коефіцієнт використання робочого часу дорівнює 100 %. Втрат робочого часу немає, і прибуток максимальний.

Але найбільш реальним будемо вважати ситуацію, за якої коефіцієнт використання робочого часу виробничого персоналу складе 75–80 % (КВРЧП = 0,75–0,8).

Визначення показників економічної ефективності інвестиційних проектів.

Як було зазначено раніше, інтегральними показниками якості інвестиційних проектів можуть бути такі економічні показники, як наприклад, дохід, витрати, прибуток, період окупності проекту, рентабельність тощо.

Показники економічної ефективності інвестиційних проектів розраховуються на основі таких базових показників, як початкові інвестиції, тривалість життєвого циклу проекту, грошові потоки від проекту протягом його життєвого циклу, ставка для дисконтування грошових потоків та капітальних інвестицій, теперішня вартість майбутніх надходжень (доходів), внутрішня ставка доходу, ризик.

Тривалість життєвого циклу визначається строком корисного використання необоротних активів, які створюються в результаті початкових інвестицій, або тривалістю життєвого циклу тієї продукції (робіт, послуг), виготовлення якої забезпечить реалізація цього проекту. За будь-яких умов цей строк не має перевищувати 10 років.

Визначення ефективності інвестиційних проектів в умовах ринкової економіки базується на розрахунку грошових потоків. Грошовий потік складається з прибутку підприємства та амортизаційних відрахувань. Врахування амортизації як джерела фінансових коштів є важливим, оскільки амортизаційні відрахування мають проміжок часу між нарахуванням і використанням за призначенням.

Грошовий потік і-го року життєвого циклу проекту (ГПі) визначається так:

$$ГП_i = ЧП_i + АВ_i, \quad (2)$$

де *ЧПі* – чистий прибуток від реалізації проекту у і-ому році життєвого циклу;

АВі – амортизаційні відрахування по проекту в і-ому році.

Під час визначення доцільності інвестицій, обов'язково розраховують ставку дисконту, тобто процентну ставку (відносний показник), що характеризує норму прибутку щорічного очікуваного доходу інвестора. Дисконтування грошових потоків важливо для оцінки довготривалих проектів. Головна мета дисконтування – більш точно оцінити ефективність інвестиційного проекту. Під час визначення дисконтної ставки необхідно враховувати, що її рівень залежить від темпів інфляції, величини ризику, величини процентів за позики, тривалості життєвого циклу проекту. Чим вищий рівень інфляції, процентів за позики, величина ризику та життєвий цикл проекту, тим вищою має бути дисконтна ставка.

Теперішня вартість – це вартість майбутніх доходів сьогодні з урахуванням дисконтної ставки. Вона обчислюється за визначеною дисконтною ставкою, приведеною до відповідного року:

$$ТВ = \frac{МВ}{(1+r)^n}, \quad (3)$$

де *ТВ* – теперішня вартість грошових коштів (на дату оцінки), грн;

МВ – майбутня вартість грошових коштів, грн;

r – дисконтна ставка, яка враховує щорічний рівень інфляції, вартості капіталу та ризик, що пов'язаний з реалізацією проекту;

n – кількість періодів (років) реалізації проекту.

Якщо з загальної величини теперішньої вартості майбутніх грошових потоків вирахувати початкові інвестиції, то матимемо **показник чистої теперішньої вартості**, який є основою одного з найпоширеніших методів оцінки доцільності капіталовкладень у країнах із розвиненою ринковою економікою.

Господарський ризик означає невпевненість в отриманні очікуваних доходів від початкових інвестицій. Оцінка доцільності інвестицій – це, зазвичай, оцінка проектів із ризиком.

У разі оцінки проектів очікуваними вигодами є грошовий потік, а витратами – початкові інвестиції. Велике значення під час аналізу проектів має визначення реальної середньозваженої вартості капіталу, яка використовується як ставка дисконту, оскільки для фінансування проекту підприємство має залучити кошти з певних джерел, кожне з яких має свою вартість. Якщо ж підприємство тільки створюється, то ставкою для дисконтування може виступати вартість очікуваних джерел фінансування.

У разі великих інвестиційних проектів, коли інвестиції здійснюються протягом декількох років, необхідно дисконтувати і їх також. Теперішня вартість інвестицій і майбутніх грошових потоків визначається відносно першого року реалізації проекту.

Під час розрахунку показників економічної ефективності інвестиційні проекти умовно можна поділити на **дві групи**. До першої групи належать невеликі проекти, результати реалізації яких суттєво не впливають на майбутнє підприємства, або ж проекти, окупність яких очікується протягом року. В цьому разі від дисконтування відмовляються й використовують показники економічної ефективності, що не враховують фактор часу. До них належать: норма прибутку, період окупності початкових інвестицій, рентабельність проекту.

Друга група – інвестиційні проекти, реалізація яких передбачає значний період часу. В цьому разі необхідно використовувати показники, що враховують фактор часу: чиста теперішня вартість (ЧТВ), період окупності, рентабельність проекту, внутрішня норма доходу (ВНД). Усі ці показники базуються на дисконтованих грошових потоках і початкових інвестиціях.

Розглянемо показники першої групи.

Норму прибутку (НП) характеризує відношення середнього чистого прибутку, який щорічно очікується від реалізації інвестиційного проекту, до початкових інвестицій (ПІ):

$$НП = \frac{\overline{ЧП}}{ПІ}, \tag{4}$$

де $\overline{ЧП}$ – середній чистий прибуток, який щорічно очікується отримувати від реалізації інвестиційного проекту.

Якщо норма прибутку перевищує середню вартість джерел фінансування активів підприємства, то проект можна вважати прийнятним. Норму прибутку можна порівняти з індексом прибутковості вже діючих на підприємстві необоротних активів, що визначається як відношення чистого прибутку за рік до середньорічної залишкової вартості основних фондів і нематеріальних активів. У разі перевищення норми прибутку інвестиційного проекту над індексом прибутковості діючого підприємства, проект можна вважати доцільним.

Період окупності початкових інвестицій ($Т_{ок}$) – це період часу (місяці, квартали, роки), протягом якого економічні вигоди (грошовий потік) забезпечують відшкодування початкових інвестицій. У разі створення нового підприємства він визначається співставленням початкових інвестицій і середньорічного грошового потоку ($\overline{ГП}$):

$$T_{ок} = \frac{ПІ}{ГП}. \quad (5)$$

Реально прийнятний термін окупності встановлює підприємство або інвестор. Коли період окупності прийнятний для підприємства (інвестора), проект буде схвалено. При цьому інвестори завжди прагнуть мати найменший термін окупності. Тому під час порівняння двох і більше проектів перевага надається проектам із мінімальним періодом окупності.

Період окупності може характеризувати ліквідність та ризикованість проекту. Можна вважати, що чим більшою є величина інвестицій, тим більшим може бути період окупності інвестиційного проекту. Чим цей період більший, тим довше іммобілізуються кошти, тобто зменшується ліквідність підприємства та збільшується ризик втрати капіталу.

Рентабельність проекту (Rп) визначає рівень відшкодування початкових інвестицій загальною сумою грошових потоків за весь розрахунковий період:

$$R_n = \frac{\sum_{i=1}^{n} ГП_i}{ПІ} \times 100, \quad (6)$$

де $ГП_i$ – грошовий потік за і-й рік реалізації проекту;

n – тривалість життєвого циклу проекту, роки.

Якщо цей показник дорівнює або перевищує 100 %, проект вважається прийнятним.

Перевагою вищенаведених показників є їхня простота. Вони можуть використовуватися для оцінки як взаємовиключних, так і залежних проектів (прийняття яких залежить від реалізації інших проектів).

У разі, коли початкові інвестиції здійснюються протягом одного року, а грошовий потік починає надходити з наступного року, чиста теперішня вартість визначається із залежності

$$ЧТВ = \sum_{i=1}^{n} \frac{ГП_i}{(1+r)^i} - ПІ \cdot \quad (7)$$

Якщо чиста теперішня вартість дорівнює нулю або має позитивне значення, проект вважається прийнятним. Слід зауважити, що термін окупності проекту за певних ставок дисконту може не існувати, тобто ЧТВ проекту ніколи не буде позитивною.

У цьому прикладі під час впровадження інвестиційного проекту розглядався період в 1 рік, розділений на 12 місяців. Модель дозволяє проводити розрахунки з будь-якими періодами реалізації проекту. Як приклад прийнято, що максимально можлива річна потужність підприємства за умовами ринку складає 85000 нормо-годин. Передбачається, що інвестиції у розмірі 4 млн грн витрачені у нульовий період до початку роботи підприємства. З першого місяця помісячно підприємство завантажено відповідно на 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 % і далі з 6 до 12 місяців на 80 % від максимального завантаження, і почало отримувати дохід. Результати розрахунку за фінансовою моделлю показані в таблиці на рисунку 1 і деталізовані на графіках на рисунках 2–5.



Рисунок 2 – Загальний вигляд фінансової моделі підприємства автомобільного сервісу
Figure 2 – General structure of the financial model for a motor vehicle service enterprise

У фінансовій моделі передбачені два джерела доходу: від продажу нормо-годин праці і продажу запчастин та експлуатаційних матеріалів.

На рисунку 2 показана чиста теперішня вартість проекту за місяцями реалізації проекту. Оскільки термін реалізації проекту менше року, фактор часу не враховується і ставка дисконту приймається нульовою.

Період окупності проекту – це момент часу, коли чиста теперішня вартість стає рівною нулю. У цей момент накоплений грошовий потік дорівнює початковим інвестиціям. Далі проект стає прибутковим. У цьому прикладі період окупності проекту складає 0,72 року, що видно з розрахунків в таблиці на рисунку 1 та графіку на рисунку 2.

Якщо враховувати супутній продаж запчастин і матеріалів під час надання послуг з технічного обслуговування та ремонту автомобілів, то період окупності такого проекту зменшується тим більше, чим більший обсяг продажу запчастин (рисунок 3).



Рисунок 3 – Чиста теперішня вартість проекту з урахуванням продажу запчастин і матеріалів
Figure 3 – Net present value of the project considering spare parts and materials sale

На особливу увагу заслуговує той факт, що в перший місяць діяльності підприємство має від'ємний прибуток у 47 тис. грн без продажу запчастин (рисунок 4). Причиною цього є той факт, що підприємство продає свої послуги дешевше за їхню собівартість через необхідність зниження ціни продажу для залучення клієнтів. Для визначення причин і шляхів вирішення проблеми порівняємо маржу діяльності (різницю між виручкою і змінними витратами діяльності) і постійними витратами (рисунок 5). На рисунку 6 видно, що в перший місяць діяльності отримана маржа як різниця між виручкою і змінними витратами менша ніж постійні витратами що призводить до втрат. Для виправлення ситуації необхідно або збільшувати виручку, або, наприклад, зменшувати постійні витрати в підприємстві шляхом оптимізації структури.

Висновки. Запропонована фінансова модель дозволяє оцінити прийнятність інвестиційного проекту створення підприємства автосервісу або вдосконалення окремих аспектів його діяльності. Під час використання моделі можна оцінити показники економічної ефективності, що не враховують фактор часу, до яких належать: норма прибутку, період окупності початкових інвестицій, рентабельність проекту, а також показники проектів, реалізація яких передбачає значний період часу. В такому разі використовуються показники, що враховують фактор часу: чиста теперішня вартість (ЧТВ), період окупності з урахуванням фактору часу, внутрішня норма доходу (ВНД). Розрахунок деяких таких показників наведений вище у статті.

Чистий прибуток та інші показники діяльності підприємства без продажу запчастин та з продажем показані відповідно на рисунках 4 та 5.

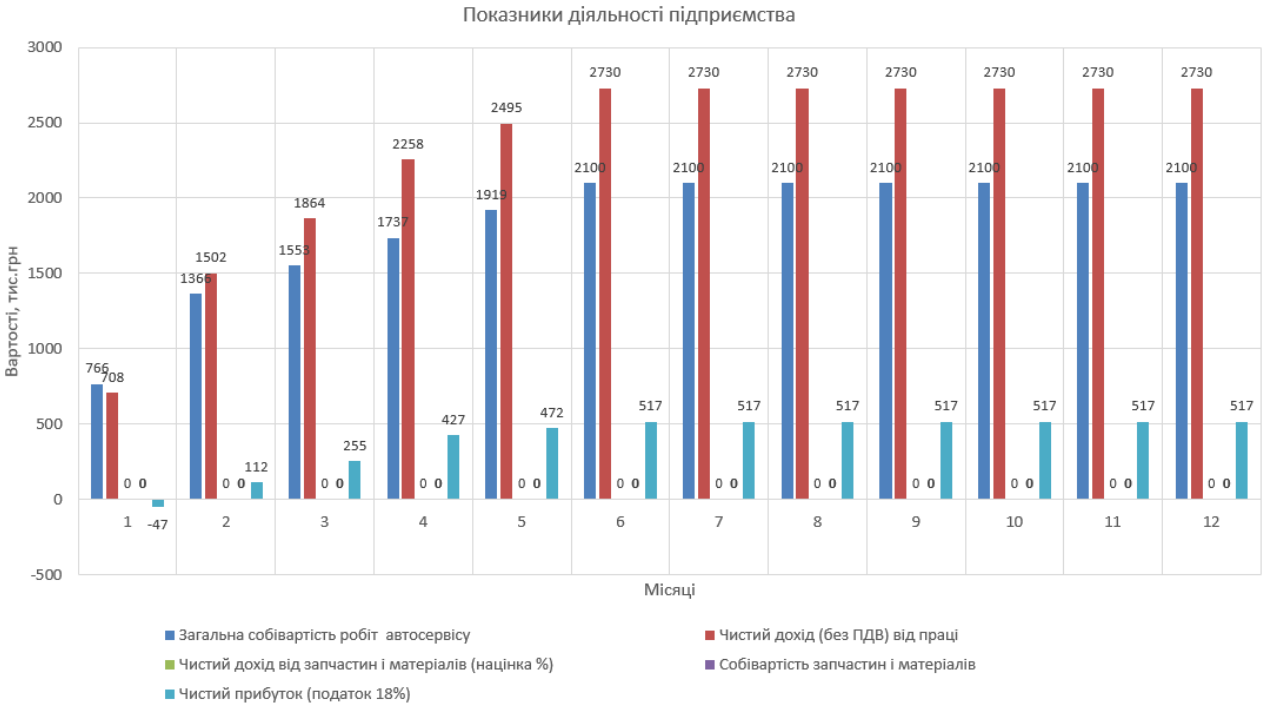


Рисунок 4 – Показники діяльності підприємства без продажу запчастин та матеріалів
Figure 4 – Enterprise performance indicators without spare parts and materials sale

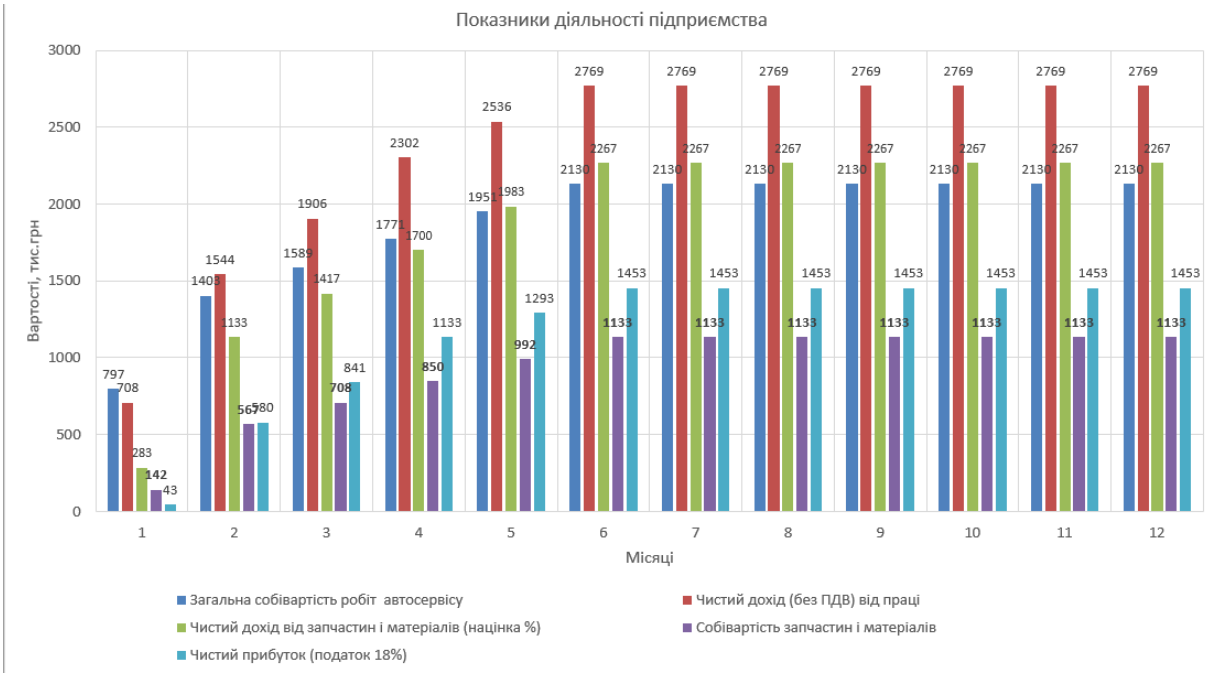


Рисунок 5 – Показники діяльності підприємства з урахуванням продажу запчастин та матеріалів
Figure 5 – Enterprise performance indicators considering spare parts and materials sale

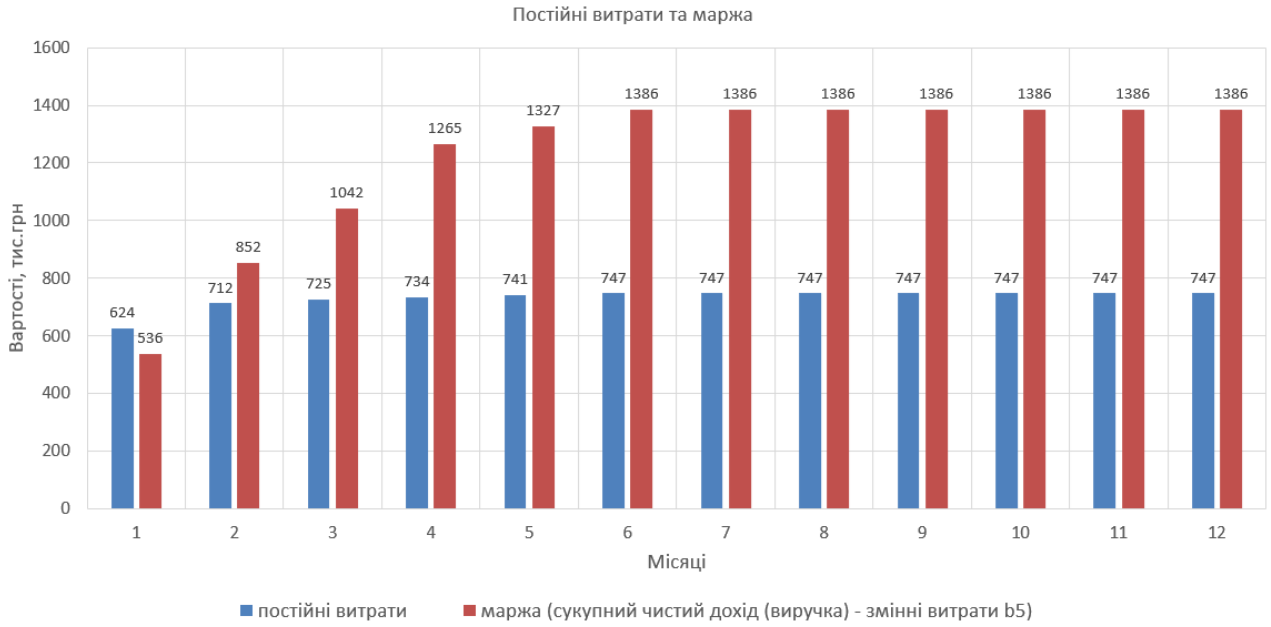


Рисунок 6 – Порівняння маржі з постійними витратами
Figure 6 – Comparison of margin with fixed costs

Перспективи подальшого дослідження.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення фінансової моделі, розробку методики оцінки ризиків та розрахунок різних варіантів проекту для розуміння впливу суттєвих параметрів на економічну ефективність та надійність діяльності підприємства автосервісу.

Перелік посилань

1. Вахович І.М. Фінансовий менеджмент: магістерський курс [Електронний ресурс] : Навчальний посібник. 3-тє вид., змінене і доп. Луцьк : Надстир'я, 2023. 640 с.

URL: https://lib.lntu.edu.ua/uk/147258369/13826.

2. Фінансовий менеджмент [Електронний ресурс] : підручник / М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Київ. нац. екон. ун-т ім. Вадима Гетьмана» ; [А.М. Поддєрьогін, Н.Д. Бабяк, М.Д. Білик та ін.]; кер. кол. авт. і наук. ред. проф. А.М. Поддєрьогін. 2-ге вид., перероб. Електрон. текст. дані. Київ : КНЕУ, 2017. 534, [2] с.

URL: https://ir.kneu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a40e2731-2304-4245-bb11-0692605a28c1/content.

3. Basic 2.0 – financial model template [Електронний ресурс].

URL: https://krasnoukhoff.com/en/blog/basic-financial-model-template/.

4. Як правильно скласти фінансову модель підприємства: 5 перших кроків [Електронний ресурс].

URL: https://techiia.com/ua/news/yak-pravilno-sklasti-finansovu-model-pidpriyemstva-5-pershih-krokiv.

5. Розрахунок фінансової моделі та бізнес-плану [Електронний ресурс].

URL: https://aconsulting.in.ua/2021/03/03/how-to-estimate-model.

6. Фінансові моделі та дилема інвестора [Електронний ресурс].
URL: https://eifoshub.com.ua/ua/blog/financial-models-and-the-investors-dilemma.
7. Вітлінський В.В., Наконечний С.І. Ризик у менеджменті. Київ : ТОВ «Борисфен-М», 1996. 336 с.
8. Пономаренко О.І., Перестюк М.О., Бурим В.М. Основи математичної економіки / за ред. О.І. Пономаренко. Київ : Інформатика, 1995. 320 с.
9. Кононова І.В. Сутність процесного підходу до управління підприємством. Економіка і регіон: Науковий вісник Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. № 3 (40). 2013. С. 93–98.
URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/econrig_2013_3_17.
10. Національні положення (стандарти) бухгалтерського обліку в Україні [Електронний ресурс].
URL: https://buhgalter911.com/normativnaya-baza/instr-plan-rah/standart-buhgalterskogo.
11. Андрусенко С.І., Бугайчук О.С. Управління якістю в обслуговуванні автомобілів : [Навчальний посібник]. Київ : Медінформ, 2022. 424 с.
12. Організаційно-функціональні аспекти економіки і менеджменту : Навчальний посібник / П.Р. Левковець, С.І. Андрусенко, Ю.М. Гедз та ін.; під ред. П.Р. Левковця. Київ : УТУ, ІЕБТ, 2000. 397 с.
13. Андрусенко С.І., Бугайчук О.С. Моделювання бізнес-процесів підприємства автосервісу : монографія. Київ : Кафедра, 2014. 328 с.
14. Андрусенко С.І., Бугайчук О.С. Технології підвищення ефективності виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту : Навчальний посібник. Київ : Медінформ, 2017. 212 с.
15. Технологічне проектування автотранспортних підприємств : Навчальний посібник / За ред. проф. С.І. Андрусенка. Київ : Каравела, 2009. 368 с.
16. Андрусенко С.І. Загальні принципи управління підприємством. Автошляховик України. 1998. № 2. С. 24–25.

FINANCIAL MODEL FOR A MOTOR VEHICLE SERVICE ENTERPRISE

Serhii Andrusenko, PhD (Candidate of Technical Science), Professor, Head of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com, tel.+380634720587, https://orcid.org/0000-0002-9914-0200.

Buhaichuk Oleksandr, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, National Transport University, e-mail: bug_os@ukr.net, tel. +380679955818, https://orcid.org/0000-0001-8646-6263.

Podpisnov Vladyslav, Senior Lecturer of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, National Transport University, e-mail: vpodpisnov@ukr.net, tel. +380989623871, https://orcid.org/orcid.org/0000-0002-8583-1502.

Dykyi Vladyslav, Master, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: vladislav.dykyi@gmail.com, tel. +380992679908, https://orcid.org/0009-0003-7084-8672.

Summary. The article proposes a financial model for a motor vehicle service enterprise and provides examples of its application.

Research object: the operational process of a motor vehicle service enterprise.

Purpose of the article: to develop an adapted financial model for motor vehicle service enterprises, enabling the assessment of startup prospects, strategic planning, and business development. The authors propose a comprehensive approach that considers revenues, expenses, cash flows, and investment attractiveness.

Research methods: mathematical modeling of processes.

The proposed financial model enables the evaluation of the feasibility of investment projects for establishing a motor vehicle service enterprise or improving specific aspects of its operations. Using the model, economic efficiency indicators that do not consider the time factor can be assessed, including: profit margin, payback period of initial investments, project profitability, as well as indicators for projects requiring a significant time frame. In such cases, time-sensitive indicators are used, such as net present value (NPV), discounted payback period, and internal rate of return (IRR). Calculations of some of these indicators are provided earlier in the article.

Key aspects of the financial model:

1) forecasting revenues and expenses: estimation of the annual production program, labor intensity, revenues, and expenses to justify economic feasibility;

2) efficiency analysis: the methodology includes calculating indicators such as net profit, profitability, break-even point, and project payback period;

3) risk assessment: applying sensitivity analysis to identify key factors affecting profitability.

Results:

1) the model allows for analyzing projects with varying levels of risk and incorporates the time factor;

2) the model facilitates the determination of economic efficiency using indicators such as net present value (NPV), internal rate of return (IRR), as well as indicators that do not account for discount rates.

Practical significance: the research results are of practical value for auto service enterprises. Forecasting based on the model helps substantiate investments, optimize costs, and ensure business stability.

Research prospects: further studies aim to enhance the model, develop methods for risk assessment, and improve forecasting depending on changes in economic conditions.

Key conclusions:

1) the financial model is an effective tool for managerial decision-making;

2) the integration of economic efficiency evaluation methods reduces investment risks and optimizes the activities of auto service enterprises.

Keywords: motor vehicle service enterprise, financial model, revenue, expenses, profit, efficiency, margin, payback period, net present value, risks, break-even point.

References

1. Vakhovych, I.M. (2023). Financial Management: Master's course: Textbook. (3rd ed., revised and supplemented). Lutsk, Nadstyria Publ. 640 p.
URL: https://lib.lntu.edu.ua/uk/147258369/13826 [in Ukrainian].

2. Poddierohin, A.M., Babiak, N.D., Bilyk, M.D. & others (2017). Financial Management: Textbook. Prof. A.M. Poddierohin (Writing team leader & Ed.). (2nd ed., revised). Kyiv, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman. 534, [2] p.
URL: https://ir.kneu.edu.ua/items/d72d61a8-b469-4da0-81f0-04c08c0d1c01 [in Ukrainian].

3. Basic 2.0 – financial model template.
URL: https://krasnoukhoff.com/en/blog/basic-financial-model-template/ [in English].

4. How to Make a Financial Model for a Business: 5 Initial Steps.
URL: https://techiia.com/ua/news/yak-pravilno-sklasti-finansovu-model-pidpriyemstva-5-pershih-krokiv [in Ukrainian].

5. Calculation of a financial model and business plan.
URL: https://aconsulting.in.ua/2021/03/03/how-to-estimate-model/ [in Ukrainian].

6. Financial models and the investor's dilemma.
URL: https://eifoshub.com.ua/ua/blog/financial-models-and-the-investors-dilemma [in Ukrainian].
7. Vitlinsky, V.V. & Nakonechny, S.I. (1996). Risk in management. Kyiv, Borysfen-M LLC Publ. 336 p. [in Ukrainian].
8. Ponomarenko, O.I., Perestyuk, M.O. & Burym, V.M. (1995). Fundamental Methods of Mathematical Economics. O.I. Ponomarenko (Ed.). Kyiv: Informatyka Publ. 320 p. [in Ukrainian].
9. Kononova, I.V. (2013). The essence of the process approach to business management. Economics and Region: Scientific Bulletin of the National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic». Vol. 3 (40), pp. 93–98.
URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/econrig_2013_3_17 [in Ukrainian].
10. National accounting regulations (standards) in Ukraine.
URL: https://buhgalter911.com/normativnaya-baza/instr-plan-rah/standart-buhgalterskogo [in Ukrainian].
11. Andrusenko, S.I. & Buhaichuk, O.S. (2022). Quality management in car maintenance: Textbook. Kyiv, Medinform Publ. 424 p. [in Ukrainian].
12. Levkovets, P.R., Andrusenko, S.I., Geds, Yu.M. & others (2000). Organizational and functional aspects of economics and management: Textbook. P.R. Levkovets (Ed.). Kyiv, UTU, IEBT Publ. 397 p. [in Ukrainian].
13. Andrusenko, S.I. & Buhaichuk, O.S. (2014). Business processes modeling for a motor vehicle service enterprise: Monograph. Kyiv, Kafedra Publ. 328 p. [in Ukrainian].
14. Andrusenko, S.I. & Buhaichuk, O.S. (2017). Technologies for increasing the efficiency of motor transport enterprises production and technical base: Textbook. Kyiv: Medinform Publ. 212 p.
15. Andrusenko, S.I. (Ed.). (2009). Technological design of motor transport enterprises: Textbook. Prof. S.I. Andrusenko (Ed.). Kyiv, Karavela Publ. 368 p. [in Ukrainian].
16. Andrusenko, S.I. (1998). General principles of enterprise management. Avtoshliakhovyk Ukrayiny. Vol. 2, pp. 24–25 [in Ukrainian].