

УДК 001.89:005.6:378
UDC 001.89:005.6:378

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-012-024

**СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ
ЗНАНЬ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ В УНІВЕРСИТЕТІ**

**A SYSTEMATIC APPROACH TO THE EVALUATION OF THE RESULTS OF THE FINAL
EXAMINATION OF UNIVERSITY STUDENTS**



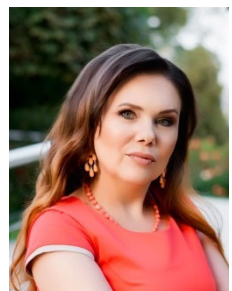
Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044) 2808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 318

<https://orcid.org/0000-0003-4223-1838>



Токін Олександр Павлович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: a2atp@meta.ua, тел. (044)2804259, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 322,

<https://orcid.org/0000-0002-7353-4228>



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>

Анотація: Стаття присвячена розгляду актуального питання – застосуванню системного підходу до оцінювання результатів підсумкового контролю знань здобувачів вищої освіти в університеті. Досліджено принципи організації, етапи, основні задачі та компоненти контролю знань здобувачів вищої освіти, а також визначено роль так званого педагогічного контролю. Розглянуто таксономію педагогічних цілей, які визначають процес навчання і оцінювання досягнутих завдань освіти, та їх взаємозв'язок з критеріями оцінювання знань здобувачів вищої освіти в університеті. Проаналізовано результати підсумкового контролю осінньої екзаменаційної сесії 2023-2024 навчального року та підсумкової атестації 2023 року здобувачів вищої освіти в Національному транспортному університеті, а також здійснено їх порівняння з аналогічними періодами минулого навчального року. Виконано дослідження звітності екзаменаційних комісій та запропоновано системні

заходи для підвищення якості освітнього процесу за освітніми програмами на наступний навчальний рік. Зокрема, запропоновано продовжувати практику розгляду питань успішності студентів на засіданнях вчених рад факультетів та кафедр; здійснювати організацію круглих столів для розширення компетентностей здобувачів з певних тематик та проблем із залученням фахівців і науковців з різних організацій; активізувати публікаційну активність здобувачів вищої освіти; посилити роботу зі залучення провідних фахівців, роботодавців, експертів галузі та професіоналів-практиків в освітній процес; активізувати інтерес здобувачів до навчання через застосування комбінованих нестандартних методів навчання та викладання; продовжувати роботу з організації виїзних практик, екскурсій на підприємства із сучасним обладнанням тощо.

Ключові слова: підсумковий контроль, оцінювання рівня знань, результати навчання, системний підхід, якість освітнього процесу

Вступ. Контроль знань здобувачів вищої освіти є невід’ємною складовою моніторингу якості освітнього процесу за освітніми програмами університету [1]. З одного боку, контроль – це вимірник знань, який має виховний характер, зокрема, активізує когнітивні здібності у студентів та стимулює до розвитку пізнавальних потреб, а з іншого боку, контроль – це індикатор ступеня досягнення намічених цілей та програмних результатів навчання освітніх програм, дієвості навчальних методів та методик, адекватності запроваджених заходів щодо підвищення якості освітнього процесу. При цьому вирішальне значення відводиться підсумковій атестації, яка охоплює широке коло компонентів, що підлягають оцінюванню як дисциплін, так і освітніх програм в цілому. Таким чином, актуальним завданням є застосування системного підходу до оцінювання результатів підсумкового контролю знань здобувачів вищої освіти в університеті.

Виклад основного матеріалу.

Якщо контроль виконання графіка навчального процесу протягом семестру проводиться наскрізним моніторингом відвідування занять здобувачами вищої освіти, то контроль засвоєння матеріалу з модулів дисциплін – здійснюється за результатами проміжної та підсумкової атестації. У вищій освіти розрізняють 4 принципи організації контролю знань студентів, зокрема, контроль є професійно-направленим, має виховний, систематичний та всеохоплюючий характер (рис. 1). При цьому важливу роль відіграє педагогічна його складова [1]. Головна мета педагогічного контролю полягає у визначенні якості засвоєння навчального матеріалу здобувачами, ступеня відповідності сформованих умінь та навичок цілям та програмним результатам навчання того чи іншого освітнього компонента.

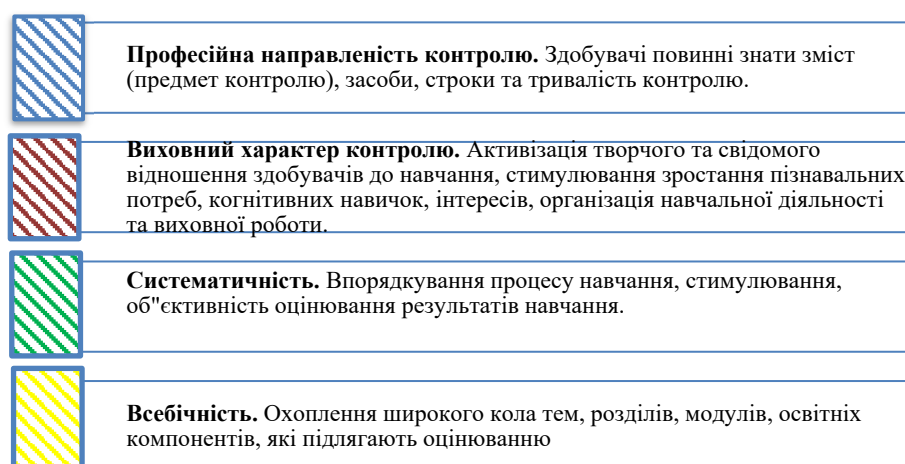


Рисунок 1 – Принципи організації контролю знань здобувачів вищої освіти
Figure 1 – Principles of knowledge control organization of higher education students

Відповідно до внутрішньої нормативно-правової бази у Національному транспортному університеті реалізовано наступні види та форми контролю знань здобувачів вищої освіти [2]: модульний або міжсесійний контроль, рубіжний контроль, підсумковий та заключний контроль. Саме підсумковий контроль відіграє роль індикатора якості освітніх програм та освітнього процесу в цілому. Метою підсумкового контролю є оцінювання результатів навчання на певному освітньому рівні або на окремих його завершальних етапах. Основними видами підсумкового контролю є семестровий контроль та атестація здобувачів вищої освіти (рис. 2).



Рисунок 2 – Види підсумкового контролю, реалізовані на освітніх програмах НТУ
Figure 2 – Types of final control implemented in NTU educational programs

Безпосередньо сам процес контролю включає 3 етапи (рис. 3): перевірку (виявлення рівня отриманих студентами знань, умінь та навичок); оцінювання (вимірювання рівня знань, умінь та навичок, а також порівняння їх з певними стандартами, окресленими вимогами освітніх програм); облік (фіксація результатів у вигляді оцінок, балів, рейтингу, занесення в залікові чи екзаменаційні відомості).

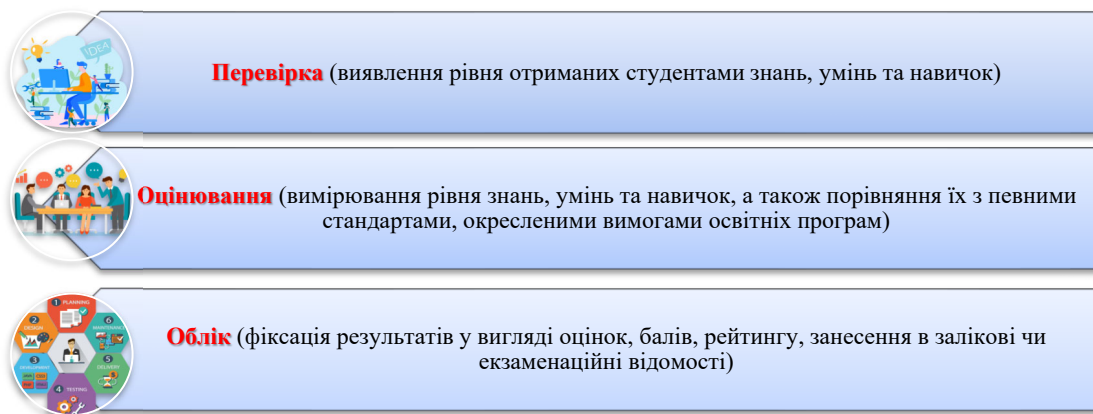


Рисунок 3 – Етапи здійснення контролю
Figure 3 – Stages of control

Оцінювання рівня знань включає 2 компоненти (рис. 4): оцінювання як процес (становить специфічну сторону контролю, його невід'ємну частину, як результат – завершує контроль знань); оцінювання як встановлений бал (фіксує підсумки перевірки знань, умінь та навичок, досягнутих програмних результатів навчання).

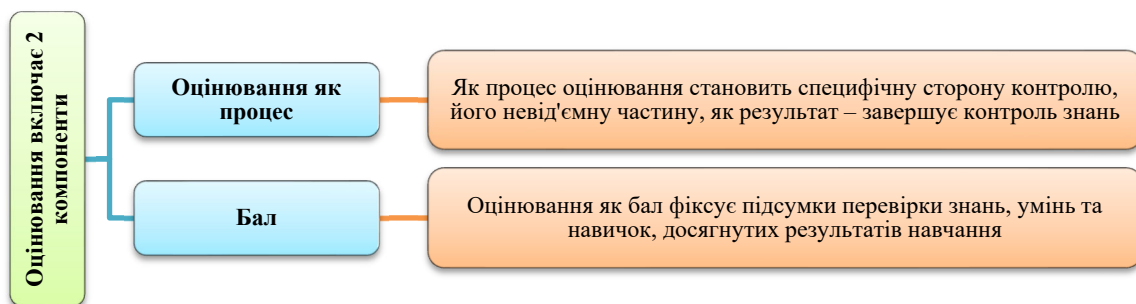


Рисунок 4 – Оцінювання знань, вмінь та навичок студентів
Figure 4 – Assessment of students' knowledge, abilities and skills

Основними задачами оцінювання є наступні (рис. 5):

- спрогнозувати можливі наслідки, результати реалізації методичних підходів, які були використані в освітньому процесі;
- забезпечити зворотній зв'язок;
- оцінити ступінь досягнення намічених цілей та програмних результатів навчання освітніх програм;
- оцінити як і в якій мірі запроваджені зміни в освітньому процесі пов'язані з втіленими методичними заходами;
- систематизувати результати оцінювання та надати доказову інформацію для подальшого впровадження певних методичних підходів в освітній процес.

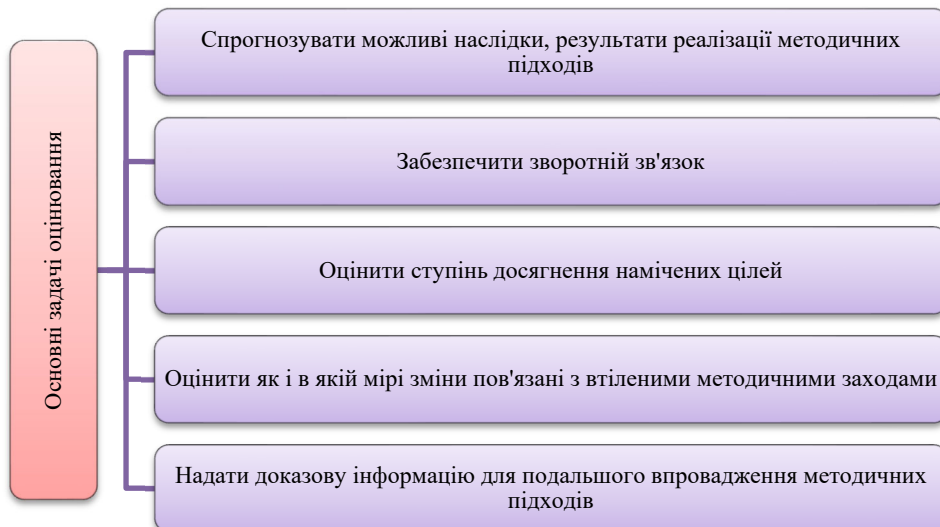


Рисунок 5 – Основні задачі оцінювання
Figure 5 – The main assessment tasks

У 1956 році американським психологом Бенджаміном Блумом була запропонована таксономія педагогічних цілей, які визначають процес навчання і оцінювання досягнутих цілей (рис. 6). Відповідно до підходу Б. Блума цілі навчання у когнітивній сфері можуть бути виражені через наступні елементи: знання, розуміння, застосування, аналіз, синтез і оцінка. На думку вченого, оцінювання є

завершальним етапом для формування уявлення у викладача щодо результатів його роботи – навчання студентів (рис. 6) [3].



**Рисунок 6 – Шестирівнева таксономія Б. Блума
Figure 6 – B. Bloom's six-level taxonomy**

Проте, наступні дослідження піддали критиці таксономію Б. Блума, що спричинило її подальший перегляд [4]. Нова таксономія отримала дієслова замість іменників у позначенні таксономічних рівнів, а також були переставлені місцями дві останні категорії (рис.7).

Втім, як зазначається авторами дослідження [5] сутнісний зміст таксономії не змінився. Цей підхід залишається ефективним при визначенні ступеню досягнення програмних результатів навчання студентами під час підсумкового контролю, оскільки саме ідеологія таксономії є легко адаптивною до критеріїв оцінювання в кредитно-трансферній системі [6]. Базуючись на цій концепції, менеджментом Національного транспортного університету рішенням Науково-методичної ради було розширено змістовність критеріїв оцінювання здобувачів вищої освіти (табл. 1) та виконано аналіз результатів підсумкового контролю осінньої екзаменаційної сесії 2023-2024 навчального року.

Зокрема, в 2023-2024 н.р. в університеті підсумковий контроль був організований офлайн для здобувачів денної форми здобуття вищої освіти. Усі учасники – науково-педагогічні працівники і студенти – мали можливість бути присутніми в університеті, оскільки окремими заходами були забезпечені безпечні умови проведення семестрового контролю та атестації. Для здобувачів, які навчаються на заочній формі, у разі загрози безпеки була передбачена можливість здійснення контрольних заходів онлайн.

Усереднені результати осінньої екзаменаційної сесії 2023-2024 н.р. в Національному транспортному університеті показують, що рівень якості становив 82,1%, успішність – 93,5%, що відповідає ступеню досягнення здобувачами таксономічних цілей 5-го та 6-го рівнів. Динаміка показників у порівнянні з 2022-2023 н.р. [2] є позитивною (рис. 8).



Рисунок 7 – Переглянута таксономія Б. Блума
Figure 7– B. Bloom's revised taxonomy

Таблиця 1 – Шкала оцінювання, яка запроваджена в НТУ
Table 1 – The knowledge assessment scale introduced at NTU

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	Опис критерія оцінювання
		для екзамену, курсового проекту (роботи), циклу РГР, практики	
90 – 100	A	відмінно	Студент виявив повні знання навчального матеріалу за програмою та засвоїв матеріал основних підручників і додаткової літератури, здатний вирішувати практичні завдання на основі засвоєних теоретичних положень
82-89	B	дуже добре	
74-81	C	добре	

64-73	D	задовільно	Студент виявив знання навчального матеріалу за програмою в об'ємі, достатньому для роботи зі спеціальності, але глибина знань не може гарантувати безпомилкового виконання фахових технічних завдань. Ця оцінка виставляється студенту, який допустив помилки у відповіді на екзамені, але здатний виправити їх та вирішувати практичні завдання під керівництвом викладача.
60-63	E	достатньо	
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	Студент має прогалини в знаннях за програмою, внаслідок чого він або допустив надто серйозні похибки у відповіді, які призвели до неправильного результату, або не відповів на оцінювану частину зовсім і не може продовжувати навчання або вести професійну діяльність без додаткового вивчення матеріалу
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	

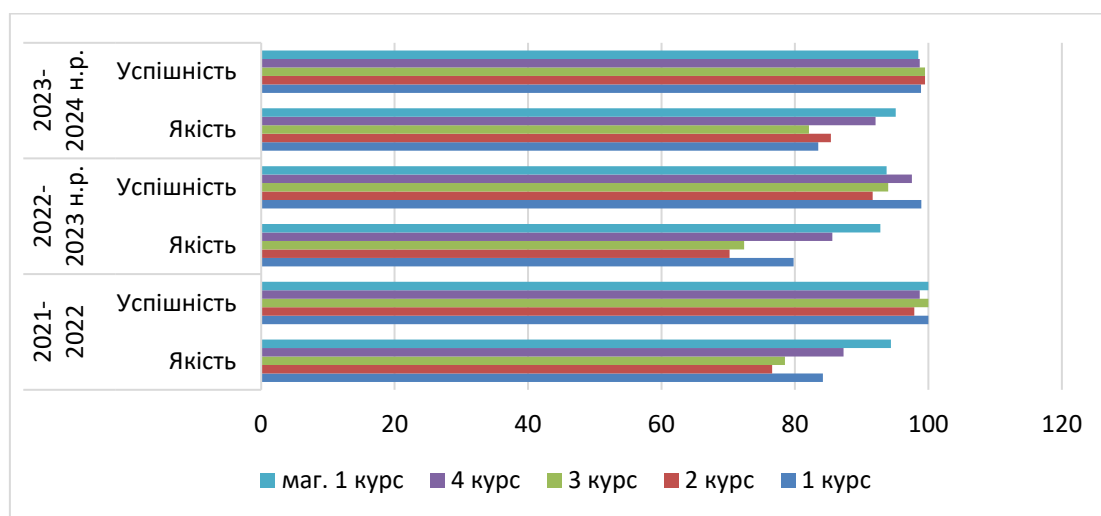


Рисунок 8 – Усереднені результати екзаменаційних сесій за 2021-2024 рр. в Національному транспортному університеті, %

Figure 8– Average results of examination sessions for 2021-2024 at the National Transport University, %

За результатами захисту кваліфікаційних екзаменів бакалаврів екзаменаційними комісіями було встановлено високий рівень підготовки здобувачів у 2022 році. Якість за денною формою здобуття вищої освіти за першим (бакалаврським) рівнем складала: факультет менеджменту, логістики та туризму – 92%; факультет транспортних та інформаційних технологій – 91%; факультету транспортного будівництва – 89%; автомеханічний факультет – 96%; факультет економіки та права – 85%. Рівень показників якості та успішності за 2023 рік дещо покращився у порівнянні з 2022 роком (рис. 9). Що пов'язано з остаточним переходом на офлайн навчання здобувачів денної форми навчання. Зокрема, у весняному семестрі 2022-2023 н.р. вони мали змогу пройти повноцінну практику на виробництві та виконувати кваліфікаційну роботу в університеті під безпосереднім консультуванням керівників. Якість за заочною формою здобуття вищої освіти за першим (бакалаврським) рівнем складала в середньому 85% в 2022 році та 87% в 2023 році (рис. 10).

Усереднений показник якості за результатами атестації здобувачів другого (магістерського) рівня за денною формою здобуття вищої освіти в університеті у 2022-2023 н.р. складав 91%, успішність – 98 % (рис. 11). Усереднений показник якості підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня за заочною формою здобуття вищої освіти у Національному транспортному університеті у 2022-2023 н.р. становив 85%, успішність – 98 %.

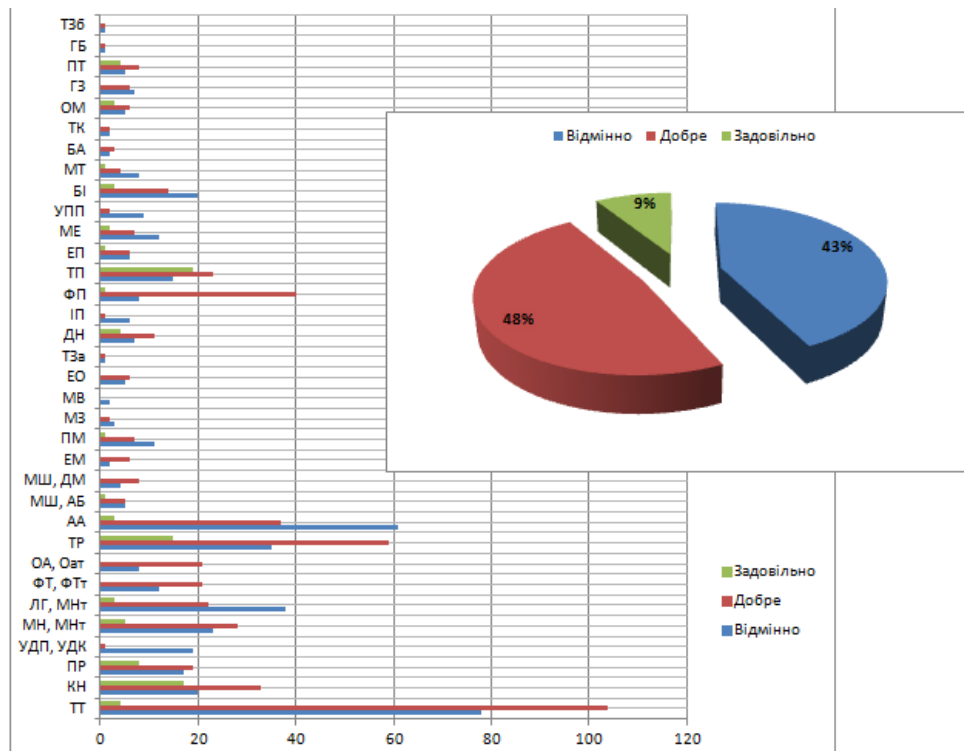


Рисунок 9 – Результати атестації випускників першого (бакалаврського) рівня вищої освіти (денна форма здобуття освіти) у 2023 році
Figure 9 – Results of attestation of graduates of the first (bachelor) level of higher education (full-time education) in 2023

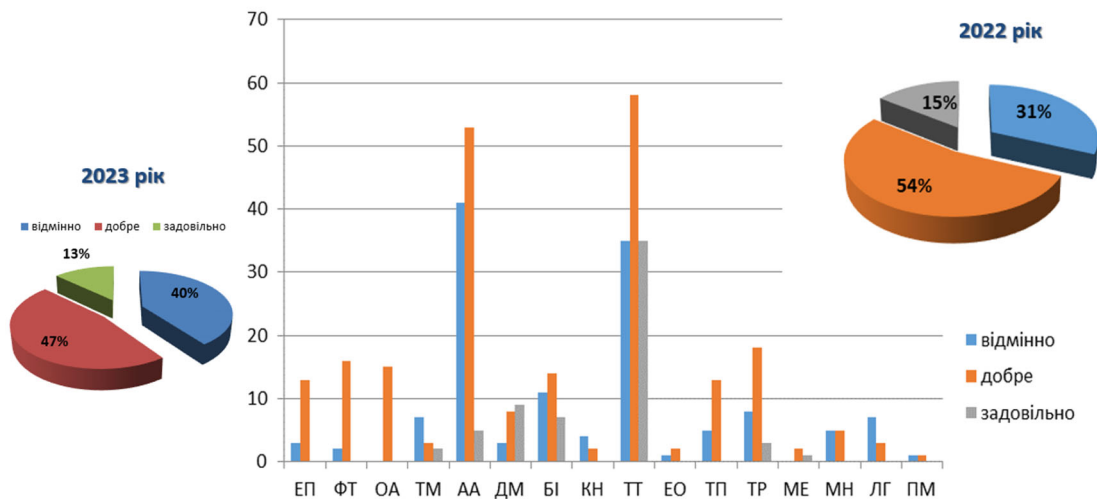


Рисунок 10 – Результати атестації випускників першого (бакалаврського) рівня вищої освіти (заочна форма здобуття освіти) у 2022-2023 роках
Figure 10 – Results of attestation of graduates of the first (bachelor) level of higher education (correspondence form of obtaining education) in 2022-2023

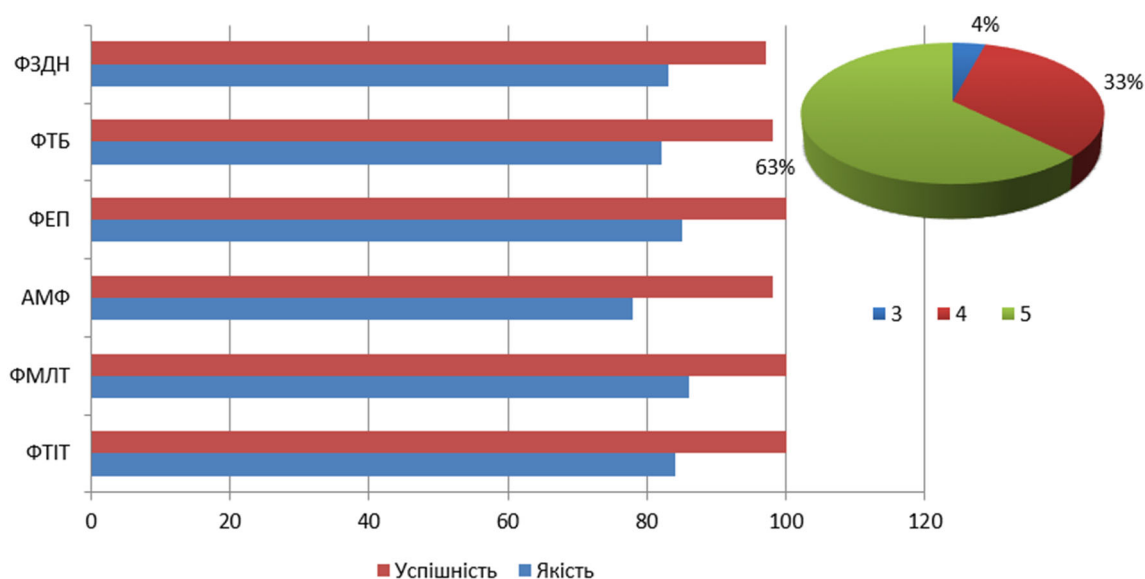


Рисунок 11 – Аналіз показників якості та успішності випускників другого (магістерського) рівня вищої освіти у 2022-2023 навчальному році, %

Figure 11 – Analysis of indicators of quality and success of graduates of the second (master's) level of higher education in the 2022-2023 academic year, %

Усереднений показник якості за результатами атестації здобувачів другого (магістерського) рівня за денною формою здобуття вищої освіти в університеті у 2023-2024 н.р. складав 92%, успішність – 98 % (рис. 12). Усереднений показник якості підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня за заочною формою здобуття вищої освіти у Національному транспортному університеті у 2023-2024 н.р. становив 87%, успішність – 98%. Динаміка показників у порівнянні з 2022-2023 н.р. є позитивною.

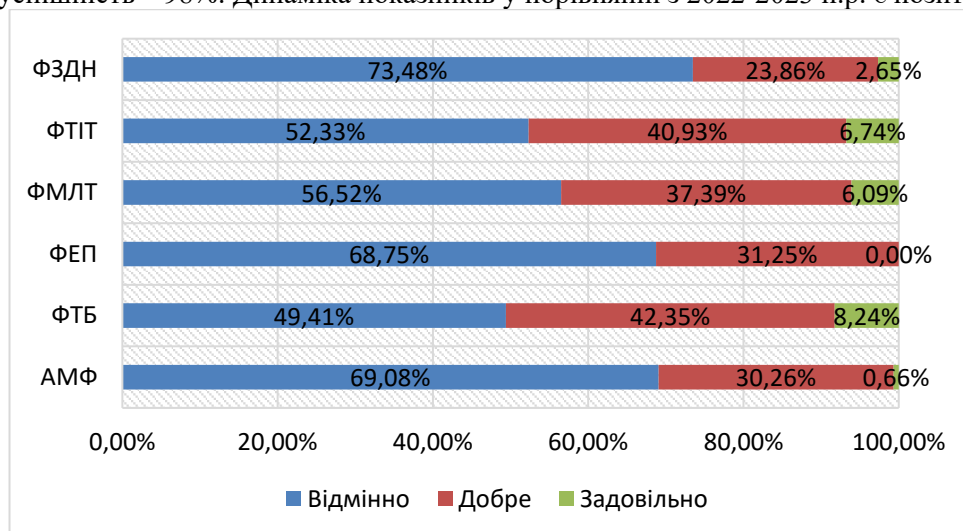


Рисунок 12 – Деталізація показника якості за результатами атестації випускників другого (магістерського) рівня вищої освіти у 2023-2024 навчальному році, %

Figure 12 – Detailing of the quality indicator based on the results of the attestation of graduates of the second (master's) level of higher education in the 2023-2024 academic year, %

За результатами атестації випускників другого (магістерського) рівня вищої освіти у 2023-2024 році головами ЕК було відзначено високу якість підготовки студентів та актуальність тем. Хоч і були зафіксовані випадки несвоєчасного подання кваліфікаційних робіт на кафедри.

Таким чином, підводячи підсумок за аналізом аналітичних даних, необхідно зазначити, що здійснені заходи щодо успішності здобувачів вищої освіти та якості освітнього процесу за освітніми програмами університету у 2023-2024 н.р. можна вважати позитивними.

Разом з тим, слід відмітити необхідність посилення контролю виконавчої дисципліни викладачів при проведенні поточного та підсумкового контролю, атестації здобувачів, відпрацюванні пропущених занять, ліквідації академічних заборгованостей, проведення консультацій викладачами. Крім, того слід врахувати основні зауваження голів екзаменаційних комісій за результатами атестації здобувачів другого (магістерського) рівня (рис. 13).

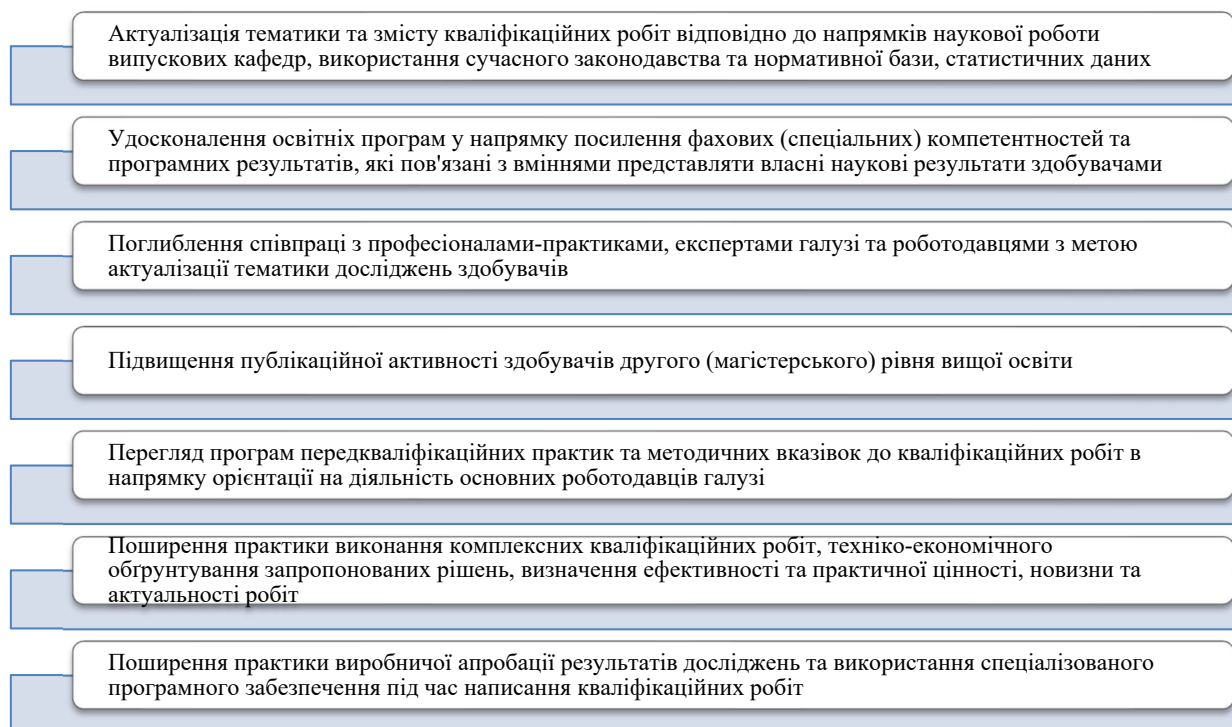


Рисунок 13 – Аспекти, що потребують удосконалення за результатами атестації випускників другого (магістерського) рівня вищої освіти у 2023 році

Figure 13 – Aspects that need improvement based on the results of the attestation of graduates of the second (master's) level of higher education in 2023

Зокрема, аспекти, що потребують удосконалення за результатами атестації випускників другого (магістерського) рівня вищої освіти у 2023 році стосуються: актуалізації тематики та змісту кваліфікаційних робіт відповідно до напрямків наукової роботи випускових кафедр; удосконалення освітніх програм у напрямку посилення фахових (спеціальних) компетентностей та програмних результатів, які пов'язані з вміннями представляти власні наукові результати здобувачами; поглиблення співпраці з професіоналами-практиками, експертами галузі та роботодавцями з метою актуалізації тематики досліджень здобувачів; підвищення публікаційної активності здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти; перегляду програм передкваліфікаційних практик та методичних вказівок до кваліфікаційних робіт в напрямку орієнтації на діяльність основних роботодавців галузі;

поширення практики виконання комплексних кваліфікаційних робіт та виробничої апробації результатів досліджень.

Такий постійний моніторинг зворотного зв'язку викладачів та представників галузі, які залучені до підсумкової атестації, дозволяє оперативно запроваджувати системні рішення щодо покращення якості освітнього процесу та освітніх програм університету.

Висновки.

В результаті проведення теоретичного дослідження та аналітичного оцінювання результатів підсумкового контролю знань студентів в Національному транспортному університеті визначено, що процес оцінювання досягнення здобувачами вищої освіти програмних результатів навчання має бути системним та базуватися на кращих практиках і досягненнях у сфері педагогіки вищої школи [7].

Для подальшої роботи з підвищення якості освітньої діяльності в університеті необхідно продовжувати практику розгляду питань успішності студентів на засіданнях вчених рад факультетів та кафедр; здійснювати організацію круглих столів для розширення компетентностей здобувачів з певних тематик та проблем із залученням фахівців і науковців з різних організацій тощо; активізувати публікаційну активність здобувачів вищої освіти; посилити роботу зі залучення провідних фахівців, роботодавців, експертів галузі та професіоналів-практиків в освітній процес; активізувати інтерес здобувачів до навчання через застосування комбінованих нестандартних методів навчання та викладання (наприклад, кейс-аналіз, мозковий штурм, ділові ігри тощо); продовжувати роботу з організації виїзних практик, екскурсій на підприємства із сучасним обладнанням; створення умов для отримання знань у позанавчальний час (комп'ютерні класи, англійська мова, Online-конференції тощо), проведення олімпіад з фундаментальних дисципліни серед студентів; посилити контроль виконавчої дисципліни викладачів при проведенні поточного та підсумкового контролю, відпрацюванні пропущених занять, прийнятті академічних заборгованостей, а також рівня організації та проведення консультаційної роботи із студентами.

Перелік посилань

1. Інноваційні технології навчання: Навч. посібн. для студ. вищих технічних навчальних закладів / [Кол. авторів; відп. ред. Бахтіярова Х.Ш.; наук. ред. Арістова А.В.; упорядн. словника Волобуєва С.В.]. – К. : НТУ, 2017. – 172 с.
2. Дмитриченко М.Ф., Токін О.П., Харченко А.М. (2023). Роль контролю знань у забезпеченні якості освітнього процесу університету. Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», 2023. Випуск 114. Частина 1. – С. 12-23. DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-012-023
3. Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I: The Cognitive Domain*. New York, NY: David McKay Co Inc.
4. Anderson L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives: Complete Edition*. New York: Longman.
5. Пометун О., & Гупан, Н. (2019). Таксономія Б. Блума і розвиток критичного мислення школярів на уроках історії. Український Педагогічний журнал, (3), С. 50–58. <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2019-3-50-58>
6. Проскура, С. Л. (2020). Таксономія блума в оцінюванні результатів освітньої діяльності студентів. Звітна наукова конференція Інституту інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України. Збірник матеріалів Звітної наукової конференції Інституту інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України: Збірник матеріалів наукової конференції. – Київ: ІТЗН НАПН України, 2020. – С.83-89.
7. Оджубейська, О. Д., Зубченко, Ю. П., & Малюченко, М. М. (2023). Оцінювання знань здобувачів освіти в університеті. Матеріали навчально-наукової конференції з міжнародною участю «Медична освіта за новими стандартами: виклики та інтеграція в міжнародний освітній простір», 30 березня 2023 року. – С. 185-187.

A SYSTEMATIC APPROACH TO THE EVALUATION OF THE RESULTS OF THE FINAL
EXAMINATION OF UNIVERSITY STUDENTS

Nykolay Dmytrychenko, Sc.D., Professor, National Transport University, Professor of Production, Repair and Materials Science Department, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, tel. (044)2808203, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 318, <https://orcid.org/0000-0003-4223-1838>

Oleksandr Tokin, Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Professor of Production, Repair and Materials Science Department, », e-mail: a2atp@meta.ua, tel (044) 280-42-59, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 322, <https://orcid.org/0000-0002-7353-4228>

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>

Summary. The article is devoted to the consideration of a topical issue - the application of a systematic approach to the evaluation of the results of the final control of the knowledge of students of higher education at the university. The principles of organization, stages, main tasks and components of knowledge control of higher education seekers were studied, as well as the role of so-called pedagogical control was determined. The taxonomy of pedagogical goals, which determine the process of learning and evaluation of the achieved goals of education, and their relationship with the criteria for evaluating the knowledge of students of higher education at the university are considered. The results of the final control of the autumn examination session of the 2023-2024 academic year and the final certification of 2023 of higher education applicants at the National Transport University were analyzed, as well as their comparison with similar periods of the previous academic year. A study of the reporting of examination commissions was carried out and systematic measures were proposed to improve the quality of the educational process according to educational programs for the next academic year. In particular, it is proposed to continue the practice of considering issues of student success at meetings of academic councils of faculties and departments; to organize round tables to expand the competences of applicants on certain topics and problems with the involvement of specialists and scientists from various organizations; to intensify the publishing activity of higher education applicants; strengthen the work of involving leading specialists, employers, industry experts and practicing professionals in the educational process; to activate the interest of students in learning through the use of combined non-standard methods of learning and teaching; to continue work on the organization of field practices, excursions to enterprises with modern equipment, etc.

Keywords: final control, assessment of knowledge level, learning outcomes, system approach, quality of the educational process

References

1. Innovatsiini tekhnolohii navchannia: Navch. posibn. dlia stud. vyshchych tekhnichnykh navchalnykh zakladiv / [Kol. avtoriv; vidp. red. Bakhtiarova Kh.Sh.; nauk. red. Aristova A.V.; uporiadn. slovnyka Volobueva S.V.]. – K. : NTU, 2017. – 172 s. [in Ukrainian]
2. Dmytrychenko M.F., Tokin O.P., Kharchenko A.M. (2023). Rol kontroliu znan u zabezpechenni yakosti osvitnoho protsesu universytetu. Naukovyi zhurnal «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo», 2023. Vypusk 114. Chastyna 1. – S. 12-23. DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-012-023 [in Ukrainian]
3. Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. (1956). Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I: The Cognitive Domain. New York, NY: David McKay Co Inc. [in English]

4. Anderson L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives: Complete Edition*. New York: Longman. [in English]
5. Pometun O., & Hupan, N. (2019). Taksonomiia B. Bluma i rozvytok krytychnoho myslennia shkolariv na urokakh istorii. *Ukrainskyi Pedagogichnyi zhurnal*, (3), S. 50–58. <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2019-3-50-58> [in Ukrainian]
6. Proskura, S. L. (2020). Taksonomiia bluma v otsiniuvanni rezultativ osvithnoi diialnosti studentiv. *Zvitna naukova konferentsiia Instytutu informatsiinykh tekhnolohii i zasobiv navchannia NAPN Ukrainy. Zbirnyk materialiv Zvitnoi naukovoï konferentsii Instytutu informatsiinykh tekhnolohii i zasobiv navchannia NAPN Ukrainy: Zbirnyk materialiv naukovoï konferentsii*. – Kyiv: IITZN NAPN Ukrainy, 2020. – S.83-89. [in Ukrainian]
7. Odzhubeiska, O. D., Zubchenko, Yu. P., & Maliuchenko, M. M. (2023). Otsiniuvannia znan zdobuvachiv osvity v universyteti. *Materialy navchalno-naukovoï konferentsii z mizhnarodnoi uchashtiю «Medychna osvita za novyimi standartamy: vyklyky ta intehratsiia v mizhnarodnyi osvithniï prostir»*, 30 bereznia 2023 roku. – S. 185-187. [in Ukrainian]

УДК 624.21
UDC 624.21

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-025-034

**ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ АСИМЕТРІЇ
ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ**

**DETERMINING STRUCTURAL RELIABILITY CONSIDERING THE ASYMMETRY OF
DISTRIBUTION LAWS**



Medvediev Kostiantyn Volodymyrovych, PhD (Candidate of Sciences in Physics and Mathematics), Associate Professor, Professor of the Bridges and Tunnels Department of National Transport University,
e-mail: kvmedvediev@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-0704-7093>



Yevseichyk Yurii Borysovych, PhD (Candidate of Sciences in Physics and Mathematics), Associate Professor, Associate Professor of the Bridges, Tunnels and Hydraulic Structures Department of National Transport University, Kyiv, Ukraine,
e-mail: jura_ntu@ukr.net,

<https://orcid.org/0000-0002-3507-4734>



Yanchuk Leonid Leonidovych, PhD (Candidate of Engineering Sciences), Associate Professor, Associate Professor of the Bridges, Tunnels and Hydraulic Structures Department of National Transport University,
e-mail: leonid.ianchuk@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0003-1269-1251>



Parovenko Oksana Mykytivna, PhD (Candidate of Engineering Sciences), Associate Professor, Associate Professor of the Bridges, Tunnels and Hydraulic Structures Department of National Transport University,
e-mail: olenik.lia@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0001-8872-8415>.



Kozachenko Kateryna Pavlivna, student of the National University of «Kyiv-Mohyla Academy»,
e-mail: katren.clsb@gmail.com,

<https://orcid.org/0009-0007-3121-000X>

Abstract. In the calculations of structural reliability, it is mainly considered that the laws of distribution of random values of resistance and load effect obey the normal law (Gauss's law).

This law is convenient to use and the most widespread. Therefore, it has found wide application in reliability theory for solving most problems. The law of distribution is symmetric, that is, random variables are distributed symmetrically relative to its center (mathematical expectation). But, as experimental studies show, both the material resistance and the load effect on the structure in most cases are subject to asymmetric laws. The asymmetry of the material resistance can be neglected in most practical cases, but failure to take into account the asymmetry of the load effect can lead to significant errors in determining structural reliability.

The authors chose two laws with different degrees of positive asymmetry to approximate the load distribution, namely gamma and lognormal laws. The normal (symmetric) law was used for the resistance distribution law. The results of reliability calculations that take into account different load distribution laws are presented in the form of a table and a graph. The graph shows the dependence of structural reliability on the reliability index for symmetric (P_N) and asymmetric (P_{NG} , P_{NL}) laws.

All calculations were performed using the Mathcad complex, which allows calculating values with sufficient accuracy. The issue of how to choose the distribution law for the load effect obviously depends on the operation mode of a particular bridge and should be based on appropriate statistical studies.

The purpose of this paper is to show the need for taking into account the law of asymmetry in order to determine the structural reliability. Eurocode norms also require to take into account the asymmetry of distribution laws.

Keywords: structural reliability, normal distribution law, safety factor, asymmetric distribution laws, reliability index.

Introduction. In most calculations of structural reliability, the assumption is made that the laws of the distribution of random variables are subject to a normal law (Gauss's law). This approach, although convenient and widely used, has a significant drawback: it assumes a symmetric distribution relative to the mathematical expectation. However, experimental data confirm that the material resistance and load effects on structures are often subject to asymmetric laws.

Papers[1 - 3] show that the mass of motor vehicles with an extreme load has a multimodal nature of distribution under two modes which corresponds to different types of vehicles.

Paper[4] considered separate problems that required the presentation of joint distributions and reliability indexes of bearing capacity. Certain combinations or differences in resistance and load effect distributions were obtained for this purpose.

In order to take into account the asymmetry of the distribution laws of temporary load effect on bridges, two laws - gamma and lognormal which differ in the degree of asymmetry - are considered in the paper. According to the authors, such laws more adequately correspond to real temporary load effects. In addition, in these distributions, asymmetry depends on the coefficient of variation, which in the future will provide an opportunity to take into account the nature of the load. The performed calculations indicate that ignoring asymmetry can significantly affect the determination of structural reliability and lead to the incorrect assessment of their real operational state. For this, convolution formulas are used, the analytical expressions of which are presented in the paper. Examples of joint distributions based on the proposed formulas are given. They can be asymmetric and significantly differ from the normal distribution when solving problems of structural reliability.

The purpose of this paper is to demonstrate the importance of taking into account the asymmetry of laws when determining structural reliability. This consideration is mandatory according to the Eurocodes [5] and helps more accurately assess the real operating state of structures with different load conditions.

Presenting main material. According to the classical reliability theory [6,7], the reliability of a structure (or its element) is the probability that the value of the generalized safety reserve will have a positive value, i.e.:

$$P = \text{Prob}(S > 0), \quad (1)$$

where P is structural reliability ; S is safety reserve.

The safety reserve is defined as the difference of two random values: the generalized resistance of the element R and the generalized load effect E :

$$S = R - E. \quad (2)$$

According to probability theory, when the laws of distribution of R and E values are known, we can determine the distribution law of safety reserve, which we denote by p_s . Taking into account (1), the reliability of the structure P and the value $V=1-P$, which is called the probability of failure, are determined as:

$$V = \int_{-\infty}^0 p_s(s)ds, \quad P = \int_0^{\infty} p_s(s)ds. \quad (3)$$

The geometric meaning of the values P and V is that their values are equal to the area under the distribution curve of the safety reserve $p_s(s)$. When $s > 0$, this area corresponds to the reliability of the structure P . When $s < 0$, the area corresponds to the probability of failure of V (Figure 1)

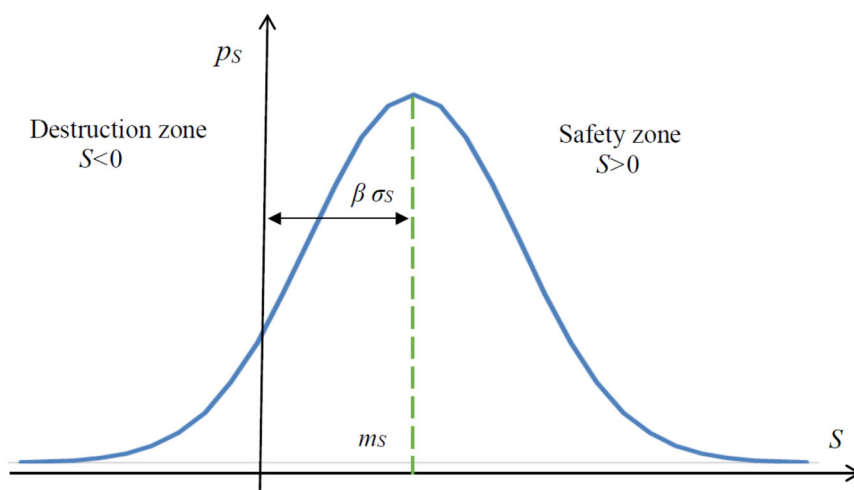


Figure 1 – Distribution function of the safety reserve under the normal distribution law
Рисунок 1 – Функція розподілу резерву міцності при нормальному законі розподілу

In most cases, the values R and E can be considered independent random variables. Then, under random distribution laws of R and E , the mathematical expectation of m_s and the mean square deviation of the safety reserve σ_s are determined by the formulas:

$$m_s = m_R - m_E, \quad \sigma_s = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}, \quad (4)$$

where m_R , m_E are mathematical expectations, σ_R , σ_E are standards for the distribution of generalized resistance and load effect, respectively.

We denote by β the quantity called a reliability index:

$$\beta = \frac{m_s}{\sigma_s}. \quad (5)$$

The value of β was first proposed in [6]. It plays an extremely important role in the theory of reliability. As it can be seen from Figure 1, the reliability index determines the number of standards that are placed in the interval from $s = 0$ to $s = m_S$, and this is true for any distribution laws. Taking into account (4), the reliability index β can be written in the form:

$$\beta = \frac{m_R - m_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}}. \quad (6)$$

Let us denote by ξ the determined value which is called a reliability index:

$$\xi = \frac{m_R}{m_E}. \quad (7)$$

Then equation (6) takes the form:

$$\beta = \frac{\xi - 1}{\sqrt{C_E^2 + \xi^2 C_R^2}}, \quad (8)$$

where $C_R = \frac{\sigma_R}{m_R}$, $C_E = \frac{\sigma_E}{m_E}$ are coefficients of variation of R and E , respectively.

The formula for determining the reliability index (8) has an advantage over formula (6), because the coefficients of variation can be estimated even with insufficient statistical information regarding the structural resistance and the load effect. In addition, when the load changes or the cross-sectional dimensions of structural elements change, C_R and C_E variations remain unchanged.

In most reliability calculations, distribution laws for the random variables R and E are assumed to be in the form of a normal distribution:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad -\infty < x < \infty. \quad (9)$$

This law is the most studied, so it is widely used in probability theory. The main advantage of this distribution law is stability: the sum or difference of a normal distribution of random variables is also a value under a normal distribution law. Thus, if the random variables R and E have a normal distribution (9), then the safety reserve S will also have a distribution according to the same law, and its parameters m_S and σ_S will be determined according to (4):

$$p_S(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_S} e^{-\frac{(s-m_S)^2}{2\sigma_S^2}}. \quad (10)$$

Considering (10), the reliability of P_N structure under normal distribution laws of R and E can be written in the form:

$$P_N = \frac{1}{2} + \Phi(\beta), \quad (11)$$

where $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ is the Laplace function.

Figure 1 shows a graphical representation of dependence (10). As it can be seen, the normal law is symmetric with respect to the mathematical expectation m , which in this case coincides with the mode M (the value with the greatest probability). In the general case, the distribution law of a random variable can be asymmetric (Figure 2), for which $m \neq M$.

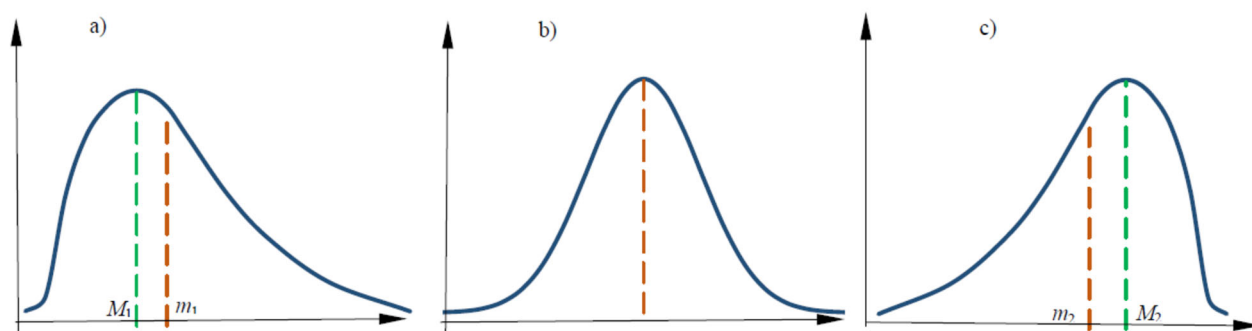


Figure 2 – Graphs of distribution functions

a) positive skewness b) normal distribution law c) negative skewness

Рисунок 2 – Графіки функцій розподілу:

a) з додатньою асиметрією $A > 0$; b) нормальний закон розподілу $A=0$ c) з від'ємною асиметрією $A < 0$

The application of formula (11) for calculating reliability is quite simple and convenient, which led to the widespread use of the normal distribution law for resistance and load effect in the form of (9). But this law has two significant shortcomings. The first is that the argument under a normal distribution varies from $-\infty$ to $+\infty$, although in their physical essence both resistance and load effect are purely positive quantities. The second disadvantage is that the normal law is symmetric.

It is known that the asymmetry of the distribution is characterized by the coefficient of skewness A , which in the case of a discrete series of values is equal to:

$$A = \frac{1}{n\sigma^3} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^3. \quad (12)$$

The distribution of a random variable can have both positive ($A > 0$) and negative ($A < 0$) skewness (Figure 2).

Under positive skewness (Figure 2 a), the mathematical expectation m_1 will be greater than the corresponding mode M_1 . This means that negative deviations from the average value (for example, reduced load effects) will be more often repeated than positive ones. For the distribution with the coefficient $A < 0$ (Figure 2 c), the situation will be the opposite. That is, load effects that are greater than average will be more often repeated. Asymmetry can be characterized both by the value of A itself and by its relation to the coefficient of a variable A/C .

Experimental studies showed that both the resistance and the load effect are random variables under asymmetric distribution laws. But since asymmetry is a rather insignificant value for resistance ($A/C < 1.2$), in most cases it can be neglected and it can be assumed that the generalized resistance is distributed according to the normal law, that is, it has a symmetrical shape.

As for the load effect distribution on bridges, based on the analysis of foreign scientific sources, the values of the A/C ratio can reach sufficiently large values (up to 3.5) (unfortunately, we did not find relevant data in domestic scientific sources). As shown by the calculations below, failure to take into account this asymmetry can lead to significant errors in determining structural reliability.

In the paper, the gamma and lognormal distribution laws were chosen to approximate the asymmetric law of load effect distribution with positive skewness. Further in the text, x will denote the value of the random

variable R (resistance), y - the value of the random variable E (load effect), and s - the random value of safety reserve S .

Gamma distribution:

$$p_{EG}(y) = \frac{\gamma^\gamma}{\Gamma(\gamma)m_E} \left(\frac{y}{m_E}\right)^{\gamma-1} e^{-\frac{y}{m_E}}; y > 0, \quad (13)$$

where $\Gamma(\gamma) = \int_0^\infty t^{\gamma-1} e^{-t} dt$ is the gamma function, and $\gamma = \frac{1}{C_E^2}$

Lognormal distribution:

$$p_{EL}(y) = \frac{1}{y\sqrt{2\pi\ln(1+C_E^2)}} e^{\frac{-\ln^2(\frac{y}{m_E}\sqrt{1+C_E^2})}{2\ln(1+C_E^2)}}; y > 0. \quad (14)$$

For the gamma distribution $A/C_E=2$, and for the lognormal law $A=3 C_E + C_E^3$.

Distributions (13) and (14) are defined for positive values of the argument, therefore, unlike the normal law, they do not contradict the physical essence of the load effect.

For the convenience of calculations and analysis of the obtained results, we introduce dimensionless quantities:

$$\bar{x} = \frac{x}{m_R}; \bar{y} = \frac{y}{m_R}; \bar{p} = p m_R. \quad (15)$$

In the dimensionless quantities (15), the distribution laws for load effects (13) and (14) for the generalized resistance (9) will take the form (the sign of the dimensionless quantity is omitted here and further):

$$p_{EG}(y) = \frac{\xi^\gamma}{\Gamma(\gamma)} (\xi y)^{\gamma-1} e^{-\gamma y \xi}, \quad (16)$$

$$p_{EL}(y) = \frac{1}{y\sqrt{2\pi\ln(1+C_E^2)}} e^{\frac{-\ln^2(y\xi\sqrt{1+C_E^2})}{2\ln(1+C_E^2)}}, \quad (17)$$

$$p_{RN}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}C_R} e^{-\frac{(x-1)^2}{2C_R^2}}, \quad (18)$$

where EG, EL, RN are indexes denoting the load effect with a gamma distribution, the load effect with a lognormal distribution, and the material resistance with a normal distribution, respectively.

According to the theory of probability, if the random variables R and E are distributed according to the laws $p_R(x)$ and $p_E(y)$, the law for the distribution of the random variable S is determined by the equation:

$$p_s(s) = \frac{d}{ds} \iint_D p_R(x) p_E(y) dx dy. \quad (19)$$

The area of integration D is the intersection of three areas:

- changes in the x argument (resistance);
- changes to the y argument (load effect);
- regions $(x - y) < s$.

The areas of change in x and y are determined by the accepted distribution laws. In the case of normal laws, the argument will vary from $-\infty$ to $+\infty$, and in the case of asymmetric distribution laws (13) and (14) from 0 to $+\infty$. When $s > 0$, region D is shown in Figure 3.

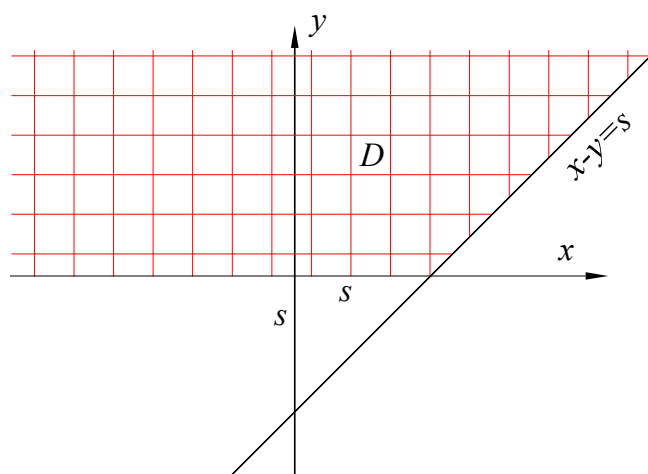


Figure 3 – Integration area D
Рисунок 3 – Область інтегрування D

Using the rule of differentiation of integral functions and taking into account the domain D for a combination of normal and gamma distributions, we obtain the general density of the distribution, which we denote by p_{SNG} :

$$p_{SNG}(s) = \int_0^{\infty} p_{RN}(y+s) p_{EG}(y) dy \quad (20)$$

Similarly, we obtain the distribution density for a combination of normal and lognormal laws:

$$p_{SNL}(s) = \int_0^{\infty} p_{RN}(y+s) p_{EL}(y) dy \quad (21)$$

Let us define the reliabilities P_{NG} i P_{NL} , which, according to (3), are the areas under the curves (20) and (21) when $s > 0$, as

$$P_{NG} = \int_0^{\infty} p_{SNG}(s) ds, \quad P_{NL} = \int_0^{\infty} p_{SNL}(s) ds \quad (22)$$

Table 1 shows the results of calculations of safety and reliability indexes that depend on the safety factor ξ for the selected coefficients of variation of the generalized resistance and load effect $C_R = 0,1$, $C_E = 0,35$.

ξ	$\square$	P_N	P_{NL}	$\Delta \cdot 100$	P_{NG}	$\Delta \cdot 100$
1,5	1,3130643	0,90541936	0,90164338	0,420	0,89907291	0,710
1,7	1,7990163	0,96399195	0,94975915	1,500	0,95203785	1,260
2,0	2,4806947	0,99344367	0,98206644	1,160	0,98569175	0,790
2,5	3,4874292	0,99975616	0,99676825	0,300	0,99837171	0,140
3,0	4,3386092	0,99999283	0,99938699	0,060	0,99983221	0,020
3,5	5,0507627	0,99999978	0,99987524	0,010	0,99998319	0,002
4,0	5,6443252	0,99999999	0,99997284	0,003	0,99999829	0,0002

In table 1 Δ denotes the percentage of the relative deviation of the reliability P_{NG} and P_{NL} (22) from the value of P_N , which is calculated according to formula (11).

As it can be seen from the analysis of the results presented in Table 1, for reliability indexes $\beta > 2,5$ the deviations of the reliability P_{NG} and P_{NL} from P_N are sufficiently small. This means that the asymmetry of the load effect distribution can be neglected with sufficient accuracy in this case. When β decreases from 2,5 to 1,5 percent, the deviation of the reliability P_{NG} and P_{NL} from P_N increases and can reach $\Delta \approx 1,5\%$.

Since the structural reliability, according to the current DSTU [8], can vary in a small range (approximately from 1 to 0,95), the error, which is 1,5%, is quite significant.

Figure 4 presents graphs of P_{NG} , P_{NL} and P_N dependencies on the value of the reliability index β .

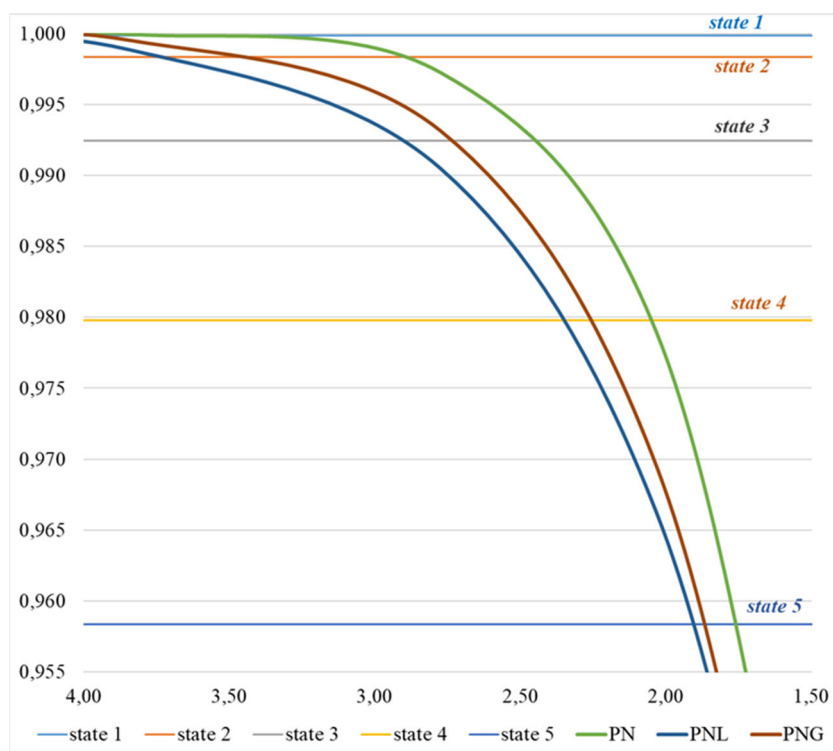


Figure 4 – Dependence of reliability on the reliability index β under symmetric(P_N) and asymmetric(P_{NG} , P_{NL}) distribution laws

Рисунок 4 – Залежність надійності від коефіцієнта безпеки β при симетричному (P_N) і асиметричних (P_{NG} , P_{NL}) законах розподілу

The horizontal lines show the levels of reliability, which according to [8] correspond to the numbers of operational state: from state 1 (in service) to state 5 (out of service). As it can be seen from the above graphs, when $\beta < 2,5$, failure to take into account the asymmetry of the distribution law can lead to an overestimated number of the operational state under which the structure actually is. For example, taking into account the normal distribution, if $\beta=2,2$, the reliability $P_N = 0,9862$, which corresponds to operational state 3, but at the same time, taking into account the lognormal distribution, the reliability will be $P_{NL} = 0,9724$, which corresponds to state 4 of the structure. Such a situation with the determination of states, the numbering of which depends on the level of the bridge maintenance, is quite dangerous. Especially when it concerns structures that are in states 3 or 4.

Summary. The work shows that when calculating the structural reliability in order to determine the structure's operational state, the calculations should be carried out taking into account the asymmetry of the distribution law for the generalized load effect. In most cases, in practice, a symmetrical, normal distribution law can be chosen for the generalized structural resistance. As for asymmetric distribution laws, we propose to choose either the gamma distribution (for the case of medium asymmetry $A/C=2$) or the lognormal distribution (for large asymmetry $A/C\approx 3$). In cases of greater or negative asymmetry, it is necessary to apply more complex (three-parametric) distribution laws, which are not examined in this paper. The definition of the type of asymmetric law should be based on specially conducted experimental studies.

References

1. Yu, Yang, "An Enhanced Bridge Weigh-in-motion Methodology and A Bayesian Framework for Predicting Extreme Traffic Load Effects of Bridges" (2017). LSU Doctoral Dissertations. 4140. https://repository.lsu.edu/gradschool_dissertations/4140
2. Xuejing Wang, Xin Ruan, Joan R. Casas, Mingyang Zhang Probabilistic model of traffic scenarios for extreme load effects, Structural Safety, 106 (2024) 102382, ISSN 0167-4730, <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2023.102382>
3. Thomas Braml, Christian Kainz Practical concepts for the use of probabilistic methods in the structural analysis and reassessment of existing bridges - presentation of latest research and implementation, Acta Polytechnica CTU Proceedings 36:47–58, 2022, <https://doi.org/10.14311/APP.2022.36.0047>.
4. Pichugin S.F. Calculation of the reliability of building structures / S.F. Pichugin - Poltava: ASMI LLC, 2016 - 520 p.
5. DSTU-N B EN 1990:2002 Eurocode 0. Fundamentals of structural design (EN 1990:2002, IDT) - K.: Minregion, 2013. - 8 p.
6. Rzhanytsyn A.R. Theory of calculation of building structures for reliability / A.R. Rzhanytsyn. - Moscow: Stroyizdat, 1978 - 239 p.
7. Gnedenko B.V. Mathematical methods in the theory of reliability / B.V. Gnedenko, Y.K. Belyaev, A.D. Solov'yev. - Moscow: Nauka, 1965. - 524 p.
8. DSTU 9181:2022 "Guidelines for assessment and forecasting of the technical condition of road bridges". Ministry of Regional Development of Ukraine, K.: 2022.

ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ АСИМЕТРІЇ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ

Медведєв Костянтин Володимирович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри мостів, тунелі та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail, e-mail: kvmedvediev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0704-7093>

Євсейчик Юрій Борисович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелі та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: jura_ntu@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3507-4734>

Янчук Леонід Леонідович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелі та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: leonid.ianchuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1269-1251>

Паровенко Оксана Микитівна, кандидат технічних наук, , доцент, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: olenik.lia@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8872-8415>.

Козаченко Катерина Павлівна, студентка Національного університету «Киево-Могилянська академія», Київ, Україна, e-mail: katren.clsb@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-3121-000X>

Висновки. У роботі показано, що при розрахунку надійності конструкції з метою визначення її експлуатаційного стану обчислення слід проводити з урахуванням асиметрії закону розподілу для узагальненого навантаження. В більшості випадків, на практиці, для узагальненої міцності конструкції можна вибирати симетричний, нормальний закон розподілу. В якості асиметричних законів розподілу пропонується вибирати або гамма розподіл (для випадку середньої асиметрії $A/C=2$) або логнормальний розподіл (при великій асиметрії $A/C\approx 3$). У випадках більшої або від'ємної асиметрії необхідно застосовувати більш складні (трьох параметричні) закони розподілу, які в даній роботі не розглядаються. Визначення типу асиметричного закону має базуватись на спеціально проведених експериментальних дослідженнях.

Ключові слова: надійність конструкцій, нормальний закон розподілу, коефіцієнт безпеки, асиметричні закони розподілу, характеристика безпеки

Перелік посилань

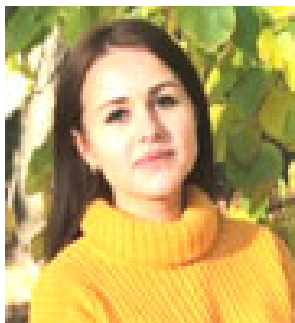
1. Yu, Yang, "An Enhanced Bridge Weigh-in-motion Methodology and A Bayesian Framework for Predicting Extreme Traffic Load Effects of Bridges" (2017). LSU Doctoral Dissertations. 4140. https://repository.lsu.edu/gradschool_dissertations/4140
2. Xuejing Wang, Xin Ruan, Joan R. Casas, Mingyang Zhang Probabilistic model of traffic scenarios for extreme load effects, Structural Safety, 106 (2024) 102382, ISSN 0167-4730, <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2023.102382>
3. Thomas Braml, Christian Kainz Practical concepts for the use of probabilistic methods in the structural analysis and reassessment of existing bridges - presentation of latest research and implementation, Acta Polytechnica CTU Proceedings 36:47–58, 2022, <https://doi.org/10.14311/APP.2022.36.0047>.
4. Пічугін С.Ф. Розрахунок надійності будівельних конструкцій / С.Ф. Пічугін. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2016 – 520 с.
5. ДСТУ-Н Б EN 1990:2002 Єврокод 0. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDT). – К.: Мінрегіон, 2013. – 8 с.
6. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1978 – 239 с.
7. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
8. ДСТУ 9181:2022 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів» Мінрегіон України, К.: 2022.

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-035-040

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ НА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
АВТОДОРОЖНІХ МОСТАХ**

**INCREASING THE DURABILITY OF PAVEMENT ON REINFORCED CONCRETE
ROAD BRIDGES**



Мірчук Ірина Олегівна, аспірант, кафедра «Мости, тунелі і гідротехнічні споруди» Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: ira.mirchuk@ukr.net, тел. +380936718902,

<https://orcid.org/0000-0003-3928-4293>

Анотація: Автодорожні мости є важливою складовою транспортної інфраструктури, оскільки забезпечують безперебійний рух автомобільного транспорту та перевезення вантажів. У зв'язку з особливостями роботи асфальтобетонного покриття на мостах із залізобетонною плитою проїзної частини, а також негативним впливом погодних умов та застосуванням протиожеледних матеріалів, таке покриття більш часто піддається утворенню дефектів.

З метою мінімізації утворення пошкоджень дорожнього покриття на автодорожніх мостах та збільшити його довговічність, необхідно забезпечити покращення певних аспектів звичайних асфальтобетонних сумішей таких як стійкість до колієутворення та тріщин.

На сьогоднішній день одним з методів забезпечення підвищеної довговічності асфальтобетонних покриттів є проведення модифікації асфальтобетонних сумішей чи бітумного в'язучого.

Використання асфальтобетонних покриттів підвищеної довговічності є ефективним методом збільшити міжремонтні терміни та як наслідок зменшити витрати на експлуатаційне утримання автодорожніх мостів. А використання асфальтобетонних сумішей модифікованих гумовою крихтою так забезпечить часткове вирішення екологічної проблеми, такої як накопичення відходів гумової промисловості.

Ключові слова: дорожній бітум, модифікація бітумного в'язучого, асфальтобетон, асфальтобетонні суміші.

Вступ

Одним з основних завдань конструкції дорожнього одягу на мостових спорудах є забезпечення безпечного, комфортного та безперебійного руху автомобільного транспорту, а також захист несних конструкцій від руйнівного впливу води та протиожеледних реагентів. На сьогоднішній день асфальтобетонне покриття на автодорожніх мостах є найбільш практичним та найпоширенішим.

Дорожній одяг на автодорожніх мостах з часом все частіше руйнується під впливом збільшення транспортно навантаження та відсутності необхідного фінансування для дотримання міжремонтних

термінів. Серед основних дефектів асфальтобетонного покриття на мостових спорудах, необхідно відзначити утворення колійності, тріщини, сітки тріщин, викришування та вибоїни.

Наявність дефектів в асфальтобетонному покритті проїзної частини на залізобетонних автодорожніх мостах унеможливають безпечний рух автомобільного транспорту та потребують робіт з їх ліквідації.

Оскільки конструкція дорожнього одягу, яка передбачає влаштування традиційний асфальтобетонних сумішей, більш часто піддається впливу негативних факторів, то постає питання необхідності покращення їх фізико – механічних показників.

Для можливості забезпечення довговічності асфальтобетонного покриття доцільним є використання модифікуючих добавок, серед яких гумова крихта.

Проведення модифікації асфальтобетонних сумішей виконують за двома найбільш поширеними технологіями, а саме так званою «мокрою» та «сухою». При «мокрій» технології проводять модифікацію бітумного в'язучого на основі якого виготовляють асфальтобетонні суміші. А при «сухий» технології гумову крихту вводять безпосередньо під час приготування сумішей.

Матеріали та методи. Проведено випробування асфальтобетонів модифікованих гумовою крихтою у відповідності до діючих нормативних документів України. Для проведення випробування було використано спеціальний реактор для приготування модифікованого бітумного в'язучого.

Проведення модифікації асфальтобетонних сумішей було виконано за «мокрою» та «сухою» технологіями. При проведенні досліджень гумову крихту було введено введеною кількості 5,0%, 7,0% та 10 %. Під час проведення дослідження були використані наступні матеріали:

- гумова крихта, яка отримана за термозсувною технологією (фракції 0-0,25 мм; 0,2-5 мм; 0,5-1,0 мм; 1,0-2,0 мм) яка відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-311:2016;
- бітумне в'язуче марки БНД 70/100, який відповідає вимогам ДСТУ 4044:2019;
- щебінь гранітний фракції 5-10 мм, який відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-75-98;
- пісок із відсівів подрібнення вивержених гірських порід фракції 0-5 мм, який відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-32-95;
- вапняковий мінеральний порошок який відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-121:2014.

Метою роботи є розгляд питання підвищення довговічності дорожнього покриття на залізобетонних автодорожніх мостах.

Виклад основного матеріалу. Конструкція дорожнього одягу на залізобетонних автодорожніх мостах, зокрема її задовільний технічний стан має важливе значення як для забезпечення безпечного та комфортного руху автомобільного транспорту, так і надійної експлуатації споруди в цілому. Оскільки асфальтобетонне покриття, першочергово сприймає навантаження від автомобільного транспорту, а також негативного впливу показників температурного коливання, то при його влаштуванні необхідно передбачити використання будівельних матеріалів, які зможуть забезпечити надійну довговічність.

Одним з найпоширеніших методів підвищення довговічності асфальтобетонного покриття, зокрема на залізобетонних автодорожніх мостах є застосування модифікуючих добавок, зокрема гумової крихти. Досвід експлуатації таких покриттів показують, що вони є більш стійкими до утворення деформацій під впливом різних факторів, у порівнянні з традиційними покриттями.

Проведення випробувань показників як традиційних так і модифікованих гумовою крихтою асфальтобетонних сумішей виконувалось у відповідності ДСТУ Б.В.2.7-319:2016 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробування».

Аналіз результатів визначення середньої густини випробувальних зразків, що при збільшенні вмісту гумової крихти даний показник має поступове зменшення (рис.1). Так при додаванні 5% гумової крихти за «мокрою» технологією він зменшується у 0,994 рази, а при «сухій» за такої ж кількості добавки у 0,989 раз. При модифікації бітуму гумовою крихтою у кількості 7% значення середньої густини у порівнянні з вихідним матеріалом зменшилося у 0,992 рази та при безпосередньому введенні – 0,987 раз. Також, зменшення показника спостерігається і при вмісті крихти 10%, а саме при «морій» технології відбулось його зменшення у 0,988 рази, «сухій» у 0,98 рази.

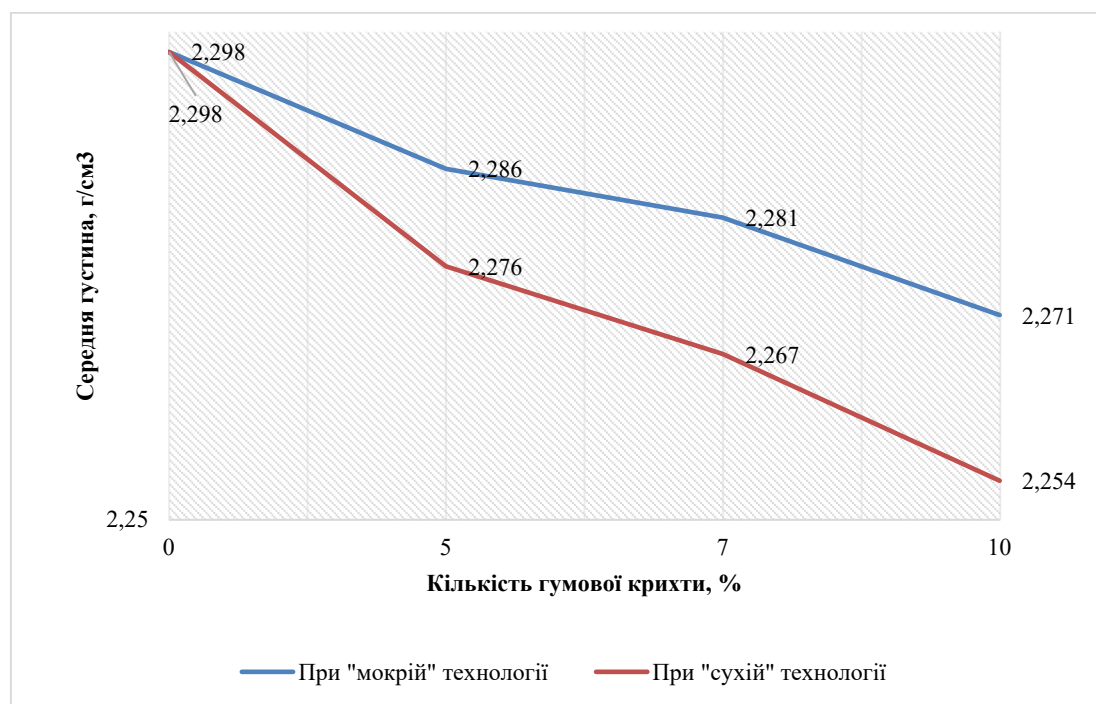


Рисунок 1 – Залежність показника середньої густини від кількості гумової крихти та технології її введення

Figure 1 – Dependence of the average density on the amount of rubber crumb and the technology of its introduction

Також проведено аналіз залежності водонасичення асфальтобетонних зразків від вмісту гумової крихти (рис.2). Так, при вмісті 5% гумової крихти значення показника водонасичення збільшується на 4,76% та 0,95% при «мокрій» та «сухій» технологіях відповідно. Також, при модифікації бітумного в'язучого значення показника у порівнянні з вихідним матеріалом збільшується на 14,29%, а при безпосередньому введенні на 7,14%. При подальшому збільшенні вмісту гумової крихти до 10% значення показника водонасичення має більш інтенсивний ріст та становить 47,62% та 19,05% при «мокрій» та «сухій» технологіях відповідно у порівнянні з значенням вказаного показника вихідного матеріалу.

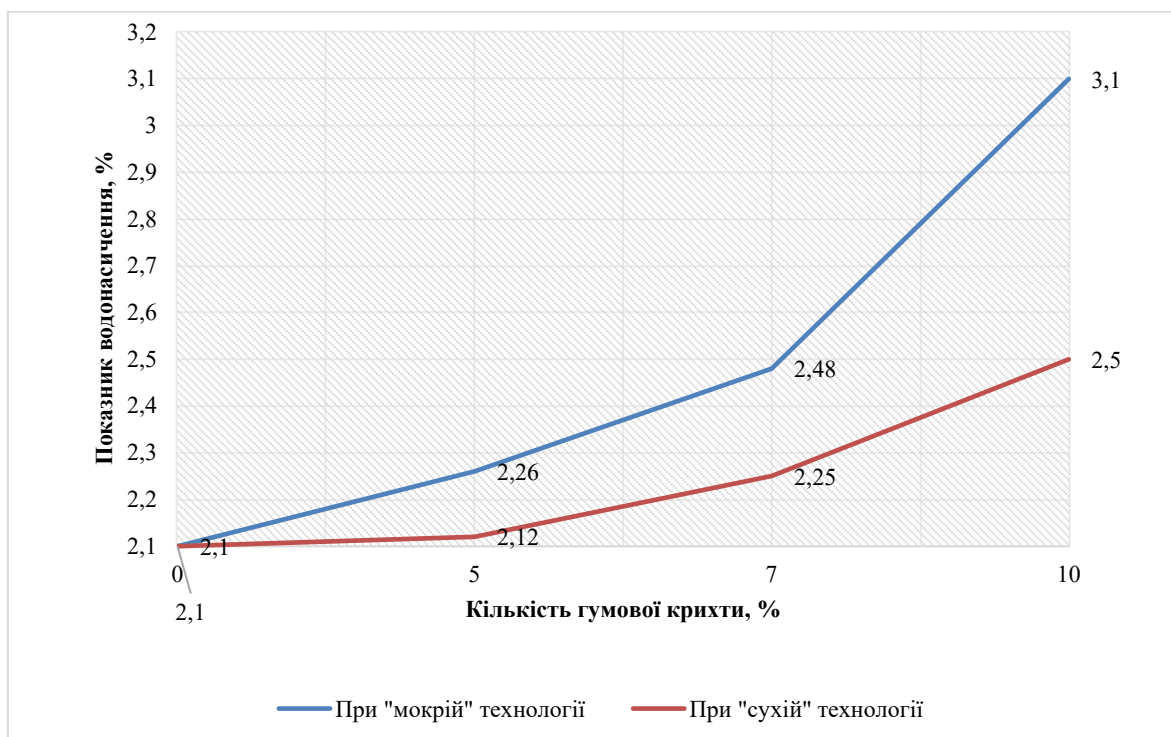


Рисунок 2 – Залежність показника водонасичення від кількості гумової крихти та технології її введення

Figure 2 – Dependence of the water saturation index on the amount of rubber crumb and the technology of its introduction

Проводячи аналіз отриманих результатів випробування було встановлено залежність температурної чутливості асфальтобетонних зразків від вмісту гумової крихти (рис.3), для чого проведено випробування міцності на стиск за температури 0°C та 50°C.

Так показник температурної чутливості асфальтобетонних зразків при приготуванні асфальтобетонних сумішей на модифікованому гумовою крихтою бітумному в'язучому у кількості 5%, 7% та 10% зменшився у 0,727 рази, 0,717 рази та 0,612 рази відповідно. А при безпосередньому введенні гумової крихти до асфальтобетонної суміші у кількості 5%, 7% та 10% зменшився у 0,868 рази, 0,878 рази та 0,91 рази у порівнянні з зразками, які не піддавались проведенню модифікації.

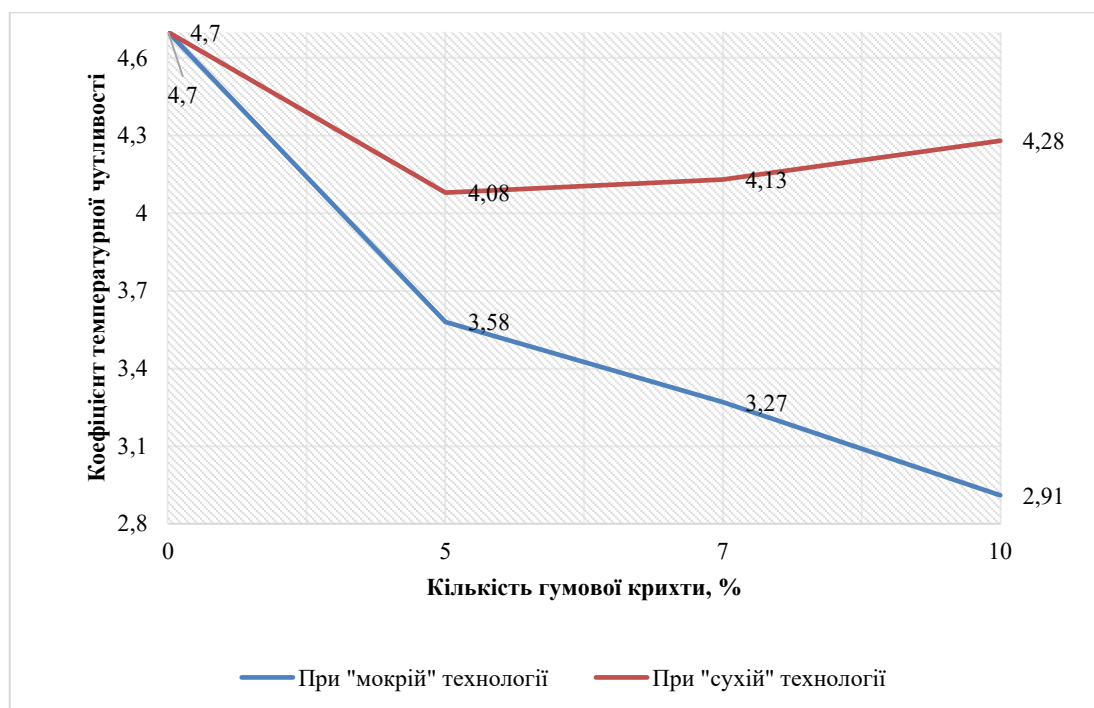


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта температурної чутливості від кількості гумової крихти та технології її введення

Figure 3 – Dependence of the temperature sensitivity coefficient on the amount of rubber crumb and the technology of its introduction

Висновки. За результатами проведених досліджень встановлено вплив гумової крихти на фізико – механічні показники асфальтобетонних зразків.

Застосування гумової крихти для проведення модифікації асфальтобетонних сумішей має позитивний вплив на підвищення їх показників. Влаштування конструкції дорожнього одягу, яка передбачає використання асфальтобетонних сумішей модифікованих гумовою крихтою, дасть змогу підвищити довговічність асфальтобетонних покриттів на залізобетонних мостових спорудах.

Перелік посилань

1. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови.
2. ДСТУ Б В.2.7-32-95 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови.
3. ДСТУ Б В.2.7-121:2014 Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови.
4. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови.
5. ДСТУ Б В.2.7-311:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній, модифіковані гумовою крихтою. Технічні умови.
6. ДСТУ Б.В.2.7-319:2016 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробування».

INCREASING THE DURABILITY OF PAVEMENT ON REINFORCED CONCRETE ROAD BRIDGES

Mirchuk Iryna Olehivna, PhD student, Department of Bridges and Tunnels National transport university, e-mail: ira.mirchuk@ukr.net, +380936718902, <https://orcid.org/0000-0003-3928-4293>

Summary. Highway bridges are an important part of the transportation infrastructure, as they ensure the uninterrupted movement of vehicles and cargo. Due to the peculiarities of asphalt pavement operation on bridges with reinforced concrete roadway slabs, as well as the negative impact of weather conditions and the use of deicing materials, such pavement is more often subject to defects.

In order to minimize pavement damage on road bridges and increase their durability, it is necessary to improve certain aspects of conventional asphalt mixtures, such as rutting and cracking resistance.

Today, one of the methods to ensure increased durability of asphalt pavements is to modify asphalt mixtures or bituminous binders.

The use of asphalt concrete pavements with increased durability is an effective method to increase the overhaul period and, as a result, reduce the cost of maintenance of road bridges. And the use of asphalt mixtures modified with rubber crumb will provide a partial solution to the environmental problem, such as the accumulation of waste from the rubber industry.

Keywords: road bitumen, bitumen binder modification, asphalt concrete, asphalt mixtures.

References

1. DSTU B V.2.7-75-98 Construction materials. Dense natural crushed stone and gravel for building materials, products, structures and works. Technical conditions.
2. DSTU B V.2.7-32-95 Building materials. Natural dense sand for building materials, products, structures and works. Technical conditions.
3. DSTU B V.2.7-121:2014 Mineral powder for asphalt mixtures. Technical specifications.
4. DSTU 4044:2019 Petroleum road viscous bitumen. Technical specifications.
5. DSTU B B.2.7-311:2016 Asphalt concrete and road asphalt mixtures modified with rubber crumb. Technical specifications.
6. DSTU B.V.2.7-319:2016 "Asphalt concrete mixtures and road and airfield asphalt concrete. Test methods".

УДК 656.13.05
UDC 656.13.05

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-041-048

INFLUENCE OF PASSENGER ROUTE TRANSPORT ON TRAFFIC SAFETY ON THE
STREET AND ROAD NETWORK

ВПЛИВ ПАСАЖИРСЬКОГО МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ НА БЕЗПЕКУ
ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ



Volodymyr Polishchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Transport Systems and Traffic Safety tsbdr@ukr.net, phone: +38 (044) 280-48-85,

<https://orcid.org/0000-0003-3145-7225>



Stanislav Popov, National Transport University, Department of Transport Systems and Traffic Safety, popov@ntu.edu.ua, phone: +38 (044) 280-48-85,

<https://orcid.org/0000-0002-9373-2934>

Abstract. The public transport comprises homogeneous vehicle movement. The motion of public transport passing through a road section exhibits signs of stationarity, hence formulating the stated scientific task. The paper proposes to assess the safety level of passenger public transport movement by deviations of the movement characteristics of public transport vehicles from the characteristics of the flow vehicles. The analysis conducted by the authors and the corresponding synthesis of the general conditions of passenger public transport movement in traffic flow on public roads allowed formulating a system of interaction between three elements: traffic flow, passenger transport vehicles, and road conditions. The provided criteria for deviation of the movement characteristics of passenger public transport vehicles from the characteristics of the traffic flow subsequently enable the evaluation of the danger level on the route. The proposed overall characteristic indirectly allows evaluating the safety level of passenger public transport movement on roads according to the provisions of traffic flow theory.

To formulate general characteristics regarding the consideration of road safety at sections and nodes of the street-road network through which the route passes in the methodology of calculating urban bus transportation routes.

Key words: traffic flow characteristics, accident rates, intersection analysis, street network, traffic safety, bus route planning.

Discussion

Under current conditions of passenger transportation organization in Ukraine, a significant number of road traffic accidents (RTAs) involving public transport vehicles are recorded, with not only an increase in the number of RTAs noted, but also their severity [1, 10, 15, 17]. The majority of RTAs involving public transport vehicles occur with the participation of buses operating on urban routes. Among the main reasons for these RTAs, the following are officially recognized by statistics: driver indiscipline, expressed in their violation of basic rules of the road such as speeding, overtaking rules violations, stopping the bus at unauthorized locations along the route; non-compliance with the technical condition requirements of the rolling stock of public transport vehicles, which primarily involves the operation of buses beyond their service life without major repairs, malfunctioning of instruments on the driver's dashboard (especially speedometers); non-compliance with the requirements of road conditions and traffic conditions at the location of the RTA occurrence. When analyzing the stated reasons for RTAs, the fact that buses move along the street-road network strictly according to the designated route (without the possibility of bypassing complex road sections) and in conditions of variable traffic flows is not taken into account. Additionally, it is necessary to note that the route passport takes into account the presence of RTA concentration points and their number along the route length, but this data does not affect route calculations. Also, the fact that during the bus route journey, it sequentially passes a certain number of these specified locations for each trip is not considered [2]. Thus, the safety of public transportation should be considered as including not only the safety of the vehicle's movement directly on the route but also the safety of movement on sections and nodes of the street-road network through which the route passes. The stated generalized scientific problem allows formulating a more specific task to be addressed in this work within the following objective.

Research design and methods

Road conditions at intersections and sections of the street-road network through which the respective bus route is planned or passes are the same for both traffic flows moving through the area and for the corresponding bus transportation vehicles. This characteristic reveals the absence of the need for detailed research into the impact of road conditions on the safety of bus transportation because it operates practically under the same conditions as the general traffic flow. Therefore, this impact has already been studied in the context of analyzing the overall impact of road conditions on road safety [3, 4]. It is important to emphasize that under the conditions of a specific traffic flow on a corresponding road section, a separate system of "traffic flow - road conditions" is formed [5, 6]. It has its own operating regularities, its level of traffic convenience [7, 8], and, consequently, its level of traffic safety, which can be quantitatively assessed based on road traffic accident (RTA) statistics on the specified road section. When introducing the considered road section into the composition of a specific route, additional transportation vehicles enter the formed traffic flow [9]. Bus transportation vehicles enter the traffic flow not as separate additional vehicles but as a separate traffic flow, which, unlike the flow formed on the road section, has significant differences, including: the traffic flow of bus transportation vehicles includes a fairly defined uniform composition, which also has significant geometric dimensions; the speeds of transportation vehicles in the traffic flow of bus transportation vehicles are close to each other and to the speed specified during the route development in the schedule, which according to traffic flow theory can be considered as the speed of the indicated traffic flow; the density of the traffic flow of bus transportation vehicles is also fairly defined because it is properly predicted by the schedule. The degree of influence of bus transportation on the traffic flow on the street section can be quantitatively assessed by the

following main characteristics: the proportion of bus transportation vehicles in the traffic flow per hour during peak traffic intensity; the difference between the speed of bus transportation vehicles (according to the schedule) and the speed of the traffic flow per hour during peak traffic intensity; the degree of change in traffic flow intensity when introducing bus transportation vehicles into the traffic flow per hour during peak traffic intensity; the degree of change in traffic flow density when introducing bus transportation vehicles into the traffic flow per hour during peak traffic intensity [10]. According to the proposed characteristics for assessing the degree of influence of bus transportation on the traffic flow on the street section, the following formulas for their calculation are suggested: the proportion of bus transportation vehicles in the traffic flow:

$$\Delta_1 = \frac{n_M}{n_\Sigma}, \quad (1)$$

n_M - the number of bus transportation vehicles observed during field observations of the traffic flow at the road intersection on the corresponding street section per hour during peak traffic intensity, expressed in units;

n_Σ - the total number of vehicles observed during field observations of the traffic flow at the road intersection on the corresponding street section per hour during peak traffic intensity, expressed in units;

- the difference between the speed of bus transportation vehicles (according to the schedule) and the speed of the traffic flow per hour during peak traffic intensity:

$$\Delta_2 = \frac{\frac{1}{n_M} \sum_{i=1}^{n_M} V_i}{\frac{1}{n_\Sigma} \sum_{j=1}^{n_\Sigma} V_j}, \quad (2)$$

V_i - the speed of the i-th bus transportation vehicle observed during field observations of the traffic flow at the road intersection on the corresponding street section per hour during peak traffic intensity, km/h.;

V_j - the speed of the j-th vehicle observed during field observations of the traffic flow at the road intersection on the corresponding street section per hour during peak traffic intensity, km/h.;

- the degree of change in traffic flow intensity when introducing bus transportation into the traffic flow per hour during peak traffic intensity;

$$\Delta_3 = \frac{N_\Sigma - N_M}{N_\Sigma} = \frac{n_\Sigma - n_M}{n_\Sigma}, \quad (3)$$

N_M - the traffic intensity of bus transportation vehicles observed during field observations of the traffic flow at the road intersection on the corresponding street section per hour during peak traffic intensity, vehicles/hour;

N_{Σ} - The total traffic intensity of vehicles observed during field observations of the traffic flow at the road intersection on the corresponding street section per hour during peak traffic intensity, vehicles per hour;

- the degree of change in traffic flow density upon the introduction of bus transportation into the traffic flow per hour during peak traffic intensity;

$$A_4 = \frac{q_{\Sigma} - q_M}{q_{\Sigma}} = \frac{\frac{N_{\Sigma}}{\frac{1}{n_{\Sigma}} \sum_{j=1}^{n_{\Sigma}} V_j} - \frac{N_M}{\frac{1}{n_M} \sum_{i=1}^{n_M} V_i}}{\frac{N_{\Sigma}}{\frac{1}{n_{\Sigma}} \sum_{j=1}^{n_{\Sigma}} V_j}} = 1 - \frac{n_M}{n_{\Sigma}} \cdot \frac{\frac{1}{n_{\Sigma}} \sum_{j=1}^{n_{\Sigma}} V_j}{\frac{1}{n_M} \sum_{i=1}^{n_M} V_i} = 1 - \left(\frac{n_M}{n_{\Sigma}} \right)^2 \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n_{\Sigma}} V_j}{\sum_{i=1}^{n_M} V_i}, \quad (4)$$

q_M - the traffic density of bus transportation vehicles observed during field observations of the traffic flow on the segment of the corresponding street section per hour during peak traffic intensity, vehicles per kilometer;

q_{Σ} - the total traffic density of vehicles observed during field observations of the traffic flow on the segment of the corresponding street section per hour during peak traffic intensity, vehicles per kilometer;

The proposed characteristics (1)...(4) enable a quantitative assessment of the impact of bus transportation on the main characteristics of traffic flow on the street segment. Moreover, these characteristics can be relatively easily determined and calculated experimentally [11]. Evaluating these characteristics is also straightforward: minimal impact - the characteristics approach unity; significant impact - the characteristics approach zero.

As a general characteristic of the impact of bus transportation on traffic flow on the respective street segment, the following dependence can be proposed:

$$A_0 = \frac{1}{4}(A_1 + A_2 + A_3 + A_4). \quad (5)$$

To incorporate characteristic (5) into the methodology for calculating urban bus routes, it is necessary to conduct research on the relationship between characteristic (5) and accident rates on the corresponding street segment, considering the differentiation between accidents involving buses and accidents involving vehicles in the existing traffic flow [12, 13]. This can be accomplished through correlation analysis.

The discussed characteristics only apply to specific intersections along the middle of street segments included in the corresponding traffic routes. Additionally, it is necessary to consider the impact of the presence of bus traffic within the flow of vehicles through street intersections. In the theory of traffic flow, there are not enough well-founded characteristics that adequately reveal the state of traffic at road intersections (moreover, it still needs to be proven that the movement of vehicles, in terms of traffic safety, at road intersections can be considered as traffic flows, which should be characterized not only by intensity but also by speed and density!) [14].

Thus, it is proposed to take into account the influence of bus transport on vehicle movement at road intersections from the perspective of traffic safety in the form of the following characteristic:

$$\Delta_n = \frac{N_{\text{ДТП}}^{\Sigma} - N_{\text{ДТП}}^{\text{М}}}{N_{\text{ДТП}}^{\Sigma}}, \quad (6)$$

$N_{\text{ДТП}}^{\text{М}}$ - the average annual number of accidents involving buses at road intersections, units;

$N_{\text{ДТП}}^{\Sigma}$ - the total average annual number of accidents involving vehicles at road intersections, units.

Using characteristics (5) and (6) (with further appropriate experimental justification), it is expedient to assess the safety of bus traffic along the entire route with the necessary division into homogeneous sections of streets and road intersections, which can be symbolically expressed as the following characteristic:

$$\Delta_{\text{М}} = \frac{1}{D + P} \left[\sum_{f=1}^D (\Delta_{\text{д}} \cdot k)_f + \sum_{s=1}^P (\Delta_n)_s \right], \quad (7)$$

D - The total number of homogeneous sections along the route, units;

P - The total number of road intersections along the route, units;

k - The correction coefficient of the impact characteristic of route transport on traffic flow on the respective street section, taking into account the correlation with accident statistics, units.

Characteristic (7) serves as a kind of "safety coefficient for traffic on the route" of buses along the respective sections of the road network [15, 16]. The values of the characteristics range from 0 to 1, where 0 is the lower limit of the safety level of traffic, and 1 corresponds to the upper limit.

Conclusion. Thus, the goal of formulating general characteristics for considering the existing traffic safety on sections and intersections of the road network traversed by bus routes has been achieved in this study. The proposed characteristics enable the assessment of traffic safety on sections, road intersections, and streets as a whole.

Further research should primarily focus on identifying the correlation between the overall characteristic of the impact of bus routes on traffic flow on the corresponding street section and existing accident rates on that section. Additionally, experimental data should be gathered to determine the values of the characteristic of bus traffic safety through road intersections.

References

1. Drew, D. (1972). Theory of transport flows and their management. *Transport*.
2. Olayode, Isaac Oyeyemi, Alessandro Severino, Frimpong Justice Alex, Elżbieta Macioszek, Lagouge Kwanda Tartibu. (2023). Systematic review on the evaluation of the effects of ride-hailing services on public road transportation. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 22, 100943. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100943>.

3. Olayode, Isaac Oyeyemi, Bo Du, Alessandro Severino, Tiziana Campisi, Frimpong Justice Alex. (2023). Systematic literature review on the applications, impacts, and public perceptions of autonomous vehicles in road transportation system. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 10(6), 1037-1060. ISSN 2095-7564. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.07.006>
4. Traffic flow dynamics: Data, models and simulation. (2013) *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*, pp. 1-503. Doi: 10.1007/978-3-642-32460-4.
5. Doğan, E. (2024). Examining the safety impacts of transit priority signal systems using simulation techniques. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 122, 61-71. ISSN: 0209-3324. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.122.4>.
6. Keler, A., Sun, W., & Schmöcker, J.-D. (2023). Generating and Calibrating a Microscopic Traffic Flow Simulation Network of Kyoto: First Insights from Simulating Private and Public Transport. *SUMO Conference Proceedings*, 4, 189–195. <https://doi.org/10.52825/scp.v4i.226>.
7. Lin, Y., Lin, H., & Lu, Z. (2022). Warning of Dangerous Driving Behavior Caused by Drivers and Road Environmental Factors. In *Proceedings of CECNet 2022* (Vol. 363, pp. 48-55). *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. DOI:10.3233/FAIA220517.
8. Perdomo Calvo, J. A., & Torres Ospina, C. D. (Year not provided). Benefits of the Bus Rapid Transit System on the Reduction of Road Travel Crashes. Retrieved from <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3963881/v1>.
9. Porcu, F., Olivo, A., Maternini, G., & Barabino, B. (2020). Evaluating bus accident risks in public transport. *Transportation Research Procedia*, 45, 443-450. ISSN 2352-1465. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.037>.
10. Porcu, F., Olivo, A., Maternini, G., Coni, M., Bonera, M., & Barabino, B. (2021). Assessing the Risk of Bus Crashes in Transit Systems. *European Transport / Trasporti Europei*, Issue 81, Paper n° 4. ISSN 1825-3997. <https://doi.org/10.48295/ET.2021.81.4>. Available from: https://www.researchgate.net/publication/351048885_Assessing_the_Risk_of_Bus_Crashes_in_Transit_Systems [accessed Apr 03 2024].
11. Fabio Porcu, Alessandro Olivo, Giulio Maternini, Benedetto Barabino, Evaluating bus accident risks in public transport, *Transportation Research Procedia*, Volume 45, 2020, Pages 443-450, ISSN 2352-1465, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.037>.
12. Medvid', P., Gogola, M., & Kubal'ák, S. (2020). Occupancy of public transport vehicles in Slovakia. *Transportation Research Procedia*, 44, 153–159.
13. Wood, J., Yu, Z., & Gayah, V. (2022). Development and evaluation of frameworks for real-time bus passenger occupancy prediction. *International Journal of Transportation Science and Technology*.
14. Yadav, G., Archit, Dutt, P., & Sharma, S. (2021). Automation of Public Transportation (Bus Stands). In A.K. Singh & M. Tripathy (Eds.), *Control Applications in Modern Power System* (pp. 35). *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 710. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8815-0_35.
15. Gomez, A.M.F., Cruz, O.G.D., & Muhi, M.M. (2024). Congestion Charging System on Traffic Flow of Public Transportation: A Review. In T. Liu & E. Liu (Eds.), *Proceedings of the 2nd International Conference on Advanced Civil Engineering and Smart Structures. ACESS 2023. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 474. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1514-5_35.
16. Gitelman, V., Doveh, E. A comparative evaluation of the safety performance of bus priority route configurations. *Eur. Transp. Res. Rev.* 15, 16 (2023). <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00589-y>.

17. Karamanlis, I., Nikiforiadis, A., Botzoris, G., Kokkalis, A., & Basbas, S. (2023). Towards Sustainable Transportation: The Role of Black Spot Analysis in Improving Road Safety. *Sustainability*, 15, 14478. <https://doi.org/10.3390/su151914478>.

ВПЛИВ ПАСАЖИРСЬКОГО МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ НА БЕЗПЕКУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ

Поліщук Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, tsbdr@ukr.net, phone: +38 (044) 280-48-85, <https://orcid.org/0000-0003-3145-7225>

Попов Станіслав Юрійович, Національний транспортний університет, здобувач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху. popov@ntu.edu.ua, phone: +38 (044) 280-48-85, <https://orcid.org/0000-0002-9373-2934>

Abstract. The public transport comprises homogeneous vehicle movement. The motion of public transport passing through a road section exhibits signs of stationarity, hence formulating the stated scientific task. The paper proposes to assess the safety level of passenger public transport movement by deviations of the movement characteristics of public transport vehicles from the characteristics of the flow vehicles. The analysis conducted by the authors and the corresponding synthesis of the general conditions of passenger public transport movement in traffic flow on public roads allowed formulating a system of interaction between three elements: traffic flow, passenger transport vehicles, and road conditions. The provided criteria for deviation of the movement characteristics of passenger public transport vehicles from the characteristics of the traffic flow subsequently enable the evaluation of the danger level on the route. The proposed overall characteristic indirectly allows evaluating the safety level of passenger public transport movement on roads according to the provisions of traffic flow theory.

To formulate general characteristics regarding the consideration of road safety at sections and nodes of the street-road network through which the route passes in the methodology of calculating urban bus transportation routes.

Key words: traffic flow characteristics, accident rates, intersection analysis, street network, traffic safety, bus route planning.

References

1. Drew, D. (1972). Theory of transport flows and their management. *Transport*.
2. Olayode, Isaac Oyeyemi, Alessandro Severino, Frimpong Justice Alex, Elżbieta Macioszek, Lagouge Kwanda Tartibu. (2023). Systematic review on the evaluation of the effects of ride-hailing services on public road transportation. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 22, 100943. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100943>
3. Olayode, Isaac Oyeyemi, Bo Du, Alessandro Severino, Tiziana Campisi, Frimpong Justice Alex. (2023). Systematic literature review on the applications, impacts, and public perceptions of autonomous vehicles in road transportation system. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 10(6), 1037-1060. ISSN 2095-7564. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.07.006>
4. Traffic flow dynamics: Data, models and simulation. (2013) *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*, pp. 1-503. Doi: 10.1007/978-3-642-32460-4.

5. Doğan, E. (2024). Examining the safety impacts of transit priority signal systems using simulation techniques. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 122, 61-71. ISSN: 0209-3324. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.122.4>
6. Keler, A., Sun, W., & Schmöcker, J.-D. (2023). Generating and Calibrating a Microscopic Traffic Flow Simulation Network of Kyoto: First Insights from Simulating Private and Public Transport. *SUMO Conference Proceedings*, 4, 189–195. <https://doi.org/10.52825/scp.v4i.226>
7. Lin, Y., Lin, H., & Lu, Z. (2022). Warning of Dangerous Driving Behavior Caused by Drivers and Road Environmental Factors. In *Proceedings of CECNet 2022* (Vol. 363, pp. 48-55). *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. DOI: 10.3233/FAIA220517
8. Perdomo Calvo, J. A., & Torres Ospina, C. D. (Year not provided). Benefits of the Bus Rapid Transit System on the Reduction of Road Travel Crashes. Retrieved from <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3963881/v1>.
9. Porcu, F., Olivo, A., Maternini, G., & Barabino, B. (2020). Evaluating bus accident risks in public transport. *Transportation Research Procedia*, 45, 443-450. ISSN 2352-1465. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.037>
10. Porcu, F., Olivo, A., Maternini, G., Coni, M., Bonera, M., & Barabino, B. (2021). Assessing the Risk of Bus Crashes in Transit Systems. *European Transport / Trasporti Europei*, Issue 81, Paper n° 4. ISSN 1825-3997. <https://doi.org/10.48295/ET.2021.81.4>. Available from: https://www.researchgate.net/publication/351048885_Assessing_the_Risk_of_Bus_Crashes_in_Transit_Systems [accessed Apr 03 2024]
11. Fabio Porcu, Alessandro Olivo, Giulio Maternini, Benedetto Barabino, Evaluating bus accident risks in public transport, *Transportation Research Procedia*, Volume 45, 2020, Pages 443-450, ISSN 2352-1465, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.037>.
12. Medvid', P., Gogola, M., & Kubaľák, S. (2020). Occupancy of public transport vehicles in Slovakia. *Transportation Research Procedia*, 44, 153–159.
13. Wood, J., Yu, Z., & Gayah, V. (2022). Development and evaluation of frameworks for real-time bus passenger occupancy prediction. *International Journal of Transportation Science and Technology*.
14. Yadav, G., Archit, Dutt, P., & Sharma, S. (2021). Automation of Public Transportation (Bus Stands). In A.K. Singh & M. Tripathy (Eds.), *Control Applications in Modern Power System* (pp. 35). *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 710. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8815-0_35.
15. Gomez, A.M.F., Cruz, O.G.D., & Muhi, M.M. (2024). Congestion Charging System on Traffic Flow of Public Transportation: A Review. In T. Liu & E. Liu (Eds.), *Proceedings of the 2nd International Conference on Advanced Civil Engineering and Smart Structures. ACESS 2023. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 474. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1514-5_35.
16. Gitelman, V., Doveh, E. A comparative evaluation of the safety performance of bus priority route configurations. *Eur. Transp. Res. Rev.* 15, 16 (2023). <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00589-y>.
17. Karamanlis, I., Nikiforiadis, A., Botzoris, G., Kokkalis, A., & Basbas, S. (2023). Towards Sustainable Transportation: The Role of Black Spot Analysis in Improving Road Safety. *Sustainability*, 15, 14478. <https://doi.org/10.3390/su151914478>.

УДК 625.168
UDK 625.168

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-049-056

**ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНУ З ЗОЛОЮ ВИНЕСЕННЯ
З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ ВІТЧАКА**

**DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY OF ASPHALT CONCRETE WITH
FLY ASH USING THE WITCZAK MODEL**



Соколов Олексій Владиславович, завідувач лабораторії випробувань матеріалів відділу матеріалів Центру досліджень розвитку та утримання об'єктів інфраструктури ДП "НІРІ", e-mail: bitumen_lab@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-4694-9647>

Анотація. В Україні близько 30% всієї електроенергії виробляється від спалювання твердого палива - вугілля, сланцю, торфу. В нашій країні налічується близько 15 діючих ТЕС на яких вторинним продуктом утворюється близько 5-6 млн. тон золошлакових відходів в рік. Таким чином, відходи паливно-енергетичного комплексу, що утворюються в топках теплових електростанцій, являють собою величезні скупчення золи у вигляді пилоподібних залишків і кускового шламу, а також різні золошлакові суміші. Ці продукти високотемпературної обробки (1200-1700 °С) мінеральної частини палива, знайшли широке застосування в багатьох країнах світу і враховуючи світову тенденцію, до збільшення частки вторинного ринку використання відходів, слід прогнозувати підвищення темпів їх переробки і в Україні.

В Україні як наповнювач використовують переважно матеріал, отриманий подрібненням карбонатних гірських порід, що установлено в національних стандартах. В той же час на електрогенеруючих підприємствах України в результаті спалювання вугілля утворюються мільйони тон пилоподібних відходів – золи винесення. Даний матеріал за показниками наближається до вимог до наповнювача згідно з національного стандарту та може бути використаний для виробництва асфальтобетонних сумішей.

Під час досліджень використовували золи виносу Бурштинської ТЕС та вапняковий мінеральний порошок Скало-Подільського спец кар'єру .

Ключові слова. мінеральний порошок, зола винесення, екологія, модуль пружності, асфальтобетон.

Вступ. Постійне зростання обсягів будівництва автомобільних доріг у сучасному світі вимагає пошуку економічно та екологічно збалансованих рішень щодо використання матеріалів. Одним з основних матеріалів для влаштування монолітних шарів дорожнього одягу є асфальтобетонні суміші. Збільшення попиту на ці суміші призводить до важливого питання щодо джерел їх складників. У цьому

контексті використання побічних продуктів промисловості для вироблення асфальтобетонних сумішей стає актуальним та стратегічно важливим аспектом сучасної будівельної індустрії.

Одним з складників асфальтобетонних сумішей є наповнювач, який використовують для покращення механічних властивостей та довговічності асфальтобетону. Одним із типів наповнювачів є карбонатні мінеральні порошки, які широко використовують не тільки дорожньому будівництві, а і в інших будівельних галузях.

Як відомо, якість асфальтобетонної суміші, а отже, шару асфальтобетону, в більшості визначається структурно-механічними характеристиками асфальтов'язучого, яке представляє собою бінарну систему органічного в'язівника (бітуму) та наповнювача. Як наповнювач використовують різноманітні матеріали, вимоги до яких визначені в національних стандартах. Функціональне призначення наповнювача полягає в заповненні пор між більш крупними зернами та утворенні разом з бітумом асфальтов'язучої речовини, підвищуючи його в'язкість та склеювальну здатність. Завдяки великій площі адсорбційної поверхні наповнювач надає асфальтобетону необхідні характеристики міцності та стійкості.

Традиційно для вироблення асфальтобетонних сумішей застосовують наповнювачі карбонатного складу. Зазвичай їх отримують подрібненням природної сировини - карбонатних гірських порід різного походження. На їхню частку в осадовій оболонці Землі припадає близько 14 %.

Карбонатні породи високої якості, які задовольняють вимогам національних стандартів, з одного боку, не є доступними у всіх регіонах країни, а з іншого боку, їх використовують в інших галузях промисловості і вони є досить вартісними. Тому у технології вироблення асфальтобетонних сумішей розглядають використання різних вторинних продуктів промисловості, що задовольняють вимоги до складу, дисперсності та інших фізико-механічних властивостей.

У зв'язку з тим, що дорожньо-будівельна галузь є найбільш важкотоннажною галуззю промисловості України, де, згідно з державними стратегіями розвитку, передбачено збільшення темпів будівництва, ремонтування та реконструювання автомобільних доріг, особливо гостро стоїть питання якості та доступності основних будівельних матеріалів для дорожнього будівництва, що безпосередньо пов'язано з високою матеріаломісткістю даної галузі промисловості. Відомі запаси якісної сировини, яка могла б бути використана як складник асфальтобетонних сумішей, постійно зменшуються, тому необхідно шукати альтернативні джерела сировини для будівельних матеріалів та вивчати можливість їх застосування. У зв'язку з цим найбільш ефективним використанням місцевих сировинних ресурсів є використання вторинних продуктів промисловості, що стане одним із вирішень проблеми сировинних матеріалів неорганічного походження.

В Україні близько 30 % всієї електроенергії отримують спалюванням твердого палива - вугілля, сланцю, торфу. В Україні налічується близько 15 працюючих ТЕС на яких в рік утворюється близько 5-6 млн. т. золошлакових відходів. Таким чином, відходи паливно-енергетичного комплексу, що утворюються на теплових електростанціях, являють собою величезні скупчення золи у вигляді пилоподібних залишків і шматкового шламу, а також різні золошлакові суміші. Ці продукти високотемпературного оброблення (1200-1700 °C) мінеральної частини палива знайшли широке застосування в багатьох країнах світу і враховуючи світову тенденцію до збільшення частки вторинного ринку використання вторинних продуктів промисловості, слід прогнозувати підвищення темпів їх перероблення і в Україні [1].

Зола виносення є вторинним продуктом промисловості, який утворюється з мінеральної частини твердого палива. Цю золу збирають з димових газів теплових електростанцій

золоуловлювальними пристроями. Залежно від типу цих пристроїв, золу можна утримувати у вологому або сухому стані. Механізм утворення вторинних продуктів залежить від таких факторів, як вид палива, спосіб спалювання та температура спалювання [2].

Розмір частинок золи варіюється від мікрон до 0,63 мм, що робить її тонкодисперсним матеріалом. Цю золу виносять димові гази, зола осідає у золоуловлювачах, таких як електрофільтри, де вона накопичується в силосних баштах.

Під час будівництва автомобільних доріг з нежорстким дорожнім одягом, одним із ключових аспектів, який враховують, є міцність дорожнього одягу. Основним параметром, що визначає цей показник, є модуль пружності. Цей параметр вказує на здатність матеріалу відновлювати свою форму та розміри після впливу зовнішніх сил.

Модуль пружності має критичну роль у забезпеченні стійкості дорожнього одягу під час експлуатування. Наприклад, асфальтобетон, який є одним з найпоширеніших матеріалів шарів дорожнього одягу, має високий модуль пружності, що робить його стійким до навантажування та деформування.

Проте, властивості шару асфальтобетону та його механічні характеристики можуть значно варіюватися залежно від умов експлуатування та швидкості навантажування. Наприклад, дороги, які мають значну кількість вантажних транспортних засобів у складі руху або піддаються частим ремонтам, можуть вимагати більш міцного дорожнього одягу з вищим модулем пружності для забезпечення довговічності та безпеки дорожнього руху.

Під час проектування дорожнього одягу, інженери враховують модуль пружності кожного шару, які використовують, а також інші фактори, що можуть впливати на його міцність. Наприклад, температурні зміни, вологість ґрунту та частота руху транспортних засобів - усе це може впливати на стійкість та довговічність дорожнього одягу.

Для забезпечення оптимальної міцності дорожнього одягу, постійне оцінювання та перевіряння стану дорожнього одягу є невід'ємною частиною процесу утримування автомобільних доріг. Це дозволяє своєчасно виявляти будь-які дефекти або деформації та виконувати потрібні заходи для їх усунення.

Узагальнюючи, модуль пружності є ключовим параметром під час розраховування міцності дорожнього одягу. Він визначає здатність матеріалу відновлювати свою форму та розміри після впливу зовнішніх сил і відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки дорожнього руху. Якісний розрахунок модуля пружності забезпечує дорожній мережі надійність та стійкість впродовж тривалого часу.

Виклад основного матеріалу. Для визначення модуля пружності асфальтобетонів було прийнято модель М. Вітчака [3], яка набула значного поширення в Україні [4,5]:

$$\log E^* = -1,25 + 0,029p_{200} - 0,0018p_{200}^2 - 0,0028p_4 - 0,058V_a - 0,822 \frac{V_{beff}}{V_a + V_{beff}} + \frac{3,872 - 0,0021p_4 + 0,004p_{38} - 0,000071p_{38}^2 + 0,0055p_{34}}{1 + e^{(-0,603313 - 0,313351\log(f) - 0,393532\log(\eta))}} \quad (1)$$

де E^* – динамічний модуль пружності, 10^5 фунт на квадратний дюйм;

η – в'язкість в'язучого, 10^6 пз;

f – частота деформування, Гц;

p_{200} – повний прохід через сито з розміром отворів 0,075 мм, %;

p_4 – повний залишок на ситі з розміром отворів 4,76 мм, %;

p_{38} – повний залишок на ситі з розміром отворів 9,5 мм, %;

p_{34} – повний залишок на ситі з розміром отворів 19 мм, %;

V_a – залишкова пористість асфальтобетону, % за об'ємом;

V_{beff} – ефективний вміст бітуму, % за об'ємом.

В'язкість бітуму за різних температур визначали за залежністю [3]:

$$\log \eta = 10,5 - 2,26 \log P + 0,00389 (\log P)^2 \quad (2)$$

де P – пенетрація бітуму за різної температури, визначена згідно з методикою ХНАДУ [6].

Згідно з цією методикою, за температур розм'якшеності бітуму глибина проникності голки складає $800 \times 0,1$ мм, а за температур крихкості – $1 \times 0,1$ мм. Між цими значеннями температур логарифмічна залежність в'язкості прямолінійна. Таким чином, знаючи температуру розм'якшеності та значення глибини проникності голки за температури 25°C , можна визначити його пенетрацію за температури T за формулою:

$$\log P_T = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{T_p - 25} \cdot (T - 25) + \log P_{25} \quad (3)$$

Був здійснений розрахунок з визначення модуля пружності за різних температур та різної частоти деформування, визначені на основі залежностей (2) та (3) в'язкість та пенетрація за різних температур.

На основі встановлених залежностей в'язкості бітуму від температури, даних щодо зернового складу асфальтобетону та його об'ємних властивостей, визначено модулі пружності асфальтобетону за частоти деформування 0,8 Гц та 1,59 Гц, що прирівнюються до швидкості руху автомобіля 50 та 100 км/год відповідно. Раніше було встановлено, що використання золи винесення поліпшує ущільнюваність асфальтобетонної суміші, та дозволяє зменшити оптимальний вміст бітуму орієнтовно на 0,5 % [7], тому для порівняння було прийнято асфальтобетони з однаковою залишковою пористістю, але з різним вмістом об'ємного бітуму. Результати визначень наведено в таблиці 1. Графічне зображення залежності логарифмів модуля пружності від температури зображено на рисунку 1 та 2.

Таблиця 1 – Результати визначення модуля пружності

Table 1 – Results of determining the modulus of elasticity

Температура	Результати визначення модуля пружності, МПа,			
	асфальтобетону з вапняковим наповнювачем за частоти		асфальтобетону з золою винесення за частоти	
	0,8 Гц	1,59 Гц	0,8 Гц	1,59 Гц
-10	14039	15105	14583	15690
0	9242	10206	9599	10601
10	5324	6057	5531	6291
20	2667	3125	2771	3246
30	1182	1418	1228	1473
40	485	589	504	612

Вищим значенням модуля пружності за температури 10 °С за частоти деформування 0,8 Гц відзначається асфальтобетон з золою винесення. Він є на 3,8 % вищим за модуль пружності асфальтобетону з вапняковим наповнювачем, а за частоти деформування 1,59 Гц на 3,9 %.

З підвищенням температури залежність зміни модуля пружності асфальтобетону з золою винесення залишається сталою. Це свідчить про те що, асфальтобетон з золою винесення зі зменшеною кількістю бітуму на 0,5 % завдяки зменшеному вмісту об'ємного бітуму і більшому його структуруванню, переважає асфальтобетон із вапняковим наповнювачем.

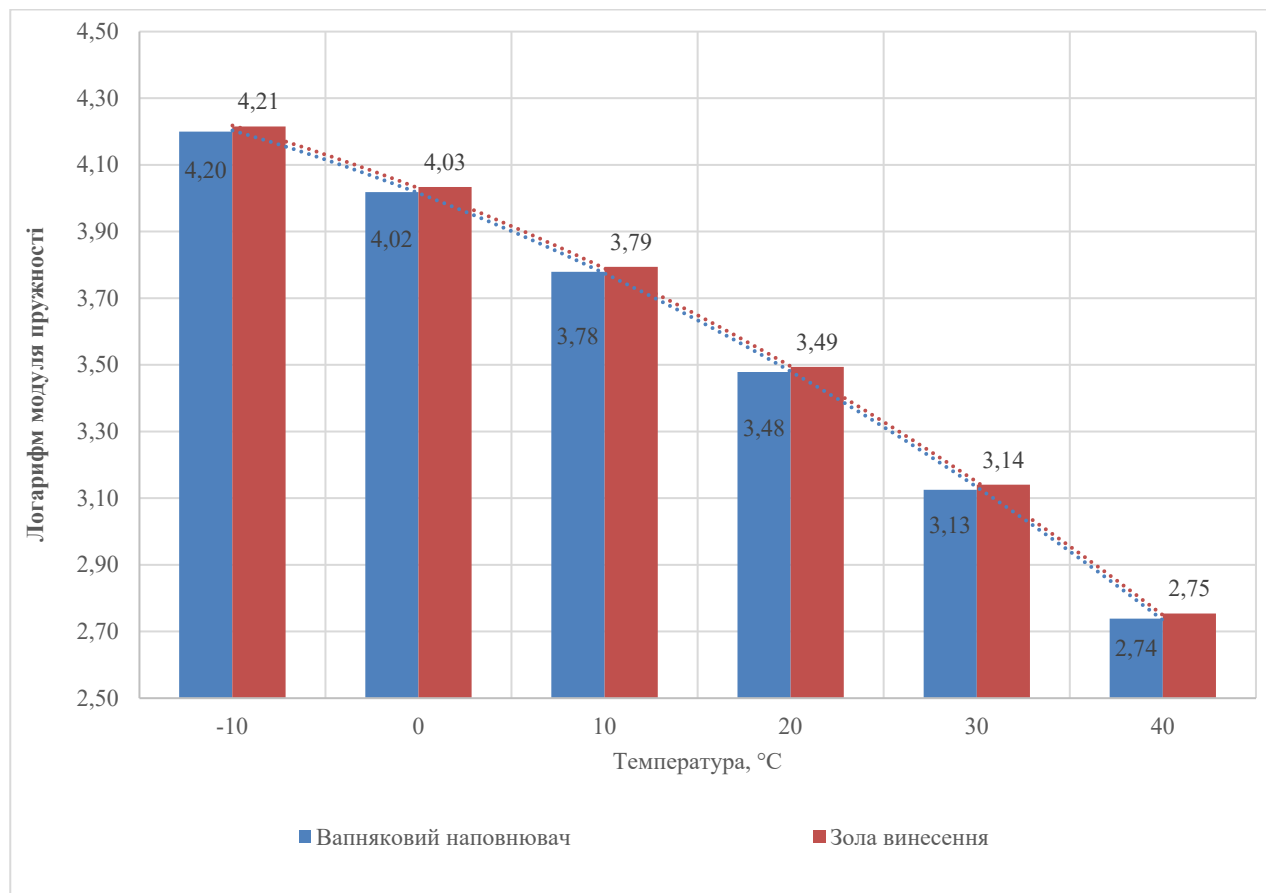


Рисунок 1 – Графічне зображення залежності логарифмів модуля пружності від температури зображено за частоти деформування 0,8 Гц

Figure 1 – Graphical representation of the dependence of the logarithms of the modulus of elasticity on temperature is shown at a deformation frequency of 0.8 Hz

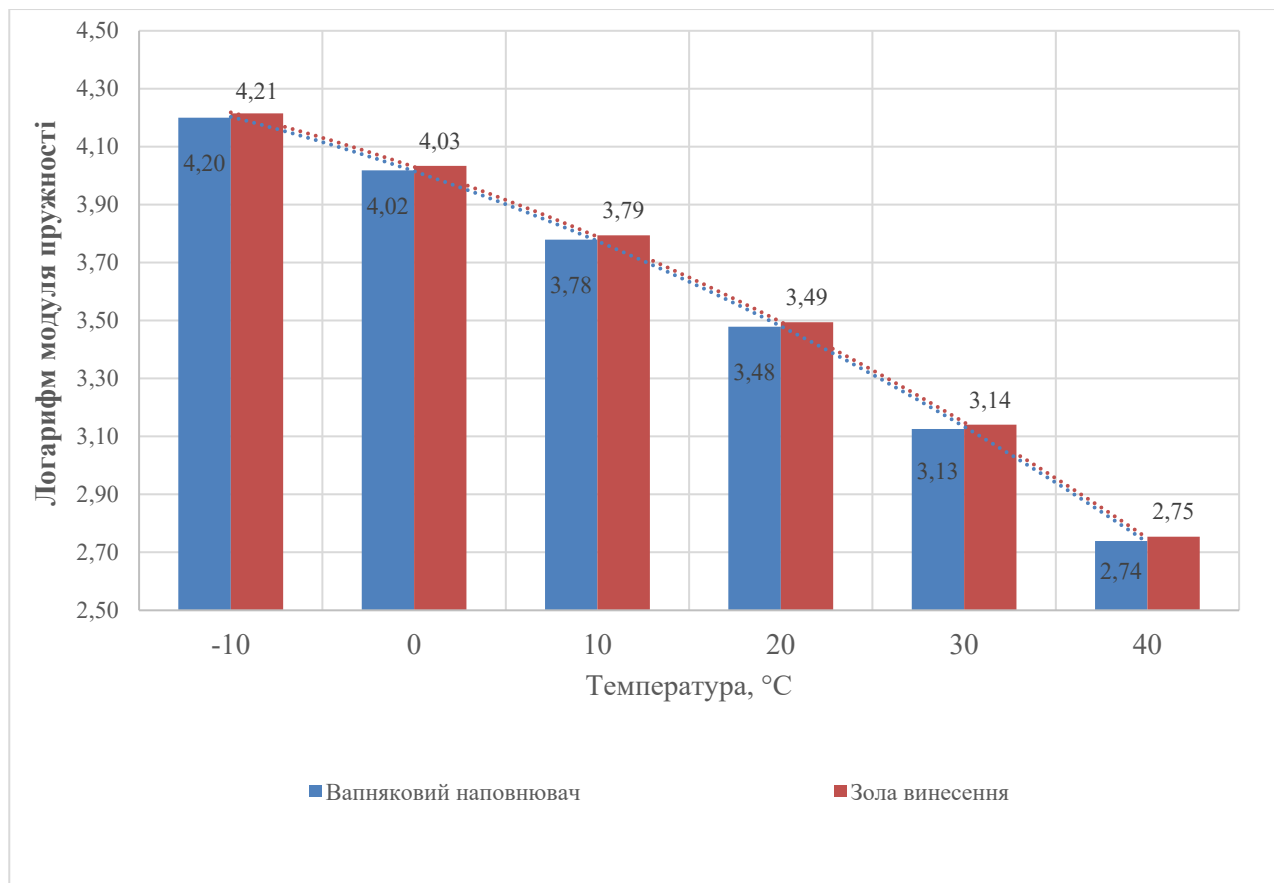


Рисунок 2 – Графічне зображення залежності логарифмів модуля пружності від температури зображено за частоти деформування 1,59 Гц

Figure 2 – Graphic representation of the dependence of the logarithms of the modulus of elasticity on temperature is shown at a deformation frequency of 1.59 Hz

У випадку зниження температур спостерігається відповідна тенденція. За температури мінус 10 °C, модуль пружності асфальтобетону з золою винесення також на 3,7 % більший за модуль пружності асфальтобетону з вапняковим наповнювачем.

Висновки. Зола винесення, сприяє поліпшенню ущільнюваності асфальтобетонної суміші. Це дозволяє досягти значних переваг у будівництві асфальтобетонних доріг. За рахунок використання золи можна зменшити вміст бітуму у складі асфальтобетонної суміші, що призводить до зниження вартості асфальтобетону, а також зменшити кількість відходів від електрогенеруючих підприємств. Додавання золи винесення дозволяє підвищити модуль пружності асфальтобетону, що робить його більш стійким до руйнування та зносу під впливом навантажень і погодних умов. В результаті асфальтобетон виготовлений з використанням золи винесення, має покращену тривалість служби, а витрати на його експлуатацію знижуються, що є важливим фактором у плануванні і утриманні дорожньої інфраструктури.

Перелік посилань

1. Соколов О.В. Дослідження властивостей зол-виносу різного походження на відповідність національним вимогам . Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2023. Вип. 113.2. С. 82-89. DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.2-082-089
2. Соколов О. В., Желотобрюх А. Д., Копинець І. В., Каськів В. І. Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві // Дороги і мости. – 2020. – Вип. 21. – С. 110-119.
3. M. W. Witzczak Development of a master curve (E*) database for lime modified asphaltic mixtures / M. W. Witzczak, Javed Bari // Arizona State University Research Project, Fulton School of Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering. – 2004. July. – 29 p.
4. Маляр В.В. Прогнозирование модуля упругости асфальтобетона с использованием реологической модели Виткача / В.В. Маляр // Автомобільні дороги і дорожнє. – Київ, НТУ, 2013. – Випуск №84. – С. 72-79.
5. Копинець І.В. Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття шляхом зменшення технологічного старіння бітумів. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Національний транспортний університет. Київ 2021 р.
6. Золотарев В. А. Эквипенетрационная температура как альтернатива температуре размягчения битума / Золотарев В.А., Пыриг Я.И., Галкин А.В. // Наука и техника в дорожной отрасли. М.: МАДИ. – 2007. - №2. – С. 36-39.
7. Каськів В. І., Копинець І. В., Соколов О. В. Дослідження золи-винесення електрогенеруючих підприємств з метою її використання як альтернативи вапняковому мінеральному порошку для виробництва асфальтобетонних сумішей. Дороги і мости. 2021. Вип. 24. С. 40–47.

DETERMINATION OF MODULUS OF ELASTICITY OF ASPHALT CONCRETE WITH FLY ASH USING THE WITCZAK MODEL

Oleksiy Sokolov, head of the material testing laboratory of the materials department of the Research Center for the Development and Maintenance of Infrastructure Facilities of SE "NIRI", e-mail: bitumen_lab@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4694-9647>

Summary. In Ukraine, about 30% of all electricity is produced by burning solid fuels - coal, shale, and peat. In our country, there are about 15 operating thermal power plants, which generate about 5-6 million tons of ash and slag waste as a secondary product per year. Thus, the waste of the fuel and energy complex, which is formed in the furnaces of thermal power plants, is a huge accumulation of ash in the form of dust-like residues and lumpy sludge, as well as various ash-slag mixtures. These products of high-temperature processing (1200-1700 °C) of the mineral part of the fuel are widely used in many countries of the world, and taking into account the global trend of increasing the share of the secondary market for the use of waste, it is necessary to predict an increase in the rate of their processing in Ukraine as well.

Problems. In Ukraine, as a filler, the material obtained by crushing carbonate rocks is used as a filler, which is established in DSTU B B.2.7-121. At the same time, as a result of burning coal, millions of tons of dust-like waste - fly ash - are generated at power-generating enterprises of Ukraine. In terms of indicators, this material approaches the requirements for filler according to DSTU B V.2.7-121 and can be used for the production of asphalt concrete mixtures.

The purpose of the work is to compare the predicted modulus of elasticity of asphalt concrete with different fillers.

Materials and methods. During the research, fly ash from the Burshtyn TPP and limestone mineral powder from the Skalo-Podilsky special quarry were used.

The results. It was established that the modulus of elasticity of asphalt concrete with fly ash is greater than that of asphalt concrete with limestone filler.

Conclusions. The use of fly ash due to the improvement of compaction of the asphalt concrete mixture allows not only to reduce the content of bitumen in the composition of the asphalt concrete mixture, but also to increase the modulus of elasticity of asphalt concrete.

Key words. mineral powder, ash removal, ecology, modulus of elasticity, asphalt concrete.

References

1. Sokolov O.V. Research on the properties of fly ash of various origins for compliance with national requirements. Roads and road construction. 2023. Issue 113.2. P. 82-89. DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.2-082-089
2. Sokolov O. V., Zhelotobryukh A. D., Kopynets I. V., Kaskiv V. I. Use of industrial waste in road construction // Roads and Bridges. – 2020. – Issue 21. – pp. 110-119.
3. M. W. Witczak Development of a master curve (E*) database for lime modified asphaltic mixtures / M. W. Witczak, Javed Bari // Arizona State University Research Project, Fulton School of Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering. - 2004. July. - 29 p.
4. Painter V.V. Prediction of modulus of elasticity of asphalt concrete using the rheological model of Wytkača / V.V. Painter // Roads and roads. – Kyiv, NTU, 2013. – Issue #84. - P. 72-79.
5. Kopynets I.V. Increasing the durability of the asphalt concrete coating by reducing the technological aging of bitumen. Qualifying scientific work on manuscript rights. National Transport University. Kyiv 2021
6. Zolotarev V.A. Equipenetration temperature as an alternative to bitumen softening temperature / Zolotarev V.A., Pyrig Y.I., Galkin A.V. // Science and technology in the road industry. M.: MADI. – 2007. - #2. - P. 36-39.
7. V. I. Kaskiv, I. V. Kopynets, and O. V. Sokolov. Research on fly ash of power-generating enterprises with the aim of using it as an alternative to limestone mineral powder for the production of asphalt concrete mixtures. Roads and bridges. 2021. Issue 24. C. 40–47.

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-057-066

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПЛЕКСУ ДОБАВОК НА ВЛАСТИВОСТІ
ЗМІЦНЕНИХ ЦЕМЕНТОМ ЩЕБЕНЕВО-ПІЩАНИХ СУМІШЕЙ ІЗ ЗАЛІЗИСТИХ
КВАРЦИТІВ**

**RESEARCH OF COMPLEX ADDITIVE INFLUENCE ON PROPERTIES OF CEMENT
TREATED GRANULAR MIXES OF IRON TAILINGS**



*Сунь Цзянь, аспірант, кафедра будівництва та експлуатації
автомобільних доріг, Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, Харків, Україна,
e-mail: 1586118851@qq.com*

<https://orcid.org/0000-0001-8997-7616>



*Жданюк Валерій Кузьмович, Заслужений діяч науки і техніки
України, доктор технічних наук, професор, науковий консультант,
ПП «ІСР», Київ, Україна, e-mail: vk.zhdanuk@gmail.com*

<https://orcid.org/0000-0003-0420-7036>

Анотація: В роботі досліджено доцільність використання щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів зміцнених цементом і комплексом добавок (базальтова фібра і катіонний латекс) для будівництва шарів дорожнього одягу автомобільних доріг, що встановлена за результатами експериментальних досліджень показників міцності за стиску, за розколювання по твірній, максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості.

Встановлено, що одночасне введення базальтової фібри і катіонного латексу до складу щебенево-піщаної суміші із залізистих кварцитів зміцнених цементом призводить до зростання показників границі міцності за стиску і границі міцності за розколювання по твірній. Показано, що матеріалу комплексно модифікованому добавками базальтової фібри і катіонного латексу властиві менші значення показника дефектності структури, порівняно з матеріалом зміцненим цементом без добавок. Додаванням базальтової фібри до складу щебенево-піщаної суміші із залізистих кварцитів зміцненої цементом або одночасно базальтової фібри і катіонного латексу, забезпечується підвищений опір матеріалу трішиноутворенню, на що вказує зростання показників максимальної структурної міцності та індексу температурної тріщиностійкості.

Ключові слова: щебенево-піщана суміш, катіонний водний латекс, базальтова фібра, залізистий кварцит, границя міцності за стиску, границя міцності за розколювання по твірній, показник дефектності структури, максимальна структурна міцність, індекс температурної тріщиностійкості.

Вступ. В останнє десятиліття щебенево-піщані суміші почали широко використовувати замість щебеню в дорожньому будівництві України для влаштування шарів основи конструкцій дорожніх одягів автомобільних доріг вищих технічних категорій. Для підвищення міцності шарів дорожнього одягу, влаштованих з використанням дискретних мінеральних матеріалів, і зменшення їхньої матеріалоемності, до складу щебенево-піщаних сумішей традиційно додають мінеральні або композиційні органо-мінеральні в'язучі. За високого вмісту цементу, як мінерального в'язучого, матеріал з щебенево-піщаною сумішшю в шарі дорожнього одягу набуває певної міцності і доволі часто стає вразливим до утворення в ньому тріщин [1-3]. Причиною такої поведінки матеріалу із зміцнених цементом щебенево-піщаних сумішей є недостатня його деформативність та міцність за розтягу під час вигину. Наявність тріщин в шарі основи дорожнього одягу в процесі його експлуатації неминуче призводить до утворення віддзеркалених тріщин в асфальтобетонному шарі покриття, влаштованому зверху шару основи, що викликає зменшення довговічності всієї конструкції. Тому підвищення тріщиностійкості шару основи дорожнього одягу з матеріалу із щебенево-піщаною сумішшю, зміцненою додаванням до її складу цементу, має велике практичне значення для запобігання утворенню тріщин в асфальтобетонному шарі покриття.

Дослідженнями встановлено позитивний вплив добавок латексу до складу цементовмісних матеріалів, таких як цементні розчини і цементобетонні суміші, на зростання їхньої рухливості, підвищення водонепроникності цементного бетону завдяки утворенню гідрофобної поверхні порового простору та більш щільної його структури, а також на зростання його механічних властивостей [4-7]. Відомі також результати досліджень будівельних матеріалів які вказують на можливість збільшення показників границі міцності на розтяг за вигину шляхом додавання до їхнього складу фіброволокон [8,9].

Одним із резервів дорожньо-будівельних матеріалів для влаштування конструктивних шарів дорожнього одягу автомобільних доріг є відходи залізо-рудних підприємств, які утворюються після проходження процесу магнітної сепарації. До таких матеріалів відносяться щебенево-піщані суміші із залізистих кварцитів та амфіболітів. Такі відходи виробництва за гранулометричним складом не відповідають вимогам чинних стандартів і тому не можуть у вихідному стані використовуватись для влаштування шарів дорожніх одягів. Для отримання кондиційних щебенево-піщаних сумішей такі відходи виробництва необхідно попередньо розділити на окремі фракції щебеню та піску, після чого отримані складники у певних пропорціях об'єднати шляхом змішування. Проте до сьогодні можливість використання в дорожньому будівництві кондиційних щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів зміцнених цементом спільно з катіонним латексом та базальтовою фіброю залишається недостатньо дослідженою. Тому поглиблені дослідження впливу комплексної модифікації зміцнених цементом щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів на їхні міцнісні властивості мають велике практичне значення.

Метою роботи є дослідження впливу комплексу добавок (водного катіонного латексу і базальтової фібри) на властивості матеріалів з щебенево-піщаною сумішшю із залізистих кварцитів зміцнених цементом.

Матеріали та методи дослідження. Для виконання досліджень була приготовлена щебенево-піщана суміш ЩПС-40 із залізистих кварцитів. Максимальний розмір зерен щебеню в суміші складав 40 мм. Щебенево-піщану суміш готували шляхом змішування двох складників – щебеню фракції 5-40 мм та піску фракції 0-5 мм з відсіву подрібнення залізистого кварциту. Властивості щебеню та піску із залізистого кварциту наведені в таблиці 1. Гранулометричний склад приготовленої для досліджень щебенево-піщаної суміші відповідає вимогам [10] та наведений в таблиці 2. Як мінеральний в'язучий матеріал для зміцнення щебенево-піщаної суміші використовували портландцемент марки М400, властивості якого наведено в таблиці 3.

Таблиця 1 – Властивості щебеню та піску із залізистих кварцитів

Table 1 – Properties of crushed stone and sand from iron tailings

Фракція, мм	Насипна щільність, кг/м ³	Вміст пилюватих і глиняних часток, %	Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми, %	Вологість, %
40-5	1434	0,70	34,5	0,40
5-0	1642	10	-	4,20

Таблиця 2 – Гранулометричний склад щебенево-піщаної суміші ЩПС-40

Table 2 – Grading of granular mix TGM-40

Розмір отворів сит, мм	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,31 5	0,14	0,071
Вимоги ДСТУ 9177-3 до повних проходів зерен крізь сита для ЩПС-40, %	100-90	80-60	65-35	50-20	40-15	30-10	25-5	20-3	15-2	13-0
Фактичні проходи зерен крізь сита, %	100	75	50	35	25	19	13	8	4	1

Таблиця 3 – Властивості цементу

Table 3 – Cement properties

Час схоплювання, хв.		Границя міцності за стиску, МПа		Границя міцності за вигину, МПа	
Час початкового схоплювання	Час завершення схоплювання	3 доби	28 діб	3 доби	28 діб
176	213	26,3	49,3	4,3	6,9

В процесі виконання досліджень, як модифікуючі добавки до складу щебенево-піщаної суміші ЩПС-40 зміцненої цементом, використовували водний катіонний латекс серії Butonal NS 198 та

базальтову фібру довжиною волокон 18 мм. Катіонний латекс є водною дисперсією білого кольору, яка добре розчиняється у воді. За даними виробника (компанія BASF, Німеччина) катіонному латексу Butonal NS 198 властиві наступні характеристики: густина - $0,96 \text{ г/см}^3$, в'язкість - $300 \text{ мПа}\cdot\text{с}$, показник pH – 5,3, вміст твердої речовини – 64 %. Базальтова фібра виробництва компанії Zhejiang Haining Anjie Composites Company, як армуюча добавка до складу ЩПС-40, мала діаметр волокон $18 \pm 2 \text{ мкм}$, щільність 2650 кг/м^3 , міцність під час розривання 3500 МПа , видовження під час розривання 3,8 %, модуль пружності 100 ГПа , стійкість до лугів (рівень збереження міцності під час розривання) 92,3 %.

На етапі приготування щебенево-піщаної суміші з цементом до її складу додатково додавали 3, 5 та 10 % латексу Butonal NS 198 від маси води і 0,05 % базальтової фібри від маси мінеральної частини для встановлення ефективності їхнього впливу на властивості матеріалу з ЩПС-40 зміцненого 4 % цементу. Латекс вводили в суміш попередньо розчинивши його в оптимальній кількості води, необхідній для досягнення максимальної щільності матеріалу за його ущільнення. З приготовлених сумішей були заформовані циліндричні зразки статичним ущільненням протягом 3 хвилин за тиску 160 кН . Діаметр і висота зразків становила 100 мм. Тверднення заформованих циліндричних зразків за температури $20 \pm 2^\circ\text{C}$ і вологості 95 % протікало протягом 28 діб. Після завершення процесу тверднення зразки піддавали випробуванням. У процесі випробувань експериментально визначали значення границі міцності за одноосового стиску, границі міцності за розколювання по твірній, показник дефектності структури, показник максимальної структурної міцності та індекс температурної тріщиностійкості.

Значення міцнісних характеристик зразків за стиску та за розколювання по твірній визначали за стандартними методами. Показник дефектності структури досліджуваних матеріалів розраховували як відношення величини границі міцності за стиску ($R_{\text{ст}}$) до величини границі міцності за розколювання по твірній (R_p). Величина показника дефектності структури свідчить про міцність структурних зв'язків матеріалу. Чим більша величина показника дефектності структури ($R_{\text{ст}}/R_p$), тим слабкіші структурні зв'язки і тим більша кількість мікродефектів в матеріалі. Для оцінювання здатності матеріалу чинити опір утворенню температурних тріщин розраховували показник максимальної структурної міцності за формулою (1) та індекс температурної тріщиностійкості за формулою (2) [11].

Показник максимальної структурної міцності:

$$R_{\text{mss}} = \frac{\bar{R}}{1 + 1.921 \cdot \lg(R_1/R_2)} \quad (1)$$

де R_1 і R_2 – міцність за розколювання по твірній зразків після термостатування за температури мінус 15°C протягом 2 годин за швидкості прикладання руйнівного навантаження 3 мм/хв і 10 мм/хв , відповідно;

$\bar{R}$ – середнє значення границі міцності за розколювання по твірній R_1 і R_2 .

Індекс температурної тріщиностійкості:

$$I_T = 1 - \frac{R_0}{R_{\text{mss}}} \quad (2)$$

де R_0 – міцність за розколювання по твірній зразків за температури 0°C за швидкості прикладання руйнівного навантаження 3 мм/хв .

Виклад основного матеріалу. Результати експериментального визначення залежностей границі міцності за стиску та границі міцності за розколювання по твірній матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцненої 4 % цементу і 0,05 % базальтової фібри від концентрації (3 %, 5 %, 10 % від маси води) катіонного латексу «Butonal NS 198» наведені на рис.1.

Із наведених залежностей видно, що додавання 0,05 % базальтової фібри до складу ЩПС-40 зміцнених 4 % цементу призводить до збільшення значень границі міцності за стиску (на 9 %) і границі міцності за розколювання по твірній (на 14 %). За одночасного додавання 0,05 % базальтової фібри і катіонного латексу до складу ЩПС-40 зміцнених 4 % цементу спостерігається подальше помірне зростання значень границі міцності за стиску і границі міцності за розколювання по твірній, порівняно з матеріалом без катіонного латексу. Матеріалу зміцненому 4 % цементу з 0,05 % базальтової фібри і 5 % катіонного латексу Butonal NS 198 властиві найбільші значення показників міцності.

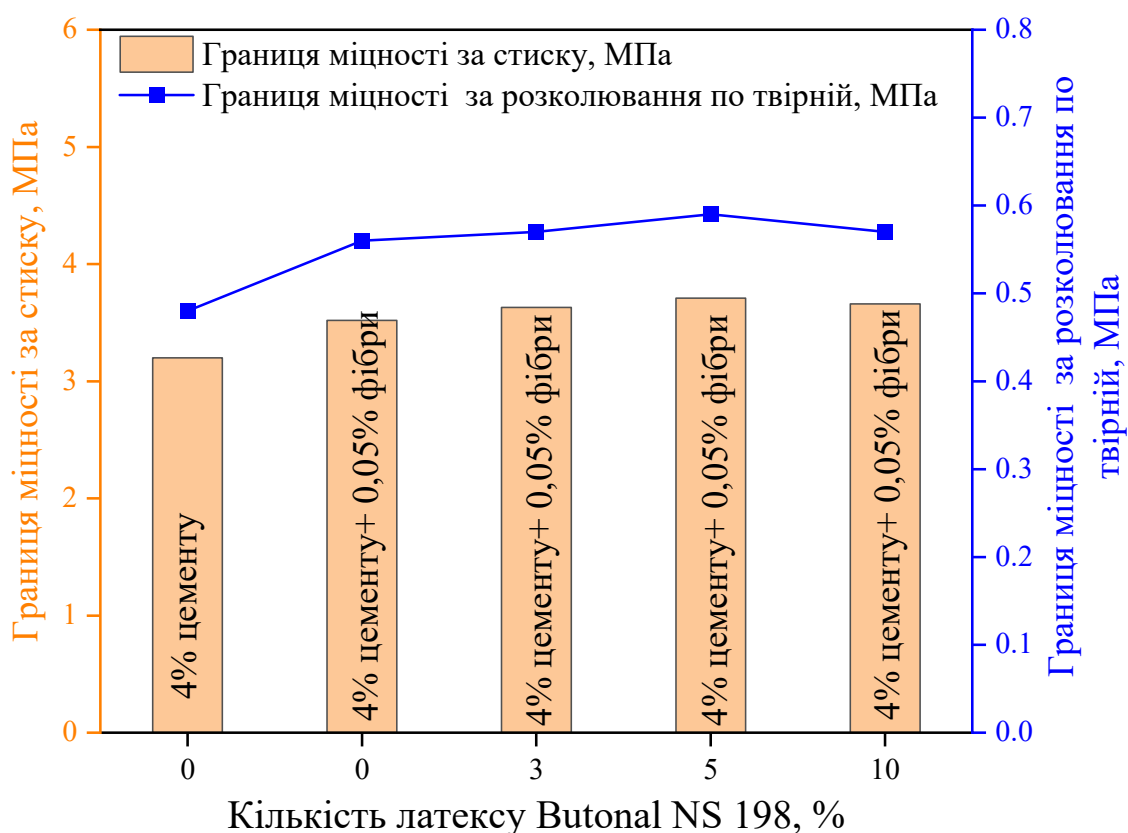


Рисунок 1 – Залежність границі міцності за стиску і границі міцності за розколювання по твірній матеріалу з ЩПС-40 зміцненого 4 % цементу і 0,05 % базальтової фібри від концентрації катіонного латексу

Figure 1 – Dependence of compressive strength and splitting strength of material from TGM -40 treated with 4% cement and 0.05% basalt fiber on the cationic latex content

Залежність розрахованого за результатами експериментальних досліджень показника дефектності структури (R_{ct}/R_p) матеріалу з ЩПС-40 із залістистих кварцитів зміцненої 4 % цементу з 0,05 % базальтової фібри від кількості введеного до його складу катіонного латексу «Butonal NS 198» наведена на рис. 2.

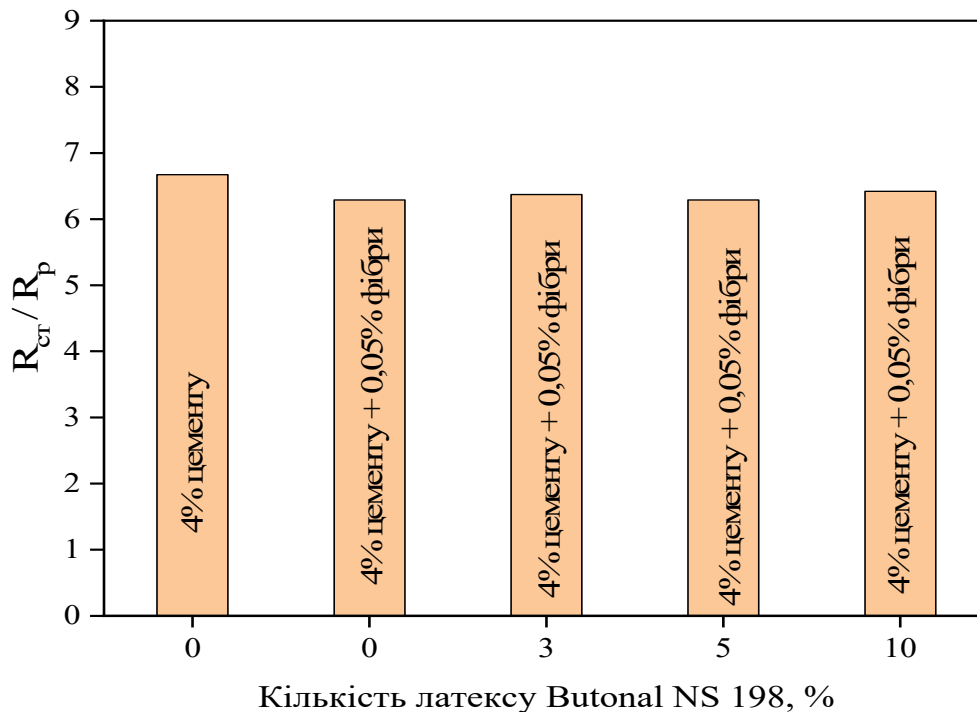


Рисунок 2 – Залежність показника дефектності структури від концентрації катіонного латексу в матеріалі з ЩПС-40 зміцненої 4 % цементу і 0,05 % базальтової фібри

Figure 2 – Dependence of показника дефектності структури on the cationic latex content in the material from TGM -40 treated with 4% cement and 0.05% basalt fiber

Отримані результати досліджень вказують на те, що додавання базальтової фібри і катіонного латексу, як індивідуальних добавок до складу ЩПС-40 зміцненої цементом, а також комплексу цих модифікувальних добавок, викликає зменшення показника дефектності структури матеріалу на 9 – 10 %, порівняно з матеріалом без добавок. Збільшення концентрації катіонного латексу в ЩПС-40 зміцненої 4 % цементу з 0,05 % базальтової фібри практично не впливає на значення показника дефектності структури матеріалу.

Експериментально отримані залежності максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості матеріалів з ЩПС-40 із залістистих кварцитів зміцненої 4 % цементу і 0,05 % базальтової фібри від концентрації катіонного латексу Butonal NS 198 у їхньому складі наведені на рис. 3

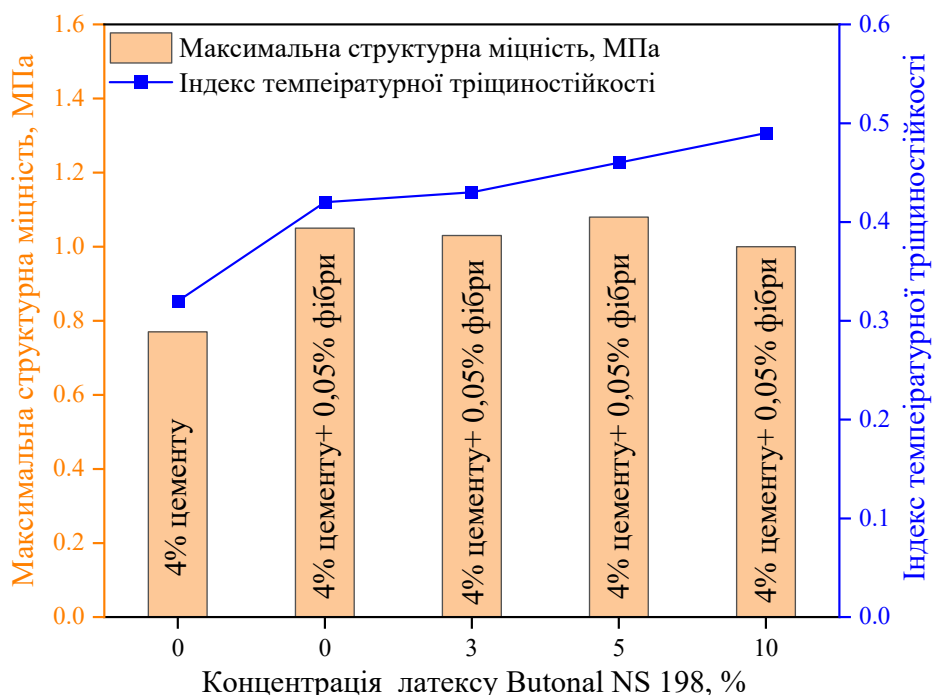


Рисунок 3 – Залежність максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості від концентрації катіонного латексу в матеріалі з ЩПС-40 зміцненої 4 % цементу і 0,05 % базальтової фібри

Figure 3 – Dependence of maximum structural strength and index of temperature crack-resistance on the cationic latex content in the material from TGM-40 treated with 4% cement and 0.05% basalt fiber

З наведених на рис. 3 залежностей видно, що матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцненої 4 % цементу властиві найменші значення максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості. Спостерігається також зростання значень максимальної структурної міцності (на 28 %) і індексу температурної тріщиностійкості (на 24 %) у разі введення до складу матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцненої 4 % цементу добавки базальтової фібри у кількості 0,05 % від маси мінеральної частини. Введення до складу ЩПС-40 із залізистих кварцитів 4 % цементу, 0,05 % базальтової фібри від маси мінеральної частини, а також 3 %, 5 % або 10 % катіонного латексу від маси оптимальної кількості води, практично не впливає на значення максимальної структурної міцності, порівняно з матеріалом з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцненої 4 % цементу і 0,05 % базальтової фібри. У разі введення 3 % катіонного латексу до складу ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцненої 4 % цементу і 0,05 % базальтової фібри індекс температурної тріщиностійкості зріс всього на 2,3 %, порівняно з матеріалом без латексу. У разі додавання до складу 5 % катіонного латексу вказаний індекс зріс на 8,7 % і за 10 % латексу на 14 %, порівняно з матеріалом без латексу. Аналіз наведених залежностей показує, що введення до складу ЩПС-40 зміцненої 4 % цементу одночасно добавок базальтової фібри та 3 %, 5 % і 10 % латексу викликає зростання значень індексу температурної тріщиностійкості на 25,6 %, 30,4 % і 34,7 %, відповідно. Отримані результати вказують на те, що матеріалам з ЩПС-40 зміцненої одночасно цементом і комплексом досліджуваних добавок властиві найбільші значеннями максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості і, відповідно, більша здатність чинити опір утворенню в них тріщин.

Висновки

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що введення комплексу досліджуваних добавок (0,05 % базальтової фібри + 5 % катіонного латексу) до складу щебенево-піщаної суміші із залізистих кварцитів зміцненої 4 % цементу призводить до найбільшого зростання показників границі міцності за стиску (на 10 %) і границі міцності за розколювання по твірній (на 18 %). Міцнісні показники за розколювання по твірній, як критерії ефективності впливу комплексу добавок на властивості матеріалу, виявилися більш чутливими, порівняно з показниками міцності за стиску. Показано, що матеріалу модифікованому комплексом досліджуваних добавок притаманні менші значення показника дефектності структури, порівняно з матеріалом зміцненим цементом без добавок. Чим менша величина показника дефектності структури, тим менша присутність мікрodefектів в матеріалі і, відповідно, більша його щільність і міцність.

Встановлено, що додавання базальтової фібри до складу щебенево-піщаної суміші із залізистих кварцитів з цементом або одночасно базальтової фібри і катіонного латексу, викликає зростання показників максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості. Більші значення максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості, що властиві матеріалам з щебенево-піщаної суміші зміцненої цементом одночасно з комплексом досліджуваних добавок, вказують на більшу їхню тріщиностійкість.

Перелік посилань

1. Y. Zheng, P. Zhang, Y. Cai, Z. Jin, and E. Moshtagh, "Cracking resistance and mechanical properties of basalt fibers reinforced cement-stabilized macadam", *Composites Part B: Engineering*, vol. 165, pp.
2. Y. Yang, J. Zheng, S. Lv, Research on differences and correlation between tensile, compression and flexural moduli of cement stabilized macadam, *Frattura Ed Integrità Strutturale* 41 (2017) 339–349.
3. S. Du, Influence of chemical additives on mixing procedures and performance properties of asphalt emulsion recycled mixture with reclaimed cement stabilized macadam, *Constr. Build. Mater.* 118 (2016) 146–154.
4. S. Zhong and Z. Chen, "Properties of latex blends and its modified cement mortars", *Cement and Concrete Research*, vol. 32, no. 10, pp. 1515–1524, 2002.
5. W. Shen, L. Shan, T. Zhang, H. Ma, Z. Cai, and H. Shi, "Investigation on polymer-rubber aggregate modified porous concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 38, pp. 667– 674, 2013.
6. D.V. Gemert, L. Czarnecki, M. Maultzsch et al., "Cement concrete and concrete-polymer composites: two merging words: a report from 11th ICPIC Congress in Berlin, 2004", *Cement and Concrete Composites*, vol. 27, no. 9-10, pp. 926–933, 2005.
7. R. Ollitrault-Fichet, C. Gauthier, and G. Clamen, "Micro structural aspect in a polymer-modified cement", *Cement and Concrete Research*, vol. 28, no. 12, pp. 1687–1693, 1998.
8. Chakraborty, Sumit, Byung-Wan, et al. Hydration study of the polymer modified jute fibre reinforced cement paste using analytical techniques[J]. *Construction and Building Materials*, 2015.
9. Жданюк В.К., Лапченко А.С., Шрестха Р.Б., Панасюк Я.І. Дослідження властивостей цементогрунту різних марок з добавками латексу Butonal NS 198 та поліпропіленової фібри // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг і аеродромів».- Харків, ХНАДУ.- 2012.- С.129-134.

10. ДСТУ 9177-3:2022 Матеріали щебеневі та гравійні для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 3. Матеріали, укріплені мінеральними в'язучими.

11. Concretes on organohydraulic binders. Technical specifications: STB 1415-2003. - Minsk: Gosstandart, 2003. - 20 p.

RESEARCH OF COMPLEX ADDITIVE INFLUENCE ON PROPERTIES OF CEMENT TREATED GRANULAR MIXES OF IRON TAILINGS

Jian Sun, PhD student, Kharkiv National Automobile and Highway University, Department of Automobile Road Construction and Maintenance, Kharkiv, Ukraine e-mail: 1586118851@qq.com, tel. +380638649819, <https://orcid.org/0000-0001-8997-7616>.

Valeriy Zhdaniuk, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, scientific consultant, ICP Company, Kyiv, Ukraine, e-mail: vk.zhanuk@gmail.com, tel.+380679632807, <https://orcid.org/0000-0003-0420-7036>.

Summary. Practicability of granular mixes of iron tailings treated with cement and complex additives (basalt fiber and cationic latex) application for construction of road pavements has been studied by the results of experimental research of compressive strength, splitting strength, maximum structural strength and temperature crack-resistance index.

Simultaneous application of basalt fiber and cationic latex to the composition of granular mix of iron tailings treated with cement has been found to increase compressive strength and splitting strength. It was proved that the material modified with basalt fiber and cationic latex had lower structural defect index compared to the material treated with cement only. Addition of basalt fiber to granular mix from iron tailings treated with cement or both basalt fiber and cationic latex results in higher crack-resistance as indicated by increase of the maximum structural strength and the temperature crack-resistance index.

Keywords: granular mix, cationic aqueous latex, basalt fiber, iron tailings, compressive strength, splitting strength, structural defect index, maximum structural strength, temperature crack-resistance index.

References

1. Y. Zheng, P. Zhang, Y. Cai, Z. Jin, and E. Moshtagh, "Cracking resistance and mechanical properties of basalt fibers reinforced cement-stabilized macadam", Composites Part B: Engineering, vol. 165, pp. [in English].
2. Y. Yang, J. Zheng, S. Lv, Research on differences and correlation between tensile, compression and flexural moduli of cement stabilized macadam, Frattura Ed Integrità Strutturale 41 (2017) 339–349. [in English].
3. S. Du, Influence of chemical additives on mixing procedures and performance properties of asphalt emulsion recycled mixture with reclaimed cement stabilized macadam, Constr. Build. Mater. 118 (2016) 146–154. [in English].
4. S. Zhong and Z. Chen, "Properties of latex blends and its modified cement mortars", Cement and Concrete Research, vol. 32, no. 10, pp. 1515–1524, 2002. [in English].
5. W. Shen, L. Shan, T. Zhang, H. Ma, Z. Cai, and H. Shi, "Investigation on polymer-rubber aggregate modified porous concrete", Construction and Building Materials, vol. 38, pp. 667– 674, 2013. [in English].

6. D.V. Gemert, L. Czarnecki, M. Maultzsch et al., “Cement concrete and concrete-polymer composites: two merging words: a report from 11th ICPIC Congress in Berlin, 2004”, Cement and Concrete Composites, vol. 27, no. 9-10, pp. 926–933, 2005. [in English].
7. R. Ollitrault-Fichet, C. Gauthier, and G. Clamen, “Micro structural aspect in a polymer-modified cement”, Cement and Concrete Research, vol. 28, no. 12, pp. 1687–1693, 1998. [in English].
8. Chakraborty, Sumit, Byung-Wan, et al. Hydration study of the polymer modified jute fibre reinforced cement paste using analytical techniques[J]. Construction and Building Materials, 2015. [in English].
9. Жданюк В.К., Лапченко А.С., Шрестха Р.Б., Панасюк Я.І. Дослідження властивостей цементогрунту різних марок з добавками латексу Butonal NS 198 та поліпропіленової фібри // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні комп’ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг і аеродромів».- Харків, ХНАДУ.- 2012.- С.129-134. [in Ukrainian].
10. ДСТУ 9177-3:2022 Матеріали щебеневі та гравійні для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 3. Матеріали, укріплені мінеральними в’язучими. [in Ukrainian].
11. Concretes on organic and hydraulic binders. Technical specifications: STB 1415-2003. - Minsk: Gosstandart, 2003. - 20 p. [in Belorussian].

УДК 539.3
УДК 539.3

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-067-080

**ТЕРМОМЕХАНІЧНІ ДЕФОРМУВАННЯ КАРБОНОВИХ НАНОТРУБОК В ПОЛІМЕРНИХ
МАТРИЦЯХ**

**THERMOMECHANICAL DEFORMATION OF CARBON NANOTUBES IN POLYMER
MATRIXES**



***Шлюнь Наталія Володимирівна**, кандидат технічних наук, доцент,
Національний транспортний університет, в.о. завідувача кафедри вищої
математики, к. 508, вул. Бойчука 42, Київ, Україна, 01103, e-mail:
nataliyashlyun@gmail.com, тел. +380975936346,*

<https://orcid.org/0000-0003-1040-8870>



***Заєць Юлія Олександрівна**, кандидат технічних наук, доцент,
Національний транспортний університет, кафедра вищої математики, к.
511, вул. Бойчука 42, Київ, Україна, 01103, e-mail: yzaets@gmail.com.*

<https://orcid.org/0000-0003-1836-2010>

Анотація. Виконано теоретичне дослідження ефектів зародження внутрішньоструктурних термонапружень в полімерних матеріалах, армованих карбонowymi нанотрубками, що викликані термомеханічною несумісністю цих матеріалів. На базі моделювання нанотрубки пружною циліндричною оболонкою із зведеними значеннями товщини, модуля пружності, коефіцієнта Пуассона і коефіцієнта лінійного термічного розширення побудовані диференціальні рівняння її термопружної взаємодії з епоксидним, поліамідним, фенолформальдегідним, поліефірним, полікарбонатним, полістирольним та поліпропіленовим середовищами в однорідних і неоднорідних полях температури. Знайдені розв'язки цих рівнянь в замкненій формі. Побудовані функції розподілення термонапружень в матричному середовищі та термічних зусиль в стінці нанотрубки. Продемонстровано, що термонапруження в матричному середовищі мають вигляд концентраторів на інтерфейсній поверхні між фазами системи та спадають обернено пропорційно квадрату відстані до осі нанотрубки. Показано, що інтенсивності цих термонапружень зростають зі збільшенням несумісності термомеханічних параметрів фаз системи.

Ключові слова: карбонові нанотрубки, полімерні матеріали, термомеханічна несумісність, внутрішньоструктурні термонапруження, математичне моделювання, концентратори напружень.

Вступ

Науковий та прикладний інтерес до відкритих в кінці минулого століття вуглецевих наноконструкцій зумовлений їх унікальними фізико-механічними характеристиками та значними можливостями практичного дослідження [1,2]. Найбільшими показовими різновидами цих нових структур є фуллерени, що мають замкнену сферичну або сфероїдальну форму, та нанотрубки.

Область досліджень, пов'язана із синтезом, вивченням та використанням вуглецевих нанотрубок (ВНТ), є одним із напрямів сучасної нанотехнології. Можна виділити два основних фактори, що сприяють розвитку таких досліджень. По-перше, це фундаментальний аспект, зумовлений мініатюрними розмірами та унікальними фізико-механічними характеристиками ВНТ. По-друге, завдяки таким властивостям, нанотрубки володіють значним прикладним потенціалом, що притягує до них інтерес зі сторони інженерів, які розвивають нові технології, а також які розробляють нові типи приладів та матеріалів.

Експерименти показують, що нанотрубки являють собою матеріал з рекордно високим значенням модуля Юнга (порядку терапаскаля). Це зумовлено їх досконалою структурою та силою хімічного зв'язку між атомами вуглецю, що складають ВНТ. Високі характеристики міцності ВНТ представляють значний інтерес з точки зору створення нових матеріалів та об'єктів техніки, які володіють підвищеними механічними властивостями. Так, розвинена технологія отримання надміцних волокон, пряжі та тканин із нанотрубок. Ці вироби за своїми механічними характеристиками стоять поза конкуренцією серед інших подібних матеріалів. В теперішній час активно розробляються композити, які являють собою полімерні матриці з додаванням ВНТ [3]. При цьому важливою проблемою є забезпечення спраження поверхонь полімеру та нанотрубки, що забезпечує ефективну передачу силових впливів від полімерної матриці до нанотрубки.

В силу відмічених унікальних фізико-механічних властивостей та завдяки значному потенціалу прикладного дослідження нанотрубки є об'єктом дослідження багатьох наукових організацій. За результатами таких досліджень щорічно публікується сотні наукових статей, загальне число яких складає десятки тисяч.

Вуглецева нанотрубка за своєю структурою являє собою одношарову чи багатшарову циліндричну оболонку діаметром від одного до кількох десятків нанометрів та довжиною від однієї десятої мікрона до півметра. Найбільш простим об'єктом з точки зору аналізу пружних властивостей є одношарова нанотрубка. Одним із характерних параметрів ВНТ являється її кут кіральності, який є кутом орієнтації графітової площини відносно осі нанотрубки. Параметри кіральності надають визначний вплив на електронні характеристики трубки, однак майже ніяк не впливають на її пружні властивості. Тому при аналізі механіки ВНТ кіральність, як правило не враховується.

Як об'єкт теорії пружності одношарова ВНТ може бути представлена у вигляді тонкої циліндричної оболонки або трубчастого стержня. Тому, як правило, повна механічна подібність в поведінці нанотрубок та макроскопічних оболонок на практиці не спостерігається. По-перше, це пов'язано з тим, що ВНТ не має суцільної стінки, а по-друге, вона характеризується товщиною порядку одного атома. У зв'язку з цим представляє значний інтерес вивчити в якій мірі класичні уявлення про механіку та пружні властивості циліндричних оболонок та стрижнів можуть застосовуватись до такого фізичного та хімічного об'єкту, як ВНТ. Відповіді на ці питання в теперішній час формуються на основі

порівняльного аналізу експериментальних даних, які отримані з урахуванням результатів модельних розрахунків, виконаних на атомно-молекулярному рівні, та класичних уявленнях теорії пружності [1,2].

З особливою внутрішньою структурою нанотрубок пов'язаний також ефект їх надвисокої повздовжньої теплопровідності [4]. Так, для одношарової КНТ її значення при $T = 20^\circ \text{C}$ складає $\beta = 2800 \div 6000 \text{ В/мК}$. Вона співставна з цією величиною для алмазу $\beta = 2200 \text{ В/мК}$, але значно перевищує коефіцієнти теплопровідності для сталі $\beta = 235 \text{ В/мК}$ та міді $\beta = 398 \text{ В/мК}$ [5 - 7].

В той же час відмічається вельми слабка поверхнева теплопередача в композитах від трубки до оточуючої її полімерної матриці через високий інтерфейсний термоопір на молекулярному рівні між ними. Це може призводити до розривності функції температури на контактній поверхні та до її високих градієнтів, що викликають додаткові концентратори термонапруження в системі. Однак цей фактор може грати і позитивну роль, завдяки можливості використання нанотрубки не тільки в якості армуючого елемента, але й у вигляді транспортного каналу для переносу тепла від високотемпературних зон композиту до низькотемпературних без втрати її на шляху прямуювання.

У зв'язку з відміченим вище, представляють значний науковий та прикладний інтерес питання моделювання додаткових внутрішньоструктурних термонапружень в системі нанотрубка-матриця, що викликані можливою несумісністю їх термомеханічних параметрів та високими градієнтами температури [8 -10,12-14]. Нижче при проведенні дослідження нанотрубка буде розглядатись як пружна циліндрична оболонка, матриця буде моделюватись пружним середовищем.

Постановка задачі

Нехай нескінченна нанотрубка 1 знаходиться в нескінченному середовищі 2 (рис. 1).

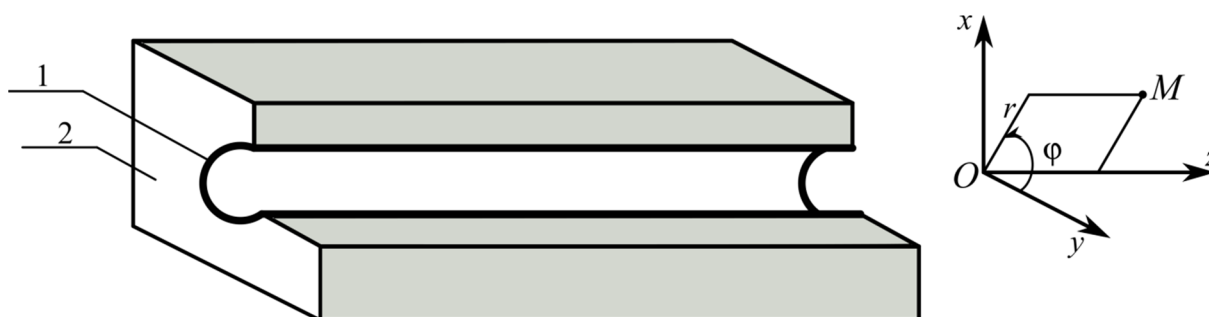


Рисунок 1 – Геометрична схема системи

Figure 1 – Geometric scheme of the system

Дослідимо термонапружений стан системи у двох випадках, коли температура всієї системи змінювалась на величину T і коли температура трубки змінилась на T_1 , а матриці – на T_2 . Для розрахунку використовуємо циліндричну систему координат $O r \theta z$, вісь θz якої співпадає з віссю трубки. Приймемо, що радіус серединної поверхні трубки дорівнює r_1 , зведена товщина – h . Для неї зведені значення термомеханічних параметрів складають: модуль пружності E_1 , коефіцієнт Пуассона

ν_1 , коефіцієнт лінійного термічного розширення α_1 . Для матеріалу матриці ці параметри позначимо E_2 , ν_2 , α_2 .

Вважаємо, що у вихідному положенні нанотрубка знаходиться у безперервному контакті по зовнішній поверхні з матеріалом матриці та напруження в системі рівні нулю. Потім температури фракцій змінились на величини T_1 і T_2 , відповідно. Потрібно досліджувати осесиметричний термонапружений стан системи, який виникає.

Сформулюємо спочатку на базі теорії циліндричних оболонок рівняння термопружного стану нанотрубки [11]. Для цього умовно виділимо її кільцевий елемент довжиною dz (рис. 2), прикладемо до нього зовнішні і внутрішні сили та розглянемо їх рівновагу.

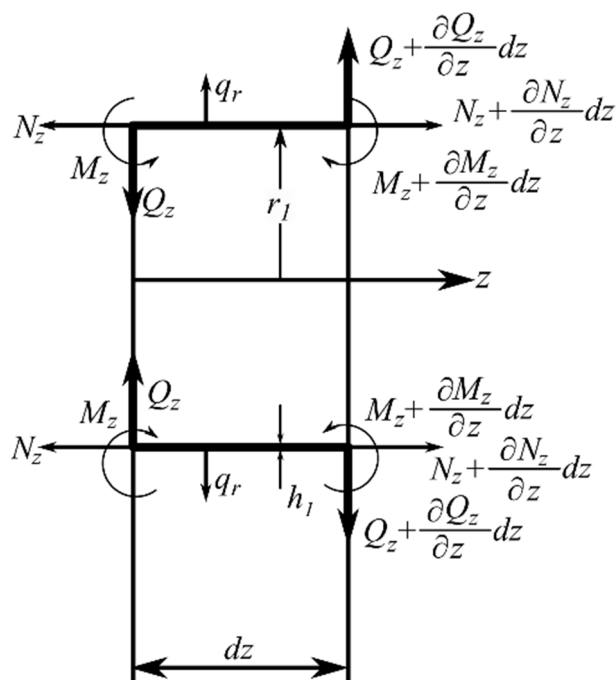


Рисунок 2 – Схема сил та параметрів, що діють на елемент оболонки

Figure 2 – Scheme of forces and parameters acting on the shell element

Рівняння рівноваги елемента оболонки при відсутності дотичних сил на її поверхні мають вигляд:

$$\frac{dN_z}{dz} = 0, \quad \frac{dM_z}{dz} - Q_z = 0, \quad \frac{dQ_z}{dz} - \frac{N_\varphi}{r_1} + q_r = 0. \quad (1)$$

Тут N_z, N_φ – мембранні зусилля відповідної орієнтації; M_z – згинний момент; Q_z – перерізуюча сила; q – інтенсивність зовнішнього розподіленого навантаження.

Виключаючи Q_z з другого та третього рівнянь (1), отримаємо

$$\frac{d^2 M_z}{dz^2} - \frac{N_\varphi}{r_1} + q_r = 0. \quad (2)$$

Випишемо співвідношення для мембранних деформацій [11]

$$\varepsilon_z^{(1)} = \frac{N_z - \nu_1 N_\varphi}{E_1 h} + \alpha_1 T, \quad \varepsilon_\varphi = \frac{N_\varphi - \nu_1 N_z}{E_1 h} + \alpha_1 T, \quad (3)$$

зміна кривин

$$\chi_z = \frac{12(M_z - \nu_1 M_\varphi)}{E_1 h^3}, \quad \chi_\varphi = \frac{12(M_\varphi - \nu_1 M_z)}{E_1 h^3}, \quad (4)$$

мембранних зусиль

$$N_z = \frac{E_1 h}{1 - \nu_1^2} [\varepsilon_z + \nu_1 \varepsilon_\varphi - (1 + \nu_1) \alpha_1 T],$$

$$N_\varphi = \frac{E_1 h}{1 - \nu_1^2} [\varepsilon_\varphi + \nu_1 \varepsilon_z - (1 + \nu_1) \alpha_1 T] \quad (5)$$

та моментів

$$M_z = \frac{E_1 h^3}{12(1 - \nu_1^2)} [\chi_z + \nu_1 \chi_\varphi],$$

$$M_\varphi = \frac{E_1 h^3}{12(1 - \nu_1^2)} [\chi_\varphi + \nu_1 \chi_z]. \quad (6)$$

В цих виразах $\varepsilon_z^{(1)}$, $\varepsilon_\varphi^{(1)}$ і χ_z , χ_φ – мембранні відносні деформації та зміни кривин серединної поверхні. Для циліндричної оболонки вони визначаються залежностями

$$\varepsilon_z^{(1)} = \frac{dv_1}{dz}, \quad \varepsilon_\varphi = \frac{u_1}{r_1},$$

$$\chi_z = -\frac{d^2 u_1}{dz^2}, \quad \chi_\varphi = 0, \quad (7)$$

де u_1 і v_1 – переміщення елементів серединної поверхні в повздовжньому та радіальному напрямках.

Підставляючи (7) в (5) та (6), отримуємо

$$N_z = \frac{E_1 h}{1 - \nu_1^2} \left[\frac{dv_1}{dz} + \nu_1 \frac{u_1}{r_1} - (1 + \nu_1) \alpha_1 T \right],$$

$$N_\varphi = \frac{E_1 h}{1 - \nu_1^2} \left[\frac{u_1}{r_1} + \nu_1 \frac{dv_1}{dz} - (1 + \nu_1) \alpha_1 T \right], \quad (8)$$

$$M_z = -\frac{E_1 h^3}{12(1 - \nu_1^2)} \frac{d^2 u_1}{dz^2}, \quad M_\varphi = -\frac{\nu_1 E_1 h^3}{12(1 - \nu_1^2)} \frac{d^2 u_1}{dz^2}.$$

Ціль даного дослідження полягає в аналізі внутрішньоструктурних термонапружень, які викликані несумісністю термодформацій нанотрубки та матриці. Тому будемо вважати, що трубка

нескінченної довжини знаходиться в необмеженому середовищі матриці. При цьому виділимо два випадки, коли в системі рівні нулю напруження в осьовому напрямі $\sigma_z^{(1)}$, $\sigma_z^{(2)}$ (плоский напружений стан) або коли в ній дорівнюють нулю осьові переміщення v_1 , v_2 (плоска деформація). У цих випадках рівняння (1) зводяться до вигляду

$$N_z = \text{const},$$

$$-\frac{E_1 h}{r_1(1-\nu_1^2)} \left[\frac{u_1}{r_1} + \nu_1 \frac{dv_1}{dz} - (1+\nu_1)\alpha_1 T \right] + q_r = 0. \quad (9)$$

Величина q_r контактного тиску, що сюди входить, визначається з умови сумісності радіальних переміщень.

При дослідженні термонапруженого стану середовища матриці зручно поряд з параметрами пружності E_2 , ν_2 застосовувати також параметри Ляме λ_2 і μ_2 , за необхідності переходячи від однієї системи до іншої. В циліндричній системі координат $Or\theta z$ плоска осесиметрична термонапружена рівновага пружного середовища 2 описується рівнянням [11]

$$\frac{d\sigma_r^{(2)}}{dr} + \frac{\sigma_r^{(2)} - \sigma_\phi^{(2)}}{r} = 0. \quad (10)$$

Тут $\sigma_r^{(2)}(r)$, $\sigma_\phi^{(2)}(r)$ – функції радіальних та колових напружень вздовж відповідних координатних осей. Виразимо їх разом з $\sigma_z^{(2)}(r)$ через компоненти відносних деформацій $\varepsilon_r^{(2)}(r)$, $\varepsilon_\phi^{(2)}(r)$, $\varepsilon_z^{(2)}(r)$

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(2)}(r) &= (\lambda_2 + 2\mu_2)\varepsilon_r^{(2)} + \lambda_2(\varepsilon_\phi^{(2)} + \varepsilon_z^{(2)}) - (3\lambda_2 + 2\mu_2)\alpha_2 T, \\ \sigma_\phi^{(2)}(r) &= (\lambda_2 + 2\mu_2)\varepsilon_\phi^{(2)} + \lambda_2(\varepsilon_r^{(2)} + \varepsilon_z^{(2)}) - (3\lambda_2 + 2\mu_2)\alpha_2 T, \\ \sigma_z^{(2)}(r) &= (\lambda_2 + 2\mu_2)\varepsilon_z^{(2)} + \lambda_2(\varepsilon_r^{(2)} + \varepsilon_\phi^{(2)}) - (3\lambda_2 + 2\mu_2)\alpha_2 T. \end{aligned} \quad (11)$$

де деформації обчислюються через радіальні переміщення $u_2(r)$:

$$\varepsilon_r^{(2)}(r) = \frac{du^{(2)}}{dr}, \quad \varepsilon_\phi^{(2)}(r) = \frac{u^{(2)}}{r}. \quad (12)$$

Розглянемо спочатку плоский деформований стан. Тоді

$$\varepsilon_z^{(2)}(r) = 0 \quad (13)$$

і рівняння (11) зводяться до форми:

$$\begin{aligned}\sigma_r^{(2)}(r) &= (\lambda_2 + 2\mu_2)\varepsilon_r^{(2)} + \lambda_2\varepsilon_\varphi^{(2)} - (3\lambda_2 + 2\mu_2)\alpha_2 T, \\ \sigma_\varphi^{(2)}(r) &= (\lambda_2 + 2\mu_2)\varepsilon_\varphi^{(2)} + \lambda_2\varepsilon_r^{(2)} - (3\lambda_2 + 2\mu_2)\alpha_2 T, \\ \sigma_z^{(2)}(r) &= \lambda_2(\varepsilon_r^{(2)} + \varepsilon_\varphi^{(2)}) - (3\lambda_2 + 2\mu_2)\alpha_2 T.\end{aligned}\quad (14)$$

За допомогою (14) та (12) перетворимо рівняння (10) до остаточного вигляду:

$$\frac{d^2 u^{(2)}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du^{(2)}}{dr} - \frac{1}{r^2} u^{(2)} = 0. \quad (15)$$

Воно має розв'язок

$$u^{(2)}(r) = rC_1 + \frac{1}{r}C_2, \quad (16)$$

де C_1 , C_2 – константи інтегрування. Вони знаходяться з умов контактної взаємодії середовища 2 з оболонкою 1 і прямування напруження $\sigma_r^{(2)}(r)$ до нуля при $r \rightarrow \infty$.

Як правило, в теорії оболонок, вважаємо, що взаємодія фрагментів 1 і 2 системи відбувається на серединній поверхні $r = r_1$. В цьому випадку маємо

$$q_r = \sigma_r^{(2)}(r_1), \quad (17)$$

$$u_1 = u^{(2)}(r_1), \quad (18)$$

$$\sigma_r^{(2)}(r) \rightarrow 0 \quad \text{при} \quad r \rightarrow \infty. \quad (19)$$

Враховуючи (16) випишемо співвідношення

$$\begin{aligned}\varepsilon_r^{(2)}(r) &= C_1 - \frac{1}{r^2}C_2, & \varepsilon_\varphi^{(2)}(r) &= C_1 + \frac{1}{r^2}C_2, \\ \sigma_r^{(2)}(r) &= 2(\lambda_2 + \mu_2)C_1 - 2\mu_2 \frac{1}{r^2}C_2 - (3\lambda_2 + 2\mu_2)\alpha_2 T, \\ \sigma_\varphi^{(2)}(r) &= 2(\lambda_2 + \mu_2)C_1 + 2\mu_2 \frac{1}{r^2}C_2 - (3\lambda_2 + 2\mu_2)\alpha_2 T, \\ \sigma_z^{(2)}(r) &= \lambda_2 C_1 - (3\lambda_2 + 2\mu_2)\alpha_2 T.\end{aligned}\quad (20)$$

Тоді з умов (19) випливає

$$C_1 = \frac{(3\lambda_2 + 2\mu_2)}{2(\lambda_2 + \mu_2)}\alpha_2 T. \quad (21)$$

В цьому випадку рівняння (17), (18) набувають форму

$$\frac{E_1 h}{r_1 (1 - \nu_1^2)} \left[\frac{u_1}{r_1} - (1 + \nu_1) \alpha_1 T \right] = -\frac{2\mu_2}{r_1^2} C_2, \quad (22)$$

$$u_1 = \frac{r_1 (3\lambda_2 + 2\mu_2)}{2(\lambda_2 + \mu_2)} \alpha_2 T + \frac{1}{r_1} C_2. \quad (23)$$

Ця система має розв'язок

$$u_1 = \left[\frac{E_1 h}{r_1 (1 - \nu_1)} \alpha_1 T + \frac{\mu_2 (3\lambda_2 + 2\mu_2)}{(\lambda_2 + \mu_2)} \alpha_2 T \right] / \left[\frac{E_1 h}{r_1^2 (1 - \nu_1^2)} + \frac{2\mu_2}{r_1} \right], \quad (24)$$

$$C_2 = - \left[\frac{E_1 h}{(1 - \nu_1^2)} \cdot \frac{(3\lambda_2 + 2\mu_2)}{2(\lambda_2 + \mu_2)} \alpha_2 T - \frac{E_1 h}{(1 - \nu_1)} \alpha_1 T \right] / \left[\frac{E_1 h}{r_1^2 (1 - \nu_1^2)} + \frac{2\mu_2}{r_1} \right] \quad (25)$$

Враховуючи (21) зведемо напруження (20) до вигляду

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(2)}(r) &= -\frac{2\mu_2}{r^2} C_2, \\ \sigma_\varphi^{(2)}(r) &= \frac{2\mu_2}{r^2} C_2, \\ \sigma_z^{(2)}(r) &= \lambda_2 C_1 - (3\lambda_2 + 2\mu_2) \alpha_2 T. \end{aligned} \quad (26)$$

Тоді

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(2)}(r) &= \frac{2E_1 h \mu_2}{r^2 (1 - \nu_1)} \left[\frac{(3\lambda_2 + 2\mu_2)}{2(1 + \nu_1)(\lambda_2 + \mu_2)} \alpha_2 T - \alpha_1 T \right] / \left[\frac{E_1 h}{r_1^2 (1 - \nu_1^2)} + \frac{2\mu_2}{r_1} \right], \\ \sigma_\varphi^{(2)}(r) &= -\frac{2E_1 h \mu_2}{r^2 (1 - \nu_1)} \left[\frac{(3\lambda_2 + 2\mu_2)}{2(1 + \nu_1)(\lambda_2 + \mu_2)} \alpha_2 T - \alpha_1 T \right] / \left[\frac{E_1 h}{r_1^2 (1 - \nu_1^2)} + \frac{2\mu_2}{r_1} \right], \\ \sigma_z^{(2)}(r) &= \frac{\lambda_2 (3\lambda_2 + 2\mu_2)}{2(\lambda_2 + \mu_2)} \alpha_2 T - (3\lambda_2 + 2\mu_2) \alpha_2 T. \end{aligned} \quad (27)$$

Підкреслимо, що наведені співвідношення отримані з припущенням, що прирости температури T однакові у всій системі.

Аналіз результатів обчислень для випадку однорідного температурного поля

При виборі значень термомеханічних параметрів E_1 , ν_1 , h і α_1 для оболонкової моделі решітчастої стінки нанотрубки необхідно врахувати, що на практиці їх експериментальне визначення методами молекулярної механіки проводяться шляхом співставлення частот та форм повздовжніх,

радіальних, згинних та крутильних коливань реального нанотрубчастого зразка і його теоретичної моделі у вигляді циліндричної оболонки або порожнього циліндра такої ж довжини. Одним з таких параметрів є товщина h оболонки, яка характеризується тим, що товщина стінки реальної нанотрубки дорівнює розміру одного атома вуглецю. У зв'язку з цим, в експериментах та обчисленнях часто використовують узагальнені оболонкові характеристики: згинна оболонкова жорсткість $D = Eh^3/12(1-\nu^2)$ і мембранна жорсткість $K = Eh$. Зазвичай вважається [1], що при $E=1$ ТПа, $K = Eh = 360$ Н/м, $\nu = 0,2$. У зв'язку з цим, покладемо, що в нашому випадку $E_1h = 360$ Н/м, $\nu_1 = 0,2$, $\alpha_1 = 1,0 \cdot 10^{-5}$ C⁻¹. Радіус нанотрубки може набувати значення від 0,5 до декількох десятків нанометрів.

Оскільки при створенні композитів з додаванням вуглецевих нанотрубок найбільш активно обговорюються структури з полімерними матрицями, нижче для аналізу термомеханічної сумісності нанотрубки і середовища 2 вибрані полімерні матеріали, наведені в Табл.1. Відмітимо, що їх термомеханічні властивості можуть залежати від їхнього складу, технології виготовлення та температури, тому в Табл.1 подані найбільш характерні значення термомеханічних параметрів цих матеріалів

Таблиця 1 – Термомеханічні параметри вибраних полімерних матеріалів

Table 1 – Thermomechanical parameters of selected polymer materials

№ п.п	Полімерний матеріал	λ , ГПа	μ , ГПа	$[\sigma]_{\text{міц}}$, МПа	$10^5 \alpha$ C ⁻¹
1	Епоксидна смола	2,8	1,3	40-80	5
2	Поліамід	3,76	1,06	50-90	7
3	Фенелформальдегід	1,18	1,56	48	3
4	Поліефір	4,73	1,84	10-129	7,9
5	Полікарбонат	2,25	0,87	66	6,5
6	Полістирол	2,58	1,21	46	7
7	Поліпропілен	2,40	0,46	31-41	14

Використовуючи ці величини, за допомогою формул (16), (18), (8), (27) обчислені значення u_1 , N_φ , N_z , $\sigma_r^{(2)}(r_1)$, $\sigma_\varphi^{(2)}(r_1)$, $\sigma_z^{(2)}(r_1)$ для комбінації нанотрубки з матеріалами наведеними в Табл.1. При цьому вважалось, що $r_1 = 5$ нм, зміна температури $T = 50^\circ$ C. Результати обчислень показані в Табл. 2.

Аналіз значень радіальних термомеханічних переміщень $u_1(r_1)$ стінки нанотрубки дозволяє зробити висновок, що у зв'язку з великою радіальною жорсткістю нанотрубки основна доля значення u_1 викликана простим термічним розширенням $u_T = (1 + \nu_1)\alpha_1 T$, яке складає $u_T = 0,0006$ нм при $r_1 = 1$ нм та $u_T = 0,003$ нм при $r_1 = 5$ нм. Малі перевищення цих величин, що можна спостерігати в Табл.2, навіть при великих значеннях коефіцієнтів α_2 полімерів порівняно з коефіцієнтом α_1 нанотрубки пояснюється високими значеннями E_1 карбонової стінки.

Як свідчать формули (27), термонапруження $\sigma_r^{(2)}(r)$, $\sigma_\varphi^{(2)}(r)$ в матриці дорівнюють одне одному за модулем, мають різні знаки та спадають обернено пропорційно r^2 . Остання властивість

погоджується з принципом Сен-Венана про характер спадання в пружних тілах напружень, викликаних самозрівноваженою системою сил. Важливо відзначити також, що при порівняно помірній зміні температури на $T = 50^\circ \text{C}$ максимальні додаткові внутрішньоструктурні термонапруження $\sigma_r^{(2)}(r_1)$, $\sigma_\phi^{(2)}(r_1)$ в матриці далекі від граничних значень $[\sigma]_{\text{мц}}$, наведених у Табл. 1. Однак їхній вклад в загальний напружений стан системи може бути відчутним при спільній дії з загальними експлуатаційними навантаженнями. Тому в загальному випадку прояв цих термонапружень бажано враховувати.

Таблиця 2 – Значення параметрів термонапруженого стану системи при однорідному полі температур

Table 2 – Values of the parameters of the thermal stress state of the system at a uniform temperature field

№ п.п.	Полімерний матеріал матриці	r_1 мм	$10^4 u_1$ мм	$10^2 N_\phi$ Н/м	N_z Н/м	$\sigma_r^{(2)}(r_1)$ МПа	$\sigma_\phi^{(2)}(r_1)$ МПа	$\sigma_z^{(2)}(r_1)$ МПа
1	Епоксидна смола	1	6,190	0,7125	-0,1785	7,113	-7,113	-18,11
		5	40,32	8,372	-0,1633	6,912	-6,912	-18,11
2	Поліамід	1	6,241	0,8989	-0,1782	8,994	-8,994	-28,61
		5	35,86	4,397	-0,1712	8,291	-8,291	-28,61
3	Фенолформальдегід	1	6,101	0,3784	-0,1792	3,784	-3,784	-7,839
		5	32,44	1,832	-0,1763	3,663	-3,663	-7,839
4	Поліефір	1	6,463	1,736	-0,1765	17,67	-17,67	-45,75
		5	41,16	8,933	-0,1638	16,74	-16,74	-45,75
5	Полікарбонат	1	6,176	0,6619	-0,1792	6,619	-6,619	-17,64
		5	34,33	3,249	-0,1654	6,499	-6,499	-17,64
6	Полістирол	1	5,734	0,9836	-0,1780	9,837	-9,837	-23,56
		5	36,39	4,795	-0,1704	9,591	-9,591	-23,56
7	Поліпропілен	1	6,228	0,8551	-0,2156	8,611	-8,611	-32,99
		5	35,66	4,243	-0,1715	8,486	-8,486	-32,99

Термонапружений стан системи при неоднорідному температурному полі.

Як зазначено вище, карбонові нанотрубки поряд з особливими механічними властивостями, володіють також специфічною фізичною властивістю вкрай високої теплопровідності в осьовому напрямі та занадто низькою тепловіддачею з її бічної поверхні. У зв'язку з цією особливістю можливі ситуації, коли на деяких ділянках нанотрубки при інтенсивних теплових потоках вздовж осі температура трубки і матриці не встигає вирівнятися і виявляється розривною. В термопружності такий випадок є менш сприятливим і має бути розглянутим додатково.

Нехай T_1 – температура нанотрубки, T_2 – температура матриці. Тоді при моделюванні термопружного деформування системи у всіх співвідношеннях, що включають доданки з множниками $\alpha_1 T$ та $\alpha_2 T$, їх можна замінити множниками $\alpha_1 T_1$ і $\alpha_2 T_2$, відповідно. В результаті після аналогічних послідовних перетворень замість (21), (25) отримаємо рівності

$$C_1 = \frac{(3\lambda_2 + 2\mu_2)}{2(\lambda_2 + \mu_2)} \alpha_2 T_2,$$

$$C_2 = -\frac{\frac{E_1 h}{(1-\nu_1^2)} C_1 - \frac{E_1 h}{(1-\nu_1)} \alpha_1 T_1}{\frac{E_1 h}{r_1^2 (1-\nu_1^2)} + \frac{2\mu_2}{r_1}}. \quad (28)$$

Аналогічні зміни отримають вирази (8) для обчислення зусиль в оболонці нанотрубки

$$N_\varphi = \frac{E_1 h}{1-\nu_1^2} \left[\frac{u_1}{r_1} - (1+\nu_1) \alpha_1 T_1 \right],$$

$$N_z = \frac{E_1 h}{1-\nu_1^2} \left[\nu_1 \frac{u_1}{r_1} - (1+\nu_1) \alpha_1 T_1 \right], \quad (29)$$

і вирази (11) для обчислення напружень в матричному середовищі 2

$$\sigma_r^{(2)}(r) = \frac{2E_1 h \mu_2}{r^2 (1-\nu_1)} \left[\frac{C_1}{(1+\nu_1)} - \alpha_1 T_1 \right] \left/ \left[\frac{E_1 h}{r_1^2 (1-\nu_1^2)} + \frac{2\mu_2}{r_1} \right] \right.,$$

$$\sigma_\varphi^{(2)}(r) = -\frac{2E_1 h \mu_2}{r^2 (1-\nu_1)} \left[\frac{C_1}{(1+\nu_1)} - \alpha_1 T_1 \right] \left/ \left[\frac{E_1 h}{r_1^2 (1-\nu_1^2)} + \frac{2\mu_2}{r_1} \right] \right., \quad (30)$$

$$\sigma_z^{(2)}(r) = \lambda_2 C_1 - (3\lambda_2 + 2\mu_2) \alpha_2 T_2.$$

В якості прикладу розглянемо випадок, коли приріст температури середовища 2 склав $T = 50^\circ \text{C}$, а температура нанотрубки в наслідок слабкої теплопередачі через її бічну поверхню змінилась тільки на $T_1 = 25^\circ \text{C}$. При цьому зупинимось на випадках поліамідної, поліефірної і поліпропіленової матриць, для яких прирости напружень в Табл.2 виявились найбільшими. Результати обчислень наведені в Табл. 3.

Таблиця 3 – Значення параметрів термонапруженого стану системи при неоднорідному полі температур

Table 3 – Values of the parameters of the thermal stress state of the system at a non-uniform temperature field

№ п.п.	Полімерний матеріал матриці	r_1 нм	$10^4 u_1$ нм	$10^2 N_\varphi$ Н/м	N_z Н/м	$\sigma_r^{(2)}(r_1)$ МПа	$\sigma_\varphi^{(2)}(r_1)$ МПа	$\sigma_z^{(2)}(r_1)$ МПа
1	Поліамід	1	3,256	0,9624	-0,088	9,604	-9,604	-14,92
		5	21,28	4,706	-0,0805	9,412	-9,412	-14,92
2	Поліефір	1	3,493	1,848	-0,1073	18,48	-18,48	-45,17
		5	26,85	8,896	-0,086	17,79	-17,79	-45,17
3	Поліпропілен	1	3,236	0,8844	-0,088	8,844	-8,844	-32,99
		5	20,84	4,350	-0,081	8,759	-8,759	-32,99

Зауважимо, що як і варто було очікувати, двократне зменшення температури нанотрубки призвело до майже двократного зменшення її радіальних переміщень u_1 . При цьому колові зусилля N_φ змінилися несуттєво, а термонапруження $\sigma_r^{(2)}(r_1)$, $\sigma_\varphi^{(2)}(r_1)$ в середовищі матриці зросли від 4% до 14%.

Висновки

1. На базі методів термопружності поставлена задача про зародження внутрішньоструктурних термонапружень в полімерних матеріалах, що армовані карбоновими нанотрубками в умовах зміни в них однорідних і неоднорідних полів температур. Для опису термодформування нанотрубки використовується модель циліндричної оболонки зі зведеними параметрами товщини, модуля пружності, коефіцієнта Пуасона і коефіцієнта лінійного термічного розширення, полімерна матриця розглядається як пружне середовище. Сформульована система розв'язувальних рівнянь, побудовані її розв'язки в замкненій формі.

2. Обчислені внутрішньоструктурні термонапруження в матриці, що складаються з епоксидної смоли, поліаміду, фенолформальдегіду, поліефіру, полікарбонату, полістирола і поліпропілену. Розглянуто два випадки, коли температура всієї системи змінилась на 50°C і коли температура стінки нанотрубки змінилась на 25°C , а матеріал матриці додатково нагрівся на 50°C . В обох випадках найбільші значення радіальних і колових термонапружень в матриці реалізуються на інтерфейсній поверхні, вони однакові за абсолютною величиною, мають різні знаки та спадають обернено пропорційно квадрату радіуса. При цьому термонапруження, орієнтовні в осьовому напрямі, значно перевищують радіальні та колові термонапруження. У всіх випадках обчислені термонапруження, хоча і є помітними, менші ніж їх граничні значення і лише іноді наближаються до них.

3. Виконані дослідження свідчать про те, що в наслідок несумісності термомеханічних параметрів карбонових нанотрубок і полімерних матеріалів при зміні температур фаз композиту на їх основі використання нанотрубок в якості арматури може призводити не тільки до збільшення механічної міцності системи, але також і до зародження на інтерфейсних поверхнях додаткових концентраторів внутрішньоструктурних термонапружень, які при спільній дії з експлуатаційними навантаженнями можуть викликати локальні нанопшкодження.

Перелік посилань

1. Gupta S.S, Bosco F., Batra R.C. Wall thickness and elastic moduli of single-walled carbon nanotubes from frequencies of axial, torsional and inextensional modes of vibration. Computational Materials Science. 2010. 47. pp. 1049-1059.
2. Monteiro A.O, Cachim P.B., Costa P.M. Mechanics of filled carbon nanotubes. Diamond and Related Materials. 2014. 44. pp. 11-25.
3. Dai L, Sun J. Mechanical properties of carbon nanotubes-polymer composites. Open access peer-reviewed chapter in the book Carbon Nanotubes - Current Progress of their Polymer Composites. 2016.
4. Zhidong Han, Alberto Fina. Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites: A review/ Progress in Polymer Science. 2011, V.36, №7, pp. 914-944. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.11.004>
5. Han Z., Fina A. Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites: A Review. Progress in Polymer Science. 2011. V. 36 (7). pp. 914-944.
6. Kwon YK., Kim P. Unusually high thermal conductivity in carbon nanotubes. Chapter in the book High Thermal Conductivity Materials. Springer, New York, NY. pp. 227-265.

7. Wang P., Xiang R., Maruyama S. Chapter two - thermal conductivity of carbon nanotubes and assemblies. *Advances in Heat Transfer*, Elsevier. 2018. V. 50. pp. 43-122.
8. Шлюнь Н.В., Заєць Ю.О. Про внутрішній механізм термопошкоджень в армованих композитах з термомеханічною несумісністю їх фаз. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Науковий журнал. Київ. 2022. Вип. 3(53). – С. 427-432.
9. Elwardany M., Planche J.-P., King G. Universal and practical approach to evaluate asphalt binder resistance to thermally-induced damage. *Construction and Building Materials*. 2020, V.255, pp. 1-18.
10. Elwardany M.D., King G., Planche J.P., Rodezno C., Christensen D., Fertig Ill R.S., Kuhn K.H., Bhuiyan F.H. Internal restraint damage mechanism for age-induced pavement surface damage. *Asphalt Paving Technol. J. Assoc. Asphalt Paving Technol.* 2019, V.88.
11. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. Киев, Наукова думка, 1970. 307 с.
12. Гуляев В.І., Мозговий В.В., Шлюнь Н.В., Заєць Ю.О., Білобрицька О.І., Шевчук Л.В. Внутрішньоструктурні термонапруження в композитах з термомеханічно несумісними параметрами їх фракцій. Київ, Ліра-К, 2023. 302 с.
13. Gulyayev V.I., Mozgovyi V.V., Shlyun N.V., Shevchuk L.V., Bilobrytska O.I. Negative thermomechanical effects in granular composites with incompatible thermomechanical parameters of their components. *International Review of Mechanical Engineering*. 2022. 16(4). pp. 188–197. <https://doi.org/10.15866/ireme.v16i4.21996>.
14. Qian D., Wagner G.J., Liu W.K., Yu M.F., Ruoff R. S. Mechanics of carbon nanotubes. *Applied Mechanics Reviews*. 2002. 55(6). pp. 495-532.

THERMOMECHANICAL DEFORMATION OF CARBON NANOTUBES IN POLYMER MATRIXES

Nataliia Shlyun, Ph.D., Associate Prof., National Transport University, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-1040-8870>

Julia Zaiets, Ph.D., Associate Prof. National Transport University, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-1836-2010>

Annotation: A theoretical study of the effects of nucleation of intrastructural thermal stresses in polymer materials reinforced with carbon nanotubes, caused by thermomechanical incompatibility of materials, was performed. Differential equations of its thermoelastic interaction with epoxy, polyamide, phenol-formaldehyde, polyester, polycarbonate, polystyrene, and polypropylene media in uniform and non-uniform temperature fields were constructed on the basis of modeling of a nanotube with an elastic cylindrical shell with aggregated values of thickness, modulus of elasticity, Poisson's ratio, and coefficient of linear thermal expansion. The solutions of these equations are found in closed form. The distribution functions of thermal stresses in the matrix medium and thermal forces in the nanotube wall are constructed. It was demonstrated that the thermal stresses in the matrix medium have the form of concentrators on the interface surface between the phases of the system and decrease inversely proportional to the square of the distance to the axis of the nanotube. It is shown that the intensities of these thermal stresses increase with increasing incompatibility of the thermomechanical parameters of the system phases.

Key words: carbon nanotubes, polymer materials, thermomechanical incompatibility, intrastructural thermal stresses, mathematical modeling, stress concentrators.

References

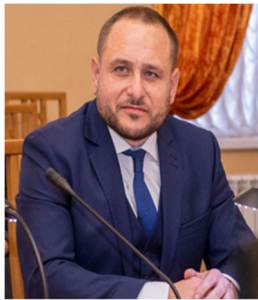
1. Gupta S.S, Bosco F., Batra R.C. Wall thickness and elastic moduli of single-walled carbon nanotubes from frequencies of axial, torsional and inextensional modes of vibration. *Computational Materials Science*. 2010. 47. pp. 1049-1059.
2. Monteiro A.O, Cachim P.B., Costa P.M. Mechanics of filled carbon nanotubes. *Diamond and Related Materials*. 2014. 44. pp. 11-25.
3. Dai L, Sun J. Mechanical properties of carbon nanotubes-polymer composites. Open access peer-reviewed chapter in the book *Carbon Nanotubes - Current Progress of their Polymer Composites*. 2016.
4. Zhidong Han, Alberto Fina. Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites: A review/ *Progress in Polymer Science*. 2011, V.36, №7, pp. 914-944. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.11.004>
5. Han Z., Fina A. Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites: A Review. *Progress in Polymer Science*. 2011. V. 36 (7). pp. 914-944.
6. Kwon YK., Kim P. Unusually high thermal conductivity in carbon nanotubes. Chapter in the book *High Thermal Conductivity Materials*. Springer, New York, NY. pp. 227-265.
7. Wang P., Xiang R., Maruyama S. Chapter two - thermal conductivity of carbon nanotubes and assemblies. *Advances in Heat Transfer*, Elsevier. 2018. V. 50. pp. 43-122.
8. Шлюнь Н.В., Заєць Ю.О. Про внутрішній механізм термопошкоджень в армованих композитах з термомеханічною несумісністю їх фаз. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Науковий журнал. Київ. 2022. Вип. 3(53). – С. 427-432.
9. Elwardany M., Planche J.-P., King G. Universal and practical approach to evaluate asphalt binder resistance to thermally-induced damage. *Construction and Building Materials*. 2020, V.255, pp. 1-18.
10. Elwardany M.D., King G., Planche J.P., Rodezno C., Christensen D., Fertig Ill R.S., Kuhn K.H., Bhuiyan F.H. Internal restraint damage mechanism for age-induced pavement surface damage. *Asphalt Paving Technol. J. Assoc. Asphalt Paving Technol*. 2019, V.88.
11. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. Киев, Наукова думка, 1970. 307 с.
12. Гуляев В.І., Мозговий В.В., Шлюнь Н.В., Заєць Ю.О., Білобрицька О.І., Шевчук Л.В. Внутрішньоструктурні термонапруження в композитах з термомеханічно несумісними параметрами їх фракцій. Київ, Ліра-К, 2023. 302 с.
13. Gulyayev V.I., Mozgovyi V.V., Shlyun N.V., Shevchuk L.V., Bilobrytska O.I. Negative thermomechanical effects in granular composites with incompatible thermomechanical parameters of their components. *International Review of Mechanical Engineering*. 2022. 16(4). pp. 188–197. <https://doi.org/10.15866/ireme.v16i4.21996>.
14. Qian D., Wagner G.J., Liu W.K., Yu M.F., Ruoff R. S. Mechanics of carbon nanotubes. *Applied Mechanics Reviews*. 2002. 55(6). pp. 495-532.

УДК 528.4:332.6
UDC 528.4:332.6

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-081-088

**ІНСТРУМЕНТАРІЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ОБ'ЄДНАНИХ
ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД**

**TOOLKIT FOR PROVIDING LAND STRUCTURE OF UNITED TERRITORIAL
COMMUNITIES**



***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, тел. +380992917354*

<http://orcid.org/0000-0002-0797-2609>



***Канівець Олена Миколаївна**, старший викладач кафедри Геодезії та землеустрою, Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна, e-mail: leva1205@ukr.net*

<https://orcid.org/0000-0002-9597-6617>



***Величко Володимир Анатолійович**, доктор економічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: Volodymyr.Velychko@kname.edu.ua*

<https://orcid.org/0000-0002-0282-368X>



***Гой Василь Васильович**, кандидат економічних наук, докторант кафедри економіки та маркетингу, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, e-mail: vasssgoi@gmail.com*

<https://orcid.org/0000-0003-1822-4478>

Анотація: Доведена актуальність теми дослідження. Досягнута мета дослідження щодо виокремлення особливостей моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад. У цьому контексті вирішені наступні завдання: теоретичне обґрунтування існуючих теоретичних положень щодо визначення моніторингу використання земель; характеристика моніторингових процедур щодо використання земель ОТГ.

Визначено поняття моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад, яке враховує просторове, містобудівне, соціально-економічне і екологічне забезпечення шляхом застосування геоінформаційного інструментарію, що дозволило розвинути теоретико-методичну базу щодо формування та застосування моніторингових процедур на регіональному рівні для підвищення ефективності реалізації земельних відносин в ОТГ.

Розроблені типологічні засади визначення чинників щодо використання земель об'єднаних територіальних громад на основі просторового, містобудівного, соціально-економічного і екологічного забезпечення, яке дозволяє сформувати кількісну базу для розробки й реалізації інтегрального методу оцінки для формування й здійснення моніторингу на регіональному рівні.

Запропоновано метод інтегральної оцінки використання земель об'єднаних територіальних громад, як основний елемент технології формування й здійснення моніторингу, що базується на аналітичному та експертному методах, який на відміну від існуючих дозволив сформувати системне моніторингове середовище на регіональному рівні.

Розроблено моніторинг використання земель ОТГ, який базується на результатах застосування методу оцінки рівня використання земель, математичного моделювання та сучасних геоінформаційних систем, який дозволив створити умови для прийняття обґрунтованих рішень.

Ключові слова: геоінформаційні системи, геодезичне та землепорядне забезпечення, використання земель, об'єднані територіальні громади, моніторинг, землеустрій.

Вступ. Реформа місцевого самоврядування потребує переосмислення підходів до формування земель та їх використання, особливо у об'єднаних територіальних громадах (ОТГ). Більша частина об'єктів земельно-майнового комплексу передана територіальним громадам, які отримали значні права на отримання земельними ресурсами. Зокрема, розроблено відповідне нормативно-правове забезпечення: Про затвердження Державної стратегії регіону на період до 2020 року: постанова Кабінету Міністрів України від 06.08.2014 р. № 385, Про План законодавчого забезпечення реформ в Україні: постанова Верховної Ради України від 04.06.2015 р. № 509-VIII, Про співробітництво територіальних громад. Закон України від 17.06.2014 р. № 1508-VII, Про добровільне об'єднання територіальних громад: Закон України від 05.02.2015 р. № 157-VIII, Про внесення змін до деяких законодавчих актів України, щодо розширення повноважень органів місцевого самоврядування та оптимізації надання адміністративних послуг: Закон України від 10.12.2015 р. № 888-VIII, Про внесення змін до Бюджетного кодексу України щодо особливостей формування та виконання бюджетів ОТГ: Закон України від 26.11.2015 р. № 837-VII, Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо добровільного приєднання територіальних громад: Закон України від 09.02.2017 р. № 1852-VIII. Поряд з цим, для підвищення ефективності використання земель застосовуються моніторингові процедури із застосуванням сучасних геоінформаційних систем. У цьому контексті побудовано законодавчий базис для розвитку представленого напрямку: Про національну інфраструктуру геопросторових даних. Закон України від 13.04.2020 р. № 554-IX, Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних. Постанова Кабінету

міністрів України від 26.05.2021 р. № 532, Правила роботи Геоінформаційної системи регіонального розвитку. Урядовий портал, Про затвердження Порядку функціонування єдиної геоінформаційної системи здійснення моніторингу та оцінювання розвитку регіонів і територіальних громад. Постанова Кабінету міністрів України від 23 травня 2023 р. № 522.

Метою дослідження є виокремлення особливостей моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад. У цьому контексті вирішуються наступні завдання:

- теоретичне обґрунтування існуючих теоретичних положень щодо визначення моніторингу використання земель;

- характеристика моніторингових процедур щодо використання земель ОТГ.

Поряд з цим, визначені певні проблемні аспекти щодо забезпечення використання земель ОТГ із недостатнім рівнем розробки та застосування моніторингових процедур. Це знижує потенційні можливості й обґрунтованість прийняття рішень. Таким чином, тема роботи є актуальною і має важливого значення для розвитку об'єднаних територіальних громад.

Огляд наукових розробок. В існуючих наукових розробках відсутні єдині підходи до визначення моніторингу використання земель ОТГ. Функціональні особливості моніторингу використання земель визначаються через напрями його формування та реалізації:

- своєчасне виявлення зміни стану земель та властивостей ґрунтів;

- оцінку здійснення заходів щодо охорони земель;

- збереження та відтворення родючості ґрунтів;

- попередження впливу негативних процесів і ліквідації наслідків цього впливу [1].

Формуючи функціональні ознаки моніторингу, охарактеризовані напрями удосконалення моніторингової системи використання земель, зокрема:

- оновлення картографічних матеріалів;

- формування просторових та атрибутивних даних про якісний склад земель;

- створення мережі постійно діючих полігонів з експериментально-виробничого моніторингу земель;

- створення еталонних стаціонарних ділянок для спостереження за негативними процесами по всій території;

- створення аналітично-інформаційної системи ГІС [2].

Для розробки й реалізації моніторингу використання земель визначаються просторові характеристики, фокус уваги на яких зосереджено у розробках [3–5].

Просторові характеристики визначають напрями розробки та реалізації моніторингу використання земель, визначає особливості землекористування, зміни у системі земельних відносин. У цьому контексті особливого значення має здійснення моніторингових процедур шляхом моделювання просторових чинників на основі застосування методів системного, кореляційно-регресійного аналізу, геоінформаційного інструментарію із забезпеченням взаємодії із сучасною системною земельною адміністрацією [6].

Для здійснення моніторингу використання земель визначаються містобудівні фактори, важливість яких висвітлена у роботах [7–8].

Моніторинг використання земель формується й здійснюється на основі технологічних інструментів, де важливого значення мають геоінформаційні системи [9–10]. Вони розглядається як комплексний інструментарій, що дозволяє сформувати інформаційну базу чинників впливу на

землекористування, здійснити їх моніторинг у розрізі територіальних структур. Для формування ГІС застосовуються напрями та особливості створення геодезичного та землевпорядного забезпечення.

При здійсненні моніторингу використання земель деякі науковці розглядають й враховують екологічні чинники [11].

Виклад основного матеріалу. Для формування моніторингу виокремлені локальні чинники просторового забезпечення моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад за регіонами. Вони враховують особливості застосування нормативно-правового забезпечення, рівень розробки та використання інформаційних систем, ефективності функціонування інституційного забезпечення, щільність населення. Представлені локальні чинники просторового забезпечення є елементом та формують багаторівневу систему чинників для оцінки рівня використання земель, що дозволяє підвищити рівень обґрунтованості рішень.

Охарактеризовані локальні чинники містобудівного забезпечення моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад, більшість з яких визначаються якісними методами. Вони визначаються рівнем розробки й впровадження проєктів землеустрою щодо впорядкування територій для містобудівних потреб; напрямками і особливостями формування та застосування системи містобудівного забезпечення; розробки та здійснення моніторингових процедур містобудівної діяльності; формування та використання містобудівного кадастру; забезпечення архітектурно-будівельного контролю; розробки й впровадження комплексних планів; будівельною активністю у об'єднаних територіальних громадах.

Сформовані локальні соціально-економічні й екологічні чинники є елементом багаторівневої системи показників для моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад. Локальні соціально-економічні чинники визначаються на основі: темпів зміни чисельності населення; можливостей здійснення капітальних інвестицій; темпів реалізації проєктів; рівнем формування доходів та здійснення витрат; напрямками та особливостями реалізації соціальних програм.

Доведено, що здійснення моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад залежить від формування кількісної основи, яка базується на результатах оцінки.

У результаті аналізу існуючих методів оцінки використання земель об'єднаних територіальних громад охарактеризовані основні їх положення, різноаспектність підходів до напрямів реалізації. Виокремлені комбіновані, інтегральні, функціональні, вартісні методи оцінки використання земель ОТГ. Запропоновано застосовувати інтегральний метод оцінки використання земель об'єднаних територіальних громад на регіональному рівні у розрізі формування просторового, містобудівного, соціально-економічного й екологічного забезпечення.

Запропоновані етапи розробки й реалізації методу інтегральної оцінки використання земель об'єднаних територіальних громад, які включають: визначення просторових, містобудівних, соціально-економічних і екологічних характеристик використання земель ОТГ, формування відповідних локальних чинників; формування узагальнюючих показників; побудова багаторівневої системи показників інтегральної оцінки використання земель ОТГ; оцінка локальних чинників із застосуванням кількісних і якісних методів; розробка математичних моделей оцінки узагальнюючих чинників; оцінка узагальнюючих чинників із застосуванням методу середньої геометричної; побудова інтегральної моделі оцінки використання земель ОТГ. Визначення вагових коефіцієнтів з урахуванням відповідних стимуляторів; оцінка інтегрального показника; інтерпретація отриманих результатів;

розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо формування та здійснення моніторингу для підвищення ефективності використання земель ОТГ.

Охарактеризовані напрями відбору експертів для оцінки локальних показників використання земель об'єднаних територіальних громад. Здійснено відбір 20 експертів на основі застосування математичних методів.

Результати аналізу узагальнених значень просторових, містобудівних, соціально-економічних та екологічних показників використання земель об'єднаних територіальних громад регіонів України вказують на тенденції щодо коливань відносно середніх значень по всіх групах показників. Це свідчить про тісний взаємний зв'язок обраних індикаторів ефективності.

За результатами інтегральної оцінки встановлено, що за останні роки відбуваються позитивні зрушення щодо використання земель об'єднаних територіальних громад за регіонами у розрізі комплексного врахування просторового, містобудівного, соціально-економічного й екологічного забезпечення. Проте, слід вказати, що на регіональному рівні виникає необхідність здійснення заходів щодо зростання рівня використання земель на основі розробки й реалізації науково обґрунтованих рекомендацій відносно здійснення моніторингових процедур.

Для створення кількісної основи формування моніторингу використання земель ОТГ запропоновано здійснити математичне моделювання впливу чинників на інтегральний показник. Виявлено, що найбільший вплив на інтегральний показник використання земель об'єднаних територіальних громад має група просторових чинників, незначно менший, проте суттєвий вплив має група містобудівних показників. Для побудови математичної моделі залежності між узагальнюючими й інтегральними показниками використання земель об'єднаних територіальних громад проведено кореляційно-регресивний аналіз за запропонованою схемою.

Побудована математична модель множинної регресії шляхом сукупного впливу чинників використання земель ОТГ на інтегральний показник. У результаті дослідження встановлено, що найбільший вплив просторових показників спостерігається для більшості регіонів. Проте, незважаючи на достатньо високий вплив (що обумовлюється загальною тенденцією), найменша частка в загальному оцінюванні узагальнюючих чинників використання земель об'єднаних територіальних громад припадає на містобудівні показники.

Знижується значення як соціально-економічних, так і екологічних чинників на рівень використання земель об'єднаних територіальних громад, що протирічить сучасним напрямкам формування та реалізації земельних відносин. Сучасні системи управління земельними відносинами передбачають багатоцільове їх забезпечення із врахуванням широкого кола факторів. Така ситуація гальмує розвиток ОТГ та потребує розробки й реалізації науково обґрунтованих рекомендацій підвищення рівня використання земель на основі здійснення моніторингових процедур із врахуванням зміни просторових, містобудівних, соціально-економічних й екологічних чинників.

Здійснено математичне моделювання впливу чинників використання земель об'єднаних територіальних громад на показник зміни валового регіонального продукту на одиницю площі. Побудована регресійна модель дозволяє визначати вплив кожної групи чинників на показник зміни валового регіонального продукту на одиницю площі та прогнозувати його зміну в залежності від зміни узагальнюючих чинників.

Проведено числовий експеримент по прогнозуванню визначеного значення зміни валового регіонального продукту на одиницю площі у відповідності до регресійної моделі при збільшенні

кожного узагальнюючого показника на 10% та відповідному зростанні сукупності групових показників на 10%.

У результаті дослідження визначено, що зростання регіонального продукту на одиницю площі обумовлено збільшенням інтегрального показника використання земель об'єднаних територіальних громад за регіонами України.

Сформовані науково обґрунтовані рекомендації щодо розробки та реалізації моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад. Запропонована схема формування геоінформаційного забезпечення моніторингу використання земель ОТГ. Побудовані моніторингові ГІС-карти показників використання земель ОТГ та валового регіонального продукту, враховуючи просторові, містобудівні, соціально-економічні й екологічні особливості. Запропоноване геоінформаційне забезпечення моніторингу використання земель ОТГ визначається як елемент науково обґрунтованих рекомендацій щодо формування та реалізації моніторингу для зростання ефективності використання земель у контексті створення умов для регіонального розвитку.

Висновки. Таким чином, визначено поняття моніторингу використання земель об'єднаних територіальних громад, яке враховує просторове, містобудівне, соціально-економічне і екологічне забезпечення шляхом застосування геоінформаційного інструментарію, що дозволило розвинути теоретико-методичну базу щодо формування та застосування моніторингових процедур на регіональному рівні для підвищення ефективності реалізації земельних відносин в ОТГ.

Розроблені типологічні засади визначення чинників щодо використання земель об'єднаних територіальних громад на основі просторового, містобудівного, соціально-економічного і екологічного забезпечення, яке дозволяє сформувати кількісну базу для розробки й реалізації інтегрального методу оцінки для формування й здійснення моніторингу на регіональному рівні.

Запропоновано метод інтегральної оцінки використання земель об'єднаних територіальних громад, як основний елемент технології формування й здійснення моніторингу, що базується на аналітичному та експертному методах, який на відміну від існуючих дозволив сформувати системне моніторингове середовище на регіональному рівні.

Розроблено моніторинг використання земель ОТГ, який базується на результатах застосування методу оцінки рівня використання земель, математичного моделювання та сучасних геоінформаційних систем, який дозволив створити умови для прийняття обґрунтованих рішень.

Перелік посилань

1. Оверковська Т. К. Моніторинг земель України: правові аспекти. Юридичний вісник. 2015. №1(34). С. 125–128. URL: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rj>.
2. Горбатюк В. М., Клименко К. В. Організаційно-технологічні особливості здійснення моніторингу земель на регіональному рівні. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2007. Вип. 69. С. 150–156. URL: http://vlp.com.ua/files/22_51.pdf.
3. Горланчук В. В., В'юн В. Г., Песчанська І. М. Управління земельними ресурсами: підручник. Львів: Видавництво «Магнолія Плюс», 2006. 443 с.
4. Мамонов К. А., Штерндок Е. С. Методи і моделі оцінки формування, розподілу та використання земель мегаполісу, що застосовуються у системі геоінформаційного забезпечення. Економічна кібернетика: аспекти становлення і розвитку електронної економіки: матеріали всеукр. Наук.-практ. Конф. (Дніпро, 1–2 берез 2017 р.) Дніпро: Пороги, 2017. С. 92–96.

5. Перович Л. М., Губар Ю. П. Оцінка нерухомості: навч. Посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2010. 296 с.
6. Штерндок Е. С. Моделювання впливу просторових факторів на оцінку та використання земель мегаполісу: дис...канд. Техн. Наук: 05.24.04. Харків, 2017. 246 с.
7. Банах А. В., Полтавець М. О. Аналіз взаємного впливу параметрів природної та антропогенної містобудівних систем. Містобудування та територіальне планування. 2019. Вип. 69. С. 8–13.
8. Мамонов К. А., Грек М. О., Метешкін К. О. Визначення містобудівних факторів, які впливають на використання земель міст. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2017. Вип. 169. С. 174–182.
9. Гордій М. С. Проблеми та перспективи використання ГІС-картографування в Україні. Часопис картографії. 2012. Вип. 4. С. 23–30.
10. Мамонов К. А., Нестеренко С. Г., Вяткін К. І. ГІС-забезпечення у раціональному використанні земельних ресурсів міської забудови. Науковий вісник будівництва. 2016. Том 86. № 4. С. 323.
11. Величко О. М., Дудич І. І., Шпеник Ю. О. Основи екології та моніторинг довкілля. Ужгород: УжНУ, 2001. 285 с.

TOOLKIT FOR PROVIDING LAND STRUCTURE OF UNITED TERRITORIAL COMMUNITIES

Kostiantyn Mamonov, 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>

Olena Kanivets, Senior Lecturer, Department of Geodesy and Land Management, Sumy National Agrarian University, e-mail: leva1205@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-9597-6617>

Volodymyr Velychko, Doctor of Economic Sciences, Associate professor, Department of Land Administration and Geographic Information Systems, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: Volodymyr.Velychko@kname.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-0282-368X>

Vasyl Goi, 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>

Summary. The relevance of the research topic is proven. The goal of the study to identify the features of land use monitoring of united territorial communities has been achieved. In this context, the following tasks were solved: theoretical substantiation of the existing theoretical provisions regarding the definition of land use monitoring; characteristics of monitoring procedures regarding the use of the lands of the OTG.

The concept of monitoring the use of land of united territorial communities is defined, which takes into account spatial, urban planning, socio-economic and environmental support through the use of geo-informational tools, which allowed to develop a theoretical and methodological basis for the formation and application of monitoring procedures at the regional level to increase the effectiveness of the implementation of land relations in OTG.

The typological principles for determining the factors related to the use of land of united territorial communities based on spatial, urban planning, socio-economic and environmental support have been developed, which allows for the formation of a quantitative basis for the development and implementation of an integral assessment method for the formation and implementation of monitoring at the regional level.

The method of integral assessment of land use of united territorial communities is proposed, as the main element of the technology of formation and implementation of monitoring, based on analytical and expert methods, which, unlike the existing ones, allowed to form a systematic monitoring environment at the regional level.

The monitoring of land use of the OTG was developed, which is based on the results of the application of the method of assessing the level of land use, mathematical modeling and modern geoinformation systems, which made it possible to create conditions for making informed decisions.

Keywords: geoinformation systems, geodetic and land management support, land use, united territorial communities, monitoring, land management.

References

1. Overkovska T. K. (2015) Monitoring of lands of Ukraine: legal aspects. Legal Bulletin. 1(34), 125–128. Access from the Internet: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rj> [in Ukrainian].
2. Gorbatyuk V. M., Klymenko K. V. (2007) Organizational and technological features of land monitoring at the regional level. Geodesy, cartography and aerial photography. 69, 150–156. Access from the Internet: http://vlp.com.ua/files/22_51.pdf [in Ukrainian].
3. Horlanchuk V.V., V'yun V.G., Peschanska I.M. (2006) Management of land resources: textbook. Lviv: Magnolia Plus Publishing House, 443 [in Ukrainian].
4. Mamonov K. A., Shterndok E. S. (2017) Methods and models of evaluation of the formation, distribution and use of the land of the metropolis, used in the system of geoinformation support. Economic cybernetics: aspects of the formation and development of the electronic economy: materials all over Ukraine. science and practice conf. (Dnipro, March 1–2, 2017) Dnipro: Porogy, 92–96. [in Ukrainian].
5. Perovych L. M., Gubar Yu. P. (2010) Real estate valuation: teaching. manual. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 296. [in Ukrainian].
6. Sterndok E. S. (2017) Modeling the influence of spatial factors on the evaluation and use of land in a metropolis: Diss... Cand. technical Sciences: 05.24.04. Kharkiv, 246. [in Ukrainian].
7. Banakh A. V., Poltavets M. O. (2019) Analysis of mutual influence of parameters of natural and anthropogenic urban planning systems. Urban planning and territorial planning. 69, 8–13. [in Ukrainian].
8. Mamonov K. A., Grek M. O., Meteshkin K. O. (2017) Determination of urban planning factors affecting the use of urban land. Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport. 169, 174–182. [in Ukrainian].
9. Gordiy M. S. (2012) Problems and prospects of using GIS mapping in Ukraine. Journal of cartography. 4, 23–30. [in Ukrainian].
10. Mamonov K. A., Nesterenko S. G., Vyatkin K. I. (2016) GIS support in the rational use of land resources in urban development. Scientific bulletin of construction. 86(4), 323. [in Ukrainian].
11. Velychko O. M., Dudych I. I., Shpenyk Yu. (20010) About Basics of ecology and environmental monitoring. Uzhgorod: UzhNU, 285. [in Ukrainian].

УДК 624.21
UDC 624.21

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-089-098

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕУСТАЛЕНОГО РУХУ РІДИНИ ВІДКРИТИХ РУСЕЛ

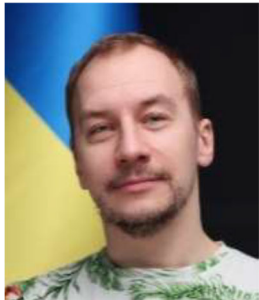
RESEARCH OF THE UNSTEADY MOVEMENT OF LIQUID IN OPEN CHANNELS



Паровенко Оксана Микитівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: olenik.lia@gmail.com, +380442807978, <https://orcid.org/0000-0001-8872-8415>.



Снитко Валерій Пилипович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: valeriysnytko49@gmail.com, +380442807978, <https://orcid.org/0009-0003-0325-7899>.



Корецький Андрій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: andriy.koretskyi@ntu.edu.ua, +380442807978, <https://orcid.org/0000-0003-0307-0306>



Рубльов Андрій Валерійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: rublev@ukr.net, +380442807978, <https://orcid.org/0000-0002-4142-1325>

Анотація. У роботі було проведено дослідження перехідних процесів та виконано кількісні розрахунки на прикладі зрошувальних каналів, що розташовані на півдні України. Проведено натурні, лабораторні та математичні дослідження перепускної спроможності гідротехнічних споруд. Було досліджено перехідні процеси, які виникають у процесі перерегулювання режиму водоспоживання або внаслідок аварійних ситуацій, які є важливими аспектами функціонування зрошувальних каналів. Основу таких процесів становить неусталений рух рідини. Для вивчення особливостей неусталеного руху в зрошувальних каналах, було визначено загальні характеристики хвилі наповнення, зроблено аналізування миттєвих профілів вільної поверхні потоку та зміни рівнів води за часом у фіксованих перерізах уздовж каналу, проведено порівняння теоретичних розрахунків з даними результатів натурних спостережень. Також було встановлено зміни середньої швидкості розповсюдження фронту хвилі наповнення вздовж каналу та вивчено умови трансформації максимальних витрат по всій довжині русла. У алгоритмі розв'язання задачі використано раніше розроблену модель, яка базується на чисельному інтегруванні рівнянь Сен-Венана. Чисельні розрахунки перехідних процесів проводились за допомогою програми, яка дозволила виконати розрахунки оптимальних варіантів регулювання, оцінити ефективність обраного способу автоматизованого регулювання водопостачання, а також можливість розрахувати типові експлуатаційні режими роботи каналу. Як приклад, для розв'язання задачі управління водорозподілом, було розглянуто різноманітні схеми автоматичного регулювання витрат та рівнів води на Північно-Кримському каналі. Експериментально перевірено в реальних умовах при однакових вихідних даних отримані результати розрахунків. Експерименти проводились на спорудах, розташованих на Роздольненському каналі. Результати натурних спостережень було змодельовано та протестовано в гідравлічному лотку лабораторії кафедри. Проведені натурні та лабораторні дослідження підтвердили результати попередніх розрахунків.

Ключові слова: гідротехнічні споруди, неусталений рух, трансформація максимальних витрат, водні ресурси, зрошувальні системи.

Вступ. Внаслідок воєнних подій, що розгорнулися на території України, гідротехнічні споруди та інші транспортні споруди зазнали значних руйнувань. Післявоєнна відбудова стає унікальною можливістю для радикальної модернізації економіки та проведення структурних реформ, але також викликає необхідність заміни та розширення існуючих транспортних споруд на більш сучасні та функціональні гідротехнічні об'єкти.

Курс структурних трансформацій та економічної реконструкції має бути націлено на європейську перспективу, спрямовуючи країну до повноцінного членства в Європейському Союзі. У цьому контексті спільна робота міжнародних та європейських банківських установ над створенням спеціалізованих Фондів відновлення України стає критичною для подолання наслідків збройної агресії.

В Україні активно відбувається збір коштів для вирішення найгостріших проблем, що виникли внаслідок війни. Серед них - підтримка малого та середнього бізнесу, економічне відновлення, підтримка армії, відновлення майна та зруйнованої інфраструктури тощо. Оцінювання збитків поки не завершено через обмежений доступ до окремих територій та постійне зростання кількості зруйнованих об'єктів у зв'язку зі збройною агресією, що ще триває.

Однією з ключових складнощів відновлення ірригаційної інфраструктури сільськогосподарських земель, та інших захисних інженерних конструкцій. Реконструкція зруйнованих об'єктів гідротехнічних споруд може не лише відновити їхню функціональність, але й забезпечити більш стійкі та сучасні рішення для розвитку та вдосконалення сільськогосподарського виробництва. Враховуючи

важливість цього завдання, стаття спрямована на необхідність прийняття обґрунтованих рішень щодо відновлення гідротехнічних споруд або розширення та ремонту існуючих.

Виклад основного матеріалу. У листопаді 2022 року після підриву Каховської ГЕС було нанесено значну шкоду довкіллю південного регіону. Крім того після падіння рівня води в Каховському водосховищі припинилось нормальне функціонування зрошувальної системи сільськогосподарських угідь південного регіону, що значно погіршило стан сільсько господарських угіддя, які й так зазнали значної шкоди внаслідок воєних дій.

Північно-Кримський канал (ПКК), споруджений у період з 1961 по 1971 роки, відіграв важливу роль у вирішенні проблем посушливих зон півдня України та зрошення сільськогосподарських угідь дніпровськими водами. Протягом експлуатування каналу виникало багато технічних та економічних питань, які потребували вирішення.

У період будівництва ПКК та на початку його експлуатування з метою знаходження відповідей на питання підвищення родючості земель та поліпшення потреб у водних ресурсах народного господарства півдня України, було залучено співробітників кафедри гідравліки Київського автомобільно-дорожнього інституту, що нині відома як кафедра мостів, тунелів та гідротехнічних споруд НТУ. Протягом періоду з 1967 по 1987 рік проводилися систематичні натурні, лабораторні та математичні дослідження неусталеного руху на Північно-Кримському каналі, які сприяли розробці ідей та прийняттю рішень. [1]

Висновки та розробки, здобуті під час цих досліджень, увійшли до циклу праць "Теорія і технологія ресурсозберігаючого управління вододільними системами з впровадженням їх у виробництво". У 1998 році цей цикл праць був нагороджений Державною премією України в галузі науки та техніки. Один із лауреатів, який увійшов до авторського колективу, - завідувач кафедри "Гідравліки", доктор технічних наук, професор Валерій Олексійович Большаков.

Результати цих досліджень внесли вагомий внесок у розуміння та оптимізацію перехідних явищ, а також у вдосконалення проектування та функціонування зрошувальних систем. Динаміка процесів, які були вивчені, дозволяє більш точно пристосовувати системи до змінних умов та ефективно використовувати водні ресурси в умовах змінного водоспоживання у різних точках каналу.

Упродовж кількох років було здійснено дослідження перехідних процесів та кількісні розрахунки на прикладі каналів, що розташовані на півдні України. Було проведено натурні, лабораторні та математичні дослідження перепускної здатності споруд, що розміщені на Північно-Кримському каналі (рисунок 1, 2). Велику увагу було приділено проектуванню та будівництву технічно-досконалих зрошувальних систем з автоматизованим регулюванням водопостачання.

Особливою рисою роботи таких систем є їх динамічність. Це пов'язано зі змінами водоспоживання як у часі, так і вздовж русла каналу.



Рисунок 1 – Загальний вигляд основної споруди ПКК
Figure 1 – General view of the main building of the PCC

Перехідні процеси, які виникають під час перерегулювання режиму водоспоживання або внаслідок аварійних ситуацій, є важливим аспектом функціонування зрошувальних каналів. Основу таких процесів становить неусталений рух рідини у каналах, який математично можна описати за допомогою рівнянь Сен-Венана (1):

$$i_0 - \frac{dh}{ds} = \frac{\alpha}{2g} \frac{dV^2}{dS} + \frac{\alpha_0}{g} \frac{dV}{dt} + \frac{V^2}{C^2 R} \quad (1)$$
$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{dQ}{dS} = 0$$

При розробленні алгоритму розв'язання цієї задачі використовувалась раніше розроблена модель, яка базується на чисельному інтегруванні рівнянь Сен-Венана. Створена програма дозволила провести чисельні розрахунки перехідних процесів з метою отримання оптимальних варіантів регулювання та оцінювання ефективності обраного способу автоматичного регулювання водопостачання. Крім того, за допомогою цієї програми було можливо розрахувати типові експлуатаційні режими роботи каналу. [2,3]

Для розв'язання задачі автоматизованого управління водорозподілом на Північно-Кримському каналі розглядалися різноманітні схеми автоматичного регулювання витрат та рівнів води. Метою натурних спостережень, проведених співробітниками кафедри, було експериментально перевірено результати розрахунків у реальних умовах при однакових вихідних даних.

Для проведення експерименту були вибрані споруди, розташовані на Роздольненському каналі. Результати натурних спостережень були змодельовані та протестовані в гідравлічному лотку лабораторії кафедри. Проведені натурні та лабораторні дослідження підтвердили результати попередніх розрахунків.

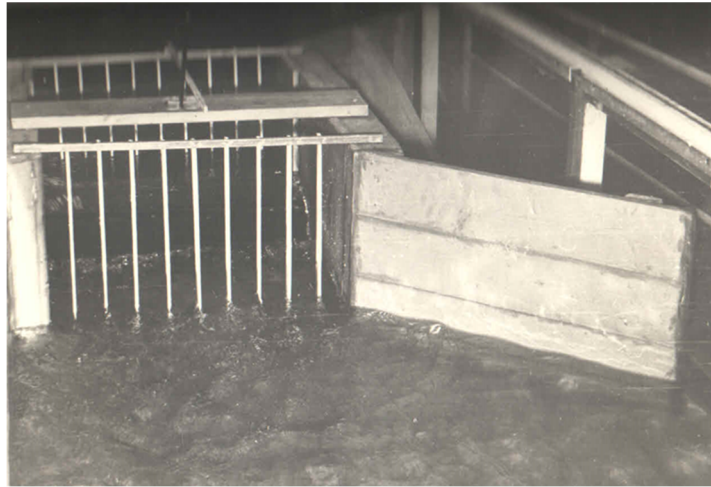


Рисунок 2 – Модель споруди у гідравлічному лотку лабораторії кафедри в масштабі 1:40
Figure 2 – Model of the structure in the hydraulic tray of the department's laboratory at a scale of 1:40

Було зроблено висновок, що для розрахунку руху води в зрошувальних каналах при автоматичному регулюванні, доцільно застосовувати математичну модель у вигляді граничної задачі для рівнянь Сен-Венана. Оскільки водоспоживання в таких каналах змінюється з часом, реальні умови протікання води відповідають режиму неусталеного руху.

Науковцями кафедри було проведено теоретичні та експериментальні дослідження неусталеного руху води в Красноперекопській зрошувальній системі. Для вивчення особливостей неусталеного руху в зрошувальних каналах та при порівнянні теоретичних розрахунків з даними результатів натурних спостережень, було визначено загальні характеристики хвилі наповнення, зроблено аналіз миттєвих профілів вільної поверхні потоку та зміни рівнів води за часом у фіксованих перерізах уздовж каналу. Також було встановлено зміни середньої швидкості розповсюдження фронту хвилі наповнення вздовж каналу та вивчено умови трансформації максимальних витрат по всій довжині русла [4].

Проведені натурні дослідження підтвердили результати попередніх розрахунків з визначення впливу різних факторів на елементи неусталеного руху, зокрема руху хвилі наповнення. Для подальших досліджень був застосований метод чисельного розв'язку диференціальних рівнянь Сен-Венана за явною різницевою схемою.

Застосування математичної моделі у вигляді граничної задачі для рівнянь Сен-Венана дозволило отримати оптимальні варіанти регулювання, які забезпечили мінімізацію не виробничих скидів, а також оцінити ефективність обраного способу автоматичного регулювання водопостачання.

З гідравлічної точки зору головною спорудою ПКК є водозлив. Для визначення коефіцієнта витрат та коефіцієнта затоплення споруди при різних положеннях затвора були проведені експериментальні дослідження. Під час експерименту як критерій подібності використовувалось число Фруда.

Загальною тенденцією при експлуатуванні зрошувальних каналів є перехід на автоматичний режим регулювання подачі води через перегороджувальні споруди. Автоматизація сприяє кращій роботі зрошувальних систем, тому її слід розглядати не відокремлено, а в єдиному комплексі з загальними питаннями раціонального устрою іригаційних каналів.

Надалі метою дослідження було визначення зміни характеристик неусталеного руху при багатоінтервальному графіку попуску, що визначає умову роботи перегороджувальної споруди. Було зроблено розрахунок, виходячи з вихідних даних, які відповідали реальним умовам: русло завширшки - 10 метрів, закладення укосів $m = 3$, коефіцієнт шорсткості $n = 0,02$, русло завдовжки 5000 з ухилом дна $i = 0,00008$. Початкова глибина приймалася $h_s = 1$ метр з відповідною витратою $Q = 3,03$ м³/сек. Вибір такого значення h не викликає жодних відхилень у результатах розрахунків і відповідає реальним умовам [5].

Для оцінювання ступеня розпластування максимальної витрати при багатоінтервальному графіку попуску було побудовано графік зміни витрати в часі для нульового створу і створу, розташованого на відстані 5000 метрів. На графік було нанесено криву, що відноситься до проміжного створу, розташованого на відстані 1000 метрів. Таким чином, цей графік дозволяє судити про ступінь розпластування витрати за довжиною русла при багатоінтервальному графіку попуску (рисунк 3).

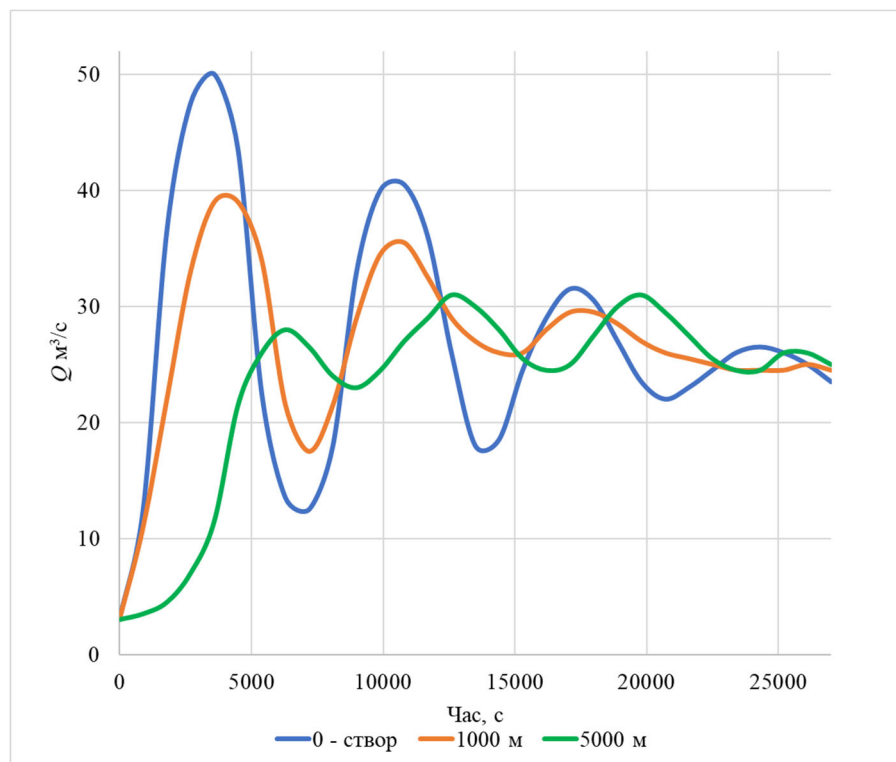


Рисунок 3 – Графік зміни витрати в часі для нульового створу і створів розташованих на відстані 1000 та 5000 метрів

Figure 3 – Graph of flow rate change over time for the zero well and wells located at a distance of 1000 and 5000 meters

З метою кількісного оцінювання ефекту розпластування було визначено коефіцієнт трансформації φ_Q , який дозволив оцінити рівень зменшення максимальної витрати по довжині потоку. Коефіцієнт трансформації φ_Q - відношення максимальної витрати (багатоінтервального графіка попуску) в даному перерізі до максимальної витрати того ж самого графіка попуску в початковому перерізі. Величину φ_Q було визначено для всіх вибраних багатоінтервальних графіків попусків та

перерізів, які розташовано на відстані 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 метрів. Необхідно відзначити, що на величину трансформації максимальної витрати впливають характеристики графіка попуску, така як величина A - кутовий коефіцієнт, що є відношенням $\frac{Q_{\max}}{W}$ [6].

Отримані результати підтвердили факт впливу ступеня підйому графіка попуску (величина A) на розпластуваність потоку. Отримані значення коефіцієнтів трансформації дали змогу оцінити ступінь розпластуваності потоку, яка набуває більшого значення зі зменшенням відношення $\frac{Q_{\max}}{W}$ або ж зі

збільшенням кутового коефіцієнта $A = \frac{Q_{\max}}{W}$

Порівняльний аналіз впливу параметрів Q і h , що характеризують неусталений рух, з величинами Q і h , які стосуються усталеного руху, дасть змогу оцінити необхідність виконання розрахунку споруд з урахуванням фактора часу.

Порівняння проводилося для значень Q і h , обчислених в основних розрахункових перерізах.

Для умов усталеного руху пропускну здатність споруди визначали за загальною формулою водозливу:

$$Q = \sigma_3 k m b_{cn} \sqrt{2g} H_0^{3/2}. \quad (2)$$

Користуючись цією формулою, можна проводити розрахунки для всіх схем протікання потоку і різних вихідних даних [7].

Для подальших розрахунків було прийнято натурні вихідні дані: русло - трапецеїдальної форми із закладенням укосів - 3, шириною русла по дну - 10 м, коефіцієнт шорсткості n - 0,020, ухил дна i - 0,00003, ділянка русла завдовжки - 5000 м. Початкова глибина води $h_0 = 1,0$ м і відповідна витрата $Q_0 = 3,03 \text{ м}^3/\text{сек}$. Підмостовий переріз було обрано із закладенням укосів - 1,5.

Умову на лівій границі було прийнято у вигляді трикутного (одиначного) графіка попуску. На трансформацію потоку істотно впливає схема протікання потоку в перерізі споруди і ступінь стиснення спорудю (умова на правій границі). Розглядалось три значення ступеня затоплення:

$\sigma_3 = 1$ - затоплення відсутнє;

$\sigma_3 = 0,84$ - затоплення спостерігається;

$\sigma_3 = 0,40$ - сильне затоплення;

і три параметри, що визначають стиснення $k = \frac{b_{cn}}{b_{русл}} = 1,0$ (стиснення відсутнє); $k = \frac{b_{cn}}{b_{русл}} = 0,75$;

$$k = \frac{b_{cn}}{b_{русл}} = 0,5.$$

З метою визначення кількісної оцінки різниці було визначено коефіцієнт ψ_Q , який є відношенням витрати при неусталеному русі за різних умов на правій границі (затоплення плюс стиснення) до витрати усталеного руху за тих самих умов на лівій границі. Отримані результати дають можливість оцінити найсуттєвіші моменти роботи споруди, коли особливо яскраво виражена необхідність урахування неусталеного руху. Аналізуючи отримані значення коефіцієнта ψ_Q , слід відмітити, що врахування нестационарного руху рідини потоку, дає найбільший ефект за максимального значення співвідношення $\frac{Q_{0\max}}{W}$. За відсутності затоплення, величина стиснення суттєвої ролі (коли довжина $l = 5000$ м) не відіграє. Загальний висновок за проведеними порівняльними

розрахунками полягає в тому, що врахування неусталеного руху дає найбільш помітні результати для попусків з найбільшим значенням співвідношення $\frac{Q_{0\max}}{W}$, що характерно для будь-якого ступеня затоплення.

Для більш детального аналізу було досліджено глибини, що відповідають усталеному і неусталеному рухам. Глибину в останньому створі (у перерізі перед спорудою), що характеризує усталений рух, було визначено з умови (2), тобто як напір перед мостом. Цей параметр, що визначає напір перед мостом для неусталеного руху, було отримано на підставі чисельного експерименту. Проведений аналіз дав змогу дійти висновку, що величина напору перед спорудою в разі усталеного руху більша, ніж за неусталеного руху рідини потоку. Ця різниця зростає зі збільшенням витрати $Q_{0\max}$ (або зі співвідношення $\frac{Q_{0\max}}{W}$) і ступеня стиснення русла [8].

Початок затоплення не призводить до помітного коливання рівня води.

З метою кількісного оцінювання різниці між значеннями введено коефіцієнт ψ_h , який представляє собою відношення величини напору за неусталеного руху до його значення за усталеного руху за тих самих граничних умов.

Висновки.

За результатами досліджень було зроблено такі висновки:

- Перепускна здатність споруди залежить від рівня води в каналі, тому для забезпечення цієї умови необхідно збільшити перепускную можливість самого каналу.
- Ураховувати неусталений рух під час розрахунку споруди на відкритих руслах, особливо необхідно в разі, коли в кінцевому перерізі спостерігається збільшення напору H , а це буває, у випадку, коли споруда працює за затопленою схемою або ж споруда призводить до стиснення потоку в плані.
- Значення підпору перед мостом, визначене з умов неусталеного руху, істотно може позначитися на визначенні величини $b_{сп}$. Проведений аналіз дає змогу оцінити необхідність розрахунку споруд, зважаючи на умови неусталеного руху потоку.

Неусталений рух відповідає реальним умовам роботи зрошувальних каналів. Враховуючи вплив неусталеного руху потоку, можна отримати більш економічні рішення в разі визначення отвору споруди b або величини допустимого напору H .

Було виконано натурні спостереження на характерних ділянках каналу для визначення фактичного коефіцієнта шорсткості. З огляду на нерівномірність руху води в каналі, для визначення коефіцієнтів шорсткості було застосовано методику з використанням рівнянь нерівномірного руху.

Перелік посилань

1. Дидковский М.М., Родионов И.А. Сопротивление движению воды в больших земляных каналах. Киев, изд-во АН УССР – 1956 г.
2. ДНАОП. ДБН В.2.5-74.2013 Водопостачання зовнішньої мережі та споруди. Основні положення проектування.
3. ДНАОП. ВНД 33-5-02-98 Методика определения зон возможного затопления на реках Украины (укр.)
4. ДНАОП. ДБН В.2.4-1-99. Мелиоративных системы и сооружения (43040)
5. Ткачук С.Г. Гідравліка, гідрологія, гідрометрія. Київ, «Кафедра», 2013 р., 390 с.

6. Євсейчик Ю.Б., Медведєв К.В., Паровенко О.М., Святишенко І.І. Визначення коефіцієнту шорсткості для розрахунку потоку неусталеного руху рідини. /Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К.,НТУ. 2022, вип. 112, с.163-169
7. Константинов Ю.М.,Гіжа О.О. Технічна механіка рідини та газу. – К.:Вища школа.-2002.-227с.
8. Константинов Ю.М., Гіжа О.А. «Інженерна гідравліка», К., вид-во, дім «Слово», 2006, 432 с.

RESEARCH OF THE UNSTEADY MOVEMENT OF LIQUID IN OPEN CHANNELS

Oksana Parovenko, PhD (Candidate of Technical Science) , Associate Professor, Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: olenik.lia@gmail.com, +380442807978, <https://orcid.org/0000-0001-8872-8415>,

Snytko Valerii, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: valeriysnytko@ukr.net, тел. +380442807978, <https://orcid.org/0000-0002-9530-4589>

Andrii Koretsky, PhD (Candidate of Technical Science) , Associate Professor, Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: andriy.koretskyi@ntu.edu.ua, tel..+3800505433772, <https://orcid.org/0000-0003-0307-0306>

Andrii Rublev, PhD (Candidate of Technical Science) , Associate Professor, Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: rublev@ukr.net, tel.+380930631712, <https://orcid.org/0000-0002-4142-1325>

Summary. In this work, the transient processes were studied and quantitative calculations were performed on the example of irrigation canals located in the south of Ukraine. Field, laboratory, and mathematical studies of the hydraulic structures' throughput capacity were carried out. Transient processes that arise in the process of re-regulation of the water consumption regime or as a result of emergencies, which are important aspects of the functioning of irrigation canals, were investigated. The basis of such processes is the unsteady fluid motion. To study the peculiarities of unsteady motion in irrigation canals, the general characteristics of the filling wave were determined, the instantaneous profiles of the free surface of the flow and changes in water levels over time in fixed sections along the canal were analyzed, and theoretical calculations were compared with the results of field observations. Changes in the average velocity of the filling wave front propagation along the channel were also determined, and the conditions for the transformation of the maximum flow along the entire length of the channel were studied. The algorithm for solving the problem uses a previously developed model based on the numerical integration of the Saint-Venant equations. Numerical calculations of transient processes were performed using a program that made it possible to calculate optimal control options, evaluate the effectiveness of the chosen method of automated water supply regulation, and calculate typical operating modes of the canal. As an example, to solve the problem of water distribution management, various schemes of automatic regulation of water flows and levels on the North Crimean Canal were considered. The results of the calculations were experimentally verified in real conditions with the same initial data. The experiments were carried out at the facilities located on the Razdolnensky Canal. The results of field observations were modeled and tested in the hydraulic tray of the department's laboratory. The field and laboratory studies confirmed the results of preliminary calculations.

Keywords: hydraulic structures, unsteady motion, maximum flow transformation, water resources, irrigation systems.

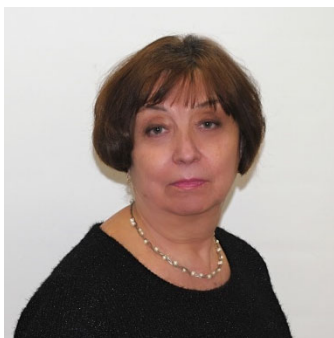
References

1. Didkovsky M.M., Rodionov I.A. Resistance to the movement of water in large earthen channels. Kyiv, publishing house of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR – 1956 [in Russian].
2. DNAOP. DBN V.2.5-74.2013 Water supply of external networks and structures. Basic provisions of design. [in Ukrainian].
3. DNAOP. VND 33-5-02-98 Methodology for determining zones of possible flooding on the rivers of Ukraine. [in Ukrainian]
4. DNAOP. DBN B.2.4-1-99. Reclamation systems and structures (43040) [in Ukrainian]
5. Tkachuk S.G. Hydraulics, hydrology, hydrometry. Kyiv, "Department", 2013, 390 p. [in Ukrainian]
6. Yevseichyk Y.B., Medvediev K.V., Parovenko O.M., Sviatysenko I.I. Determination coefficient of roughness for calculating flow of an unsteady motion of liquid Scientific and technical collection Motor roads and road construction, 2022, Vol. 112, P.163-169,
http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/112/163-169.pdf
7. Konstantinov Yu.M., Gizha O.A. "Technical mechanics of liquids and gases", K., ed., house "Higher education", 2002, 227 p. [in Ukrainian].
8. Konstantinov Yu.M., Gizha O.A. "Engineering hydraulics", K., ed., house "Slovo", 2006, 432 p. [in Ukrainian].

УДК 621.43
УДК 621.43

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-099-106

**ХІМІЯ В НАНОМАТЕРІАЛАХ АВТОДОРИГ.
CHEMISTRY IN NANOMATERIALS OF HIGHWAYS.**



Березіна Наталія Олександрівна, кандидат хімічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії,
e-mail: nataberezina380@gmail.com, [тел.+380636914132](tel:+380636914132)

<https://orcid.org/0000-0003-1154-8701>



Мельник Наталія Іванівна, кандидат хімічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії,
e-mail: netlim1977@gmail.com, [тел. +380967577607](tel:+380967577607)

<https://orcid.org/0000-0001-9620-3782>



Пархоменко Неллі Георгіївна, кандидат хімічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії,
e-mail: parkhomenko.nelly@gmail.com, [тел. +380973488850](tel:+380973488850)

<https://orcid.org/0000-0002-6741-9397>

Анотація. В статті наведені різноманітні будівельні матеріали, конструкції і вироби, одержані з використанням нанотехнологій, які мають покращенні, порівняно з традиційними, фізико-механічні характеристики: мають більшу міцність, зносостійкість, пластичність, теплостійкість, володіють значно вищим опором до спалаху. Вони легші за вагою, раціональніші і безпечніші у використанні та довговічніші.

Використання нанотехнологій і наноматеріалів знаходить все більше розповсюдження у різних сферах життєдіяльності людини. Маючи унікальні властивості, вони використовуються для промислових і споживчих застосувань, а їхні різні типи знайшли своє місце в безлічі секторів: аграрному,

енергетичному, аерокосмічному, косметичному, харчовому, медицині, будівництві, транспорті, електроніці тощо. Але разом з цим це створює нові ризики та збільшується вплив на навколишнє середовище. Цей вплив не помітний для ока, але відчутний для здоров'я людини і довкілля. Необхідно належним чином використовувати всі засоби безпеки і піклуватися про стан атмосфери, води, ґрунтів і людини під час виробництва, застосування, обробки, упаковки, будівельних робіт, транспортування, зберігання, ремонту чи знесенні. Це забезпечується індивідуальними засобом захисту, системами вентиляції, пиловловлювання при зберіганні, будівництві, знесенні, утилізації сміття. Одним з перспективних напрямків захисту і очищення навколишнього середовища є біоутилізація наночастинок мікроорганізмами та рослинами за рахунок акумуляторної здатності.

Ключові слова. Наноматеріали, нанотехнології, дорожнє будівництво, охорона навколишнього середовища, викиди.

Вступ. Нанотехнології є галуззю глобального економічного значення, що швидко розвивається та включає розробку і виробництво нанорозмірних частинок, волокон, покриттів, які разом називаються наноматеріалами. Наноматеріали належать до матеріалів, що мають, принаймні, одну розмірність, яка менше, ніж 100 нанометрів [1]. Розмір частинок у нанодіапазоні є основною характеристикою, за якою їх можна віднести до наноматеріалів. Маючи унікальні властивості, вони використовуються для промислових і споживчих застосувань, а їхні різні типи знайшли своє місце в безлічі секторів: аграрному, енергетичному, аерокосмічному, косметичному, харчовому, медицині, будівництві, транспорті, електроніці тощо. Сучасні наукові дослідження по підвищенню ефективності будівельних матеріалів спрямовані як на отримання нових так і на поліпшення властивостей вже відомих матеріалів. Наприклад, використання наночастинок в якості модифікаторів, дозволяє значно підвищити характеристики міцності різних матеріалів до зовнішніх впливів, зносостійкість і пластичність; знизити займистість, зменшити вагу. Такі матеріали менше реагують на коливання температури і вологості та зменшують забруднення атмосферного повітря. Морозостійкість бетонів, наприклад, перевищує 3000 циклів заморозування – відтаювання.

Мета і методи. Метою даної роботи було охарактеризувати та обґрунтувати напрямки активізації впровадження наноматеріалів як складової інноваційної діяльності будівельних підприємств задля підвищення довговічності, економічної ефективності, екологічності, ергономічності дорожньо-будівельних матеріалів. Проаналізувавши розвиток виробництва наноматеріалів у дорожньому будівництві, можна віднести нанотехнології до галузі глобальної економіки, що продовжує стрімко розвиватися. Передовим напрямком нашого часу є використання нанотехнологій у будівельній сфері переважно у створенні наноматеріалів.

Основні перспективи застосування наноматеріалів у будівництві:

- створення фундаменту з саморегуляцією усадки ґрунту і конструктивність елементів, що реагують на пошкодження чи деформацію;

- створення функціональних покриттів;

- збільшення показників міцності та надійності будівель.

Основні види будівельних наноматеріалів:

Найбільш широко використовуваними матеріалами, створеними на основі нанотехнологій, є:

- нанобетон;

- бетонне дорожнє нанопокриття.

Інтерес до наноматеріалів викликаний в першу чергу їх властивостями які, іноді в рази, перевищують вже відомі матеріали. Так, наноматеріали демонструють високі механічні властивості (твердість, міцність на згинання), триботехнічні (зносостійкість, коефіцієнт тертя), електричні та ряд інших властивостей, що дозволяє їх успішно застосовувати при вирішенні проблем, пов'язаних з довговічністю та естетикою (відштовхування вологи, пилу, бактерій); удосконалити системи зберігання енергії, електричних провідників і напівпровідників, очищення води тощо. Наноматеріали представляють значний інтерес для архітекторів, інженерів, девелоперів і забудовників, які можуть використовувати їх у будівництві таких конструкцій як дахи, мезоніни, стіни, колони, решітки, склопакети, оздоблення, технологіях "розумний дім" та інше. Основними продуктами, наявними на ринку наноматеріалів, є хімічні речовини та полімери, оксиди металів та метали. Серед них попит на хімічні речовини та полімери є відносно вищим, і ця тенденція, як очікується, залишиться такою протягом наступних кількох років [2]. Поширення їх використання зумовлено наявністю низки корисних фізико-механічних, хімічних і експлуатаційних характеристик, що обумовило їх багатофункціональність і затребуваність для широкого вжитку в багатьох галузях — хімічній, харчовій, біомедичній, фармацевтичній, переробній промисловості, машино- та приладобудуванні (медичній, комп'ютерній, ракетній, авіаційній, космічній, військовій техніці), енергетиці, сільському господарстві, виробництві будівельних матеріалів та самому будівництві. Один з напрямів використання нанотехнологій в будівництві — це можливість надавати традиційним будівельним матеріалам певних властивостей, досягнення яких ще донедавна вважалося нездійсненним. Сфера можливих застосувань наноматеріалів та нанотехнологій в галузі будівництва та виробництві будівельних матеріалів дуже різноманітна. Наприклад, одним з актуальних напрямів, в якому останнім часом інтенсивно проводяться дослідження та є перспективи впровадження в виробництво — це створення довговічного і високоміцного бетону з використанням композиційних нанопорошкових добавок, який згідно з розрахунками, без руйнування може функціонувати від 300 до 500 років. Для створення такого високоміцного бетону як пластифікатори застосовуються наноініціатори, що представляють собою мікроскопічні порожнисті трубки в кілька атомарних шарів вуглецевих полімерів. Діаметр цих нанотрубок всього кілька мікрон, але їх міцність більше 100 ГПа. Коли наноініціатори взаємодіють з цементом, вони активізують ріст кристалів у мінеральній речовині, переплітаючись між собою їх гольчаті відгалуження надають матеріалу більшу міцність, на молекулярному рівні змінюючи його структуру (процес дисперсного самоармування) [3, 4]. Також наноініціатори підвищують зчеплення бетону з металом, при цьому вони на молекулярному рівні взаємодіють навіть з верхніми шарами металу, що зазнали корозії. Внутрішнє молекулярне армування знижує потребу в армуванні бетонної конструкції металевою арматурою без втрати міцності [5]. Зміна фізичної структури "нанобетону" різко знижує потребу в'язучого в воді, що дозволяє в шість разів зменшити вагу бетонних конструкцій і ймовірність появи тріщин. Завдяки щільній легкій однорідній структурі, "нанобетон" не потребує гідроізоляції, а висока міцність матеріалу дозволяє зменшити витрати матеріалів до 30%. Внаслідок того, що споруди з "нанобетону" мають меншу вагу порівняно з аналогічними зі звичайного бетону, для них не потрібно закладати потужний фундамент, а це дозволить скоротити вартість будівництва, матеріаломісткість конструкцій. Окрім підвищеної міцності (до 150%), морозостійкості (до 50%), стійкості до високих температур (матеріал зберігає свої характеристики при температурі до 800°C), такий бетон демонструє також підвищену стійкість до лугів і кислот, біологічного забруднення (бактерій, грибів). Перспективними напрямками використання

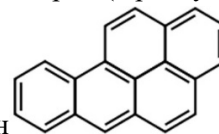
високоміцного бетону є будівництво залізобетонних конструкцій довжиною понад 74 м, об'єктів з підвищеними вимогами до пожежної безпеки та сейсмостійкості, зокрема, хмарочосів, великопрольотних мостів, захисних оболонок атомних реакторів, дамб, магістралей, шлюзів морських та річкових портів, аеродромів, тощо [6].

Іншим актуальним напрямком використання нанотехнологій є модифікація асфальтобетону. Синтетичний бітум, що використовується як в'язуче при виробництві асфальту, утворюється при переробці нафти. Оскільки сучасні технології дозволяють вилучати з нафти практично всі рідкі вуглеводні, бітум виходить сухим та нев'язким. Розроблена технологія внесення до бітуму гумової крихти, що отримується з автомобільних шин. Ця технологія не лише підвищує якісні характеристики асфальтобетону, а і сприяє утилізації використаних шин, що суттєво покращить екологічну ситуацію країни.

Сучасна Україна постала перед проблемою утилізації зношених автомобільних шин, але зараз відкривається перспектива її вирішення так як існує попит на гумову крихту і ціни на неї стабільно високі.

Безконтрольне зберігання шин на відкритій місцевості або в водотоках підвищує потенційну небезпеку. Це основні причини того, щоб за будь-якої можливості необхідно вживати заходи щодо обмеження появи складів зношених шин [6]. Найбільш небезпечними є пожежі на шинних звалищах. Під час загоряння шинних відходів відбувається забруднення

- атмосферного повітря: викиди містять леткі органічні сполуки, сполуки сірки (сірковуглець



CS₂, діокси сірки SO₂, сірководень H₂S), поліциклічні ароматичні, бенз(а)пірен ,

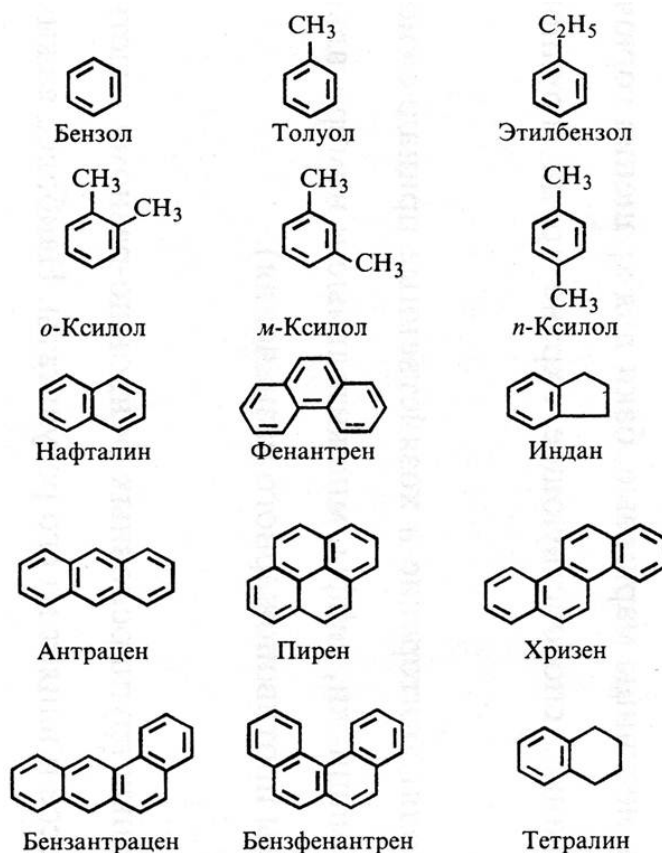
ароматичні, нафтенів та парафінові масла; оксид вуглецю та оксид азоту; тверді часточки; легкі фракції ароматичних вуглеводнів (такі як толуол, ксилол, бензол і т.д.);

- ґрунтів рідкими відходами (продукти термічної деструкції шин) та твердими відходами у вигляді недопалених решток і золи;
- наземних та підземних вод.

З огляду на вищесказане, переробка зношених шин і використання їх в дорожньому будівництві певною мірою вирішує проблеми захисту навколишнього середовища. Зараз переробляється близько 10% старих покришок, а щорічний обсяг амортизації шин перевищує 1,5 млн. тон.

За даною технологією суміш можна виготовляти прямо на місці будівництва за допомогою самохідного або причіпного змішувально-розподільного устаткування. Це дає можливість скоротити шляхи доставки матеріалів до об'єкту будівництва, що в свою чергу знизить рівень забруднення атмосферного повітря автотранспортними викидами.

Частинки гуми не виявляються сторонніми і не фарбують дорожнє покриття. Їх подрібнюють у роторному диспергаторі, при цьому відбувається не тільки подрібнення матеріалу, але й часткова девулканізація гуми, і не тільки на поверхні частинок, але і по їх глибині. У гарячому бітумі частинки гуми самостійно розпадаються на наноблоки, що вбудовуються у структуру асфальту. Можна вводити частинки гуми в асфальтобетонну суміш сухим способом. Модифікація бітуму супроводжується збільшенням пластичності, зниженням температури крихкості, збільшенням адгезії.



При застосуванні модифікатора термін служби асфальту збільшується вдвічі, опір до утворення колії підвищується на третину, на 10% знижується шумність дорожнього покриття, введення дрібної гумової крихти в асфальтобетон дозволяє гасити тріщини.

Великої популярності набули так звані нанопокриття. В будівельній сфері нанопокриття застосовуються для захисту будівель від зовнішніх впливів, наноструктурного модифікування матеріалів, отримання різних видів будівельних матеріалів, виробів та конструкцій з покращеними порівняно з аналогами фізико-механічними характеристиками.

Наноматеріали зазнають швидкої та повної гідратації, самоочищення, супергідрофільності.

У будівництві можуть застосовуватися різного виду наночастинки та нанопорошки. Вони можуть бути адсорбентами, каталізаторами і модифікаторами хімічних реакцій, технологічних і конструктивних властивостей матеріалів, що виготовляються з їх застосуванням.

З технологій ведення дорожніх робіт важливі: спосіб укладання холодного асфальту, укладання литого асфальту, створення напівплівки для дороги. В особливу емульсійно-мінеральну суміш входить дрібна фракція щебеню, бітумна емульсія і мінеральні наповнювачі. Отримана холодна суміш наноситься на поверхню асфальту, при цьому утворюється міцний верхній шар зносу прямо на місці будівництва. У машині відбувається швидке змішування дробленого щебеню, бітумної емульсії, води та мінеральних наповнювачів і "напівплівка" наноситься на дорогу. Суміш застигає дуже швидко, рух на ділянці дороги, що ремонтується або знову створюється, може відкриватися буквально через кілька

годин після проведеної операції. До переваги покриття відноситься те, що його можна використовувати навіть на вологій поверхні; винятком є скупчення рідини, температура повітря нижча за 15°C

За допомогою суміші не можна ремонтувати дороги з значними поверхневими руйнуваннями.

Основне призначення суміші – збереження існуючого асфальтового покриття і подовження терміну експлуатації дороги. Волога, механічна дія, якій схильна дорожня поверхня при розгоні або гальмуванні автомобілів, не впливають на поверхню дороги, яка оброблена «наноплівкою».

Для збільшення терміну експлуатації асфальтобетонного покриття використовують рулонний матеріал, що має пористу структуру і називається геосіткою. Геосітка допомагає запобігти виникненню та розвитку тріщин асфальтобетонного покриття, зміщення шарів покриття, які спричиняють руйнування дороги.

Ефективним є застосування георешіток із різними розмірами покриття, які спричиняють руйнування дороги. осередків. Ґрати розтягують, фіксують за допомогою анкерів по краю дороги, степлером прошивають елементи георешітки, і заповнюють особливою піщано-гравійною сумішшю. Після розрівнювання наповнювача, ґрунт ущільнюється.

Наночастинки SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 , оксиди алюмінію зміцнюють бетон, а вуглецеві нанотрубки підвищують міцність кераміки та різних композитів.

Наномодифікуючі добавки становлять 2-3% від загальної маси бетону. добавок і відповідно наномодифікованих цементів і бетонів.

Сьогодні налічується безліч різновидів нанорозмірних добавок і, відповідно, наномодифікованих цементів і бетонів.

Нове покриття, створене на основі нанотехнологій, захищає метал від шкідливого впливу навколишнього середовища в десятки разів краще ніж, наприклад, звичайна полімерна фарба. Плівка, що покриває метал, настільки тонка, що її неможливо побачити неозброєним оком.

Проблеми безпечного використання наноматеріалів у будівництві.

Швидке збільшення обсягів виробництва наноматеріалів та їх широке застосування призводить до збільшення їх викидів, а також супутніх наночастинок у навколишнє середовище.

Виникає питання - що станеться, коли ці чудові наноматеріали, що синтезуються у великих кількостях, потраплять до навколишнього середовища? Що потрібно зробити для того, щоб забезпечити їх ефективне та безпечне застосування у будівництві?

Наноматеріали, які використовуються у будівельній промисловості, під час життєвого циклу різними шляхами проникають у довкілля. При виробництві, обробці, упаковці частина наноматеріалів може потрапляти в атмосферу та впливати на персонал. Необхідно забезпечувати працівників індивідуальними засобами захисту (маски, рукавички); створювати відповідні системи вентиляції, пиловловлювачі.

Іншими значними джерелами ультрадрібних частинок є різні будівельні роботи з використанням або руйнуванням цементних структур. Недавні тенденції включення вуглецевих нанотрубок і пластифікаторів (наприклад нанокремнезему, Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2) до бетонних сумішей для поліпшення оброблюваності, структури пор, теплової поведінки, міцності на стиск є додатковими джерелами викидів ультрадрібних частинок. Тобто, окрім викидів ультрадрібних частинок через руйнування звичайного бетону, наномодифікований бетон також може виділяти в повітря частинки під час будівництва, транспортування, зберігання чи то знесення.

Різні відновлювальні, ремонтні роботи та особливо знесення будівель можуть призвести до попадання помітної кількості наноматеріалів в атмосферу, і, відповідно, впливати як на працівників галузі, так і на мешканців. Особливо виділяється проблема будівельного сміття, адже наноматеріали зі звалищ можуть потрапити у воду та ґрунт. Пріоритетом має бути турбота про здоров'я та безпеку людини та навколишнього середовища.

Висновки і рекомендації

Нанотехнології та наноматеріали кинули виклик екосистемі і, як наслідок, майбутньому людства. З одного боку, використання наноматеріалів і продуктів, що містять наноматеріали, знаходять все більше розповсюдження у сферах життєдіяльності людини, а з іншого — викликають додаткові ризики та збільшують вплив на навколишнє середовище. Наноматеріали оточують нас і роблять непомітний для ока, але помітний для навколишнього середовища і здоров'я людини вплив. Одним із найбільш ефективних і, водночас, природніх способів захисту живих організмів, очищення навколишнього середовища та дезактивації нановідходів є біоутилізація наночастинок мікроорганізмами та рослинами за рахунок їхньої високої акумулятивної здатності [7].

Перелік посилань

1. <http://www.freedoniagroup.com/Nanotechnology-In-Construction.html>
2. J.Lee et al., ACS Nano 4, 3580 (2010).
3. Криворуг А. А. Хімія поверхні та нанотехнологія: взаємозв'язок та перспективи/ А. А. Криворуг // Освітній журнал, (2016).- Т.8 - № 2. - С.32-37.
4. Матеріали сайту www.nanonews.net
5. Фадєєва Г. Д. Використання нанотехнологій у будівельних матеріалах / Г. Д. Фадєєва // Молодий учений. (2013). №12. - С. 187-188.
6. Нагурський А.О. Проблема ефективного управління зношеними шинами. / Нагурський А.О., Гринишин О.Б., Хлібишин Ю.Я. // Вісник 28 Національного університету «Львівська політехніка» № 812 – Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2015. – С.142-147.
7. Кеуш Л.Г. Аналіз й оцінка впливу наноматеріалів на навколишнє середовище /Л. Г. Кеуш , А. С. Коверя// Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii 2020, т. 18, № 1, сс. 141–156

CHEMISTRY IN NANOMATERIALS OF HIGHWAYS.

Nataliya Berezina, candidate of chemical sciences, National Transport University, associate professor department of road building materials and chemistry, e-mail: nataberezina380@gmail.com, tel. [+380636914132](tel:+380636914132), <https://orcid.org/0000-0003-1154-8701>

Nataliya Melnik, candidate of chemical sciences, associate professor, National Transport University, associate professor department of road building materials and chemistry, e-mail: netlim1977@gmail.com, тел. [+380967577607](tel:+380967577607)<https://orcid.org/0000-0001-9620-3782> АНГЛ. мова

Nelly Parkhomenko, candidate of chemical sciences, professor National Transport University, professor department of road building materials and chemistry, e-mail: parkhomenko.nelly@gmail.com, тел. [+380973488850](tel:+380973488850), <https://orcid.org/00000-0002-6741-9397>

Summary: The article presents a variety of building materials, structures and products obtained using nanotechnology, which have improved physical and mechanical characteristics compared to traditional ones:

they have greater strength, wear resistance, plasticity, heat resistance, and have significantly higher flash resistance. They are lighter in weight, more rational and safer to use and more durable.

The use of nanotechnologies and nanomaterials is becoming more widespread in various spheres of human life. With unique properties, they are used for industrial and consumer applications, and their various types have found their place in many sectors: agriculture, energy, aerospace, cosmetics, food, medicine, construction, transportation, electronics, etc. But at the same time, it creates new risks and increases the impact on the environment. This effect is not visible to the eye, but it is noticeable for human health and the environment. It is necessary to properly use all safety measures and take care of the state of the atmosphere, water, soils and people during production, application, processing, packaging, construction work, transportation, storage, repair or demolition. This is provided by individual means of protection, ventilation systems, and dust collection during storage, construction, demolition, and waste disposal. One of the promising areas of environmental protection and cleaning is the bioutilization of nanoparticles by microorganisms and plants due to their battery capacity.

Key words: Nanomaterials, nanotechnologies, road construction, environmental protection, emissions.

References

1. <http://www.freedoniagroup.com/Nanotechnology-In-Construction.html>
2. J.Lee et al., ACS Nano 4, 3580 (2010).
3. Kryvoruh A. A. Khimiia poverkhni ta nanotekhnolohiia: vzaiemozviazok ta perspektyvy/ A. A. Kryvoruh // Osvitnii zhurnal, (2016).- T.8 - № 2. - S.32-37.
4. Materialy сайту www.nanonews.net
5. Fadieieva H. D. Vykorystannia nanotekhnolohii u budivelnnykh materialakh / H. D. Fadieieva // Molodyi uchenyi. (2013). №12. - S. 187-188.
6. Nahurskyi A.O. Problema efektyvnoho upravlinnia znoshenymy shynamy. / Nahurskyi A.O., Hrynyshyn O.B., Khlibyshyn Yu.Ia. // Visnyk 28 Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika» № 812 – Khimiia, tekhnolohiia rechovyn ta yikh zastosuvannia. – 2015. – S.142-147.
7. Kieush L.H. Analiz y otsinka vplyvu nanomaterialiv na navkolyshnie seredovyshe /L. H. Kieush , A. S. Koveria// Nanosystemy, nanomaterialy, nanotekhnolohii Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii 2020, t. 18, № 1, ss. 141–156.

УДК 502.171:556(282.247.32)
УДК 502.171:556(282.247.32)

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-107-115

**СИСТЕМНЕ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВОДНОГО ЗАКОНОДАВСТВА – ЗАПОРУКА
РЕВІТАЛІЗАЦІЇ БАСЕЙНІВ РІЧОК І ВОДНИХ ОБ’ЄКТІВ**

**SYSTEMATIC IMPROVEMENT OF WATER LEGISLATION IS THE KEY TO REVITALISING
RIVER BASINS AND WATER BODIES**



*Шара Світлана Юрївна, аспірант, Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», e-mail:
sv.shara12@gmail.com, тел. +380508851444,*

<https://orcid.org/0000-0002-6669-6667>

Анотація. В роботі визначено, що одним із головних чинників ревіталізації водних об’єктів та підтримки якісного водозабезпечення в Україні є інституціональне забезпечення водних відносин. Проаналізовано науковий досвід і проведено порівняння існуючих правових систем водного права в країнах світу і в Україні. Сформульовано головні невирішені проблеми правового регулювання водних відносин і управління водними ресурсами України. Намічено конкретні інституціональні кроки розвитку правових інституцій водного законодавства в Україні. Визначено необхідність зміни акцентів в бік екологізації водного права України і розробки та прийняття принципово нового водного Кодексу України на засадах вимог інвайро-ментальних правових і економічних систем.

Ключові слова: закон, право, водне законодавство, відповідальність, ревіталізація, водний кадастр.

Вступ

Галузеве водне право (законодавство) може розглядатись і як частина екологічного природоресурсного права, і як самостійна галузь права, об’єктом правовідносин якого виступають водні ресурси та відносини пов’язані з водокористуванням. В Україні водне законодавство визначається як сукупність юридичних нормативних актів, які регулюють суспільні відносини щодо охорони, використання, відтворення, розпорядження водними ресурсами.

Раціональне використання водних ресурсів - складна суспільна і правова проблема, а, в поєднанні з екологічними вимогами, особливо актуальна для України і особливо для басейну річки Дніпро і водосховищ Дніпра.

Нині діюче законодавство не в повній мірі регулює водні відносини, формує недостатньо раціональне використання і охорону вод. Водне законодавство України кодифіковане і сконцентроване в кодифікованому правовому інституті «Водний кодекс України» [1]. В Україні розроблено, затверджено та частково узгоджено з водними директивами ЄС ряд Постанов Кабінету Міністрів України.

Водний кодекс формує правові інституції виходячи із завдання водного законодавства - регулювання правових відносин з метою забезпечення збереження, науково обґрунтованого

раціонального використання вод для потреб населення і галузей економіки, відтворення водних ресурсів, охорони вод від забруднення, засмічення і вичерпування, попередження шкідливої дії вод, ревіталізації водних об'єктів та охорони прав водокористувачів. Але незважаючи на правильні цілі регулювання водних відносин, стан водних об'єктів та якісні характеристики вод в Україні критично незадовільні, що вимагає інституціональних змін, а особливо в сфері нормативно-правового регулювання водних відносин України.

Якщо концептуально оцінити систему водного законодавства України, то в порівнянні з водним законодавством ЄС просліджується суттєве відставання екологічних, безпекових вимог і чинників та переважання регуляторно-управлінських механізмів бюрократизації водних відносин.

Якісні характеристики вод, ревіталізація водних об'єктів, сталий розвиток басейнів річок і земель водного фонду у законодавстві України в порівнянні з Європейськими нормами права відходять на другий план. Указане вимагає системних концептуальних інституціональних змін інституту водних правовідносин України.

Метою даної статті є проаналізувати сутність і зміст правового регулювання водних відносин в Україні та визначити розвиток правових інституцій використання та охорони вод, моніторингу та контролю у галузі використання і охорони водного середовища та юридичної відповідальності за порушення водного законодавства.

Виклад основного матеріалу

Водні ресурси України – невід’ємна складова навколишнього середовища, яка виконує функції – екологічну, економічну, соціальну, рекреаційно-оздоровчу, являючись базисом еколого-ландшафтного потенціалу території країни.

Конституцією України визначено, що водні ресурси України – об’єкт права власності українського народу. А Водний кодекс України (ВКУ) визначає води як національне надбання, основу екологічного розвитку і добробуту [1].

Сучасна ситуація поглиблена чи не найменшим водозабезпеченням України у Європі – 1.7 тис. т на жителя в рік і показником найвищого водоспоживання, що перевищує середньоєвропейські в 2-3 рази.

Історія ставлення людства до води, указує на різні підходи щодо управління водними ресурсами. Кодекс Хамурапі, один із перших писаних законів, що включав систему управління використанням вод в Месопотамії і був розроблений 3800 років тому, вперше визначав особливу суспільну цінність прісної води. Цікава теорія Карла Августа Віттогеля, згідно якої цивілізації часто формували на основі монополізації водопостачання створюючи «гідравлічні імперії» [2].

Світове товариство прийшло до усвідомлення того, що діяльність, яка створює загрозу екологічній безпеці, – це злочини фундаментального масштабу. Сучасний світ домагається і формує усвідомлення населенням значення води як джерела життя на планеті, в чому «полягає нескінченно просте щастя» [3].

Аналізуючи розвиток і стан водного законодавства України та шляхи вдосконалення Водного кодексу як інституту права, доцільно опрацювати світовий і особливо Європейський досвід формування правового поля у сфері захисту і управління водними ресурсами [4].

В багатьох країнах водне регулювання і система водного права вирішується по різному. В Канаді діють чотири закони: «Закон про рибальство», «Закон про захист судноплавства», «Закон про запобігання забруднення арктичних вод», «Закон про океани», але уряди провінцій приймають закони

про охорону навколишнього середовища та питної води, наприклад «Закон про чисту воду» в провінції Онтаріо.

В Австралії закони про воду – це компетенція окремих штатів.

У США складна правова система розподілу прав на воду, але можна відмітити, коли мова йдеться про водні ресурси, то в більшості це компетенція федерального законодавства держави і лише деякі норми походять із законів окремих штатів.

Найбільш системне водне законодавство в Європейському союзі, базисом якого є директиви, починаючи із Директиви про міські стічні води 1992 року [5].

Вчені В.Уберман і Л.Васьковець визначили, що порівняння правових джерел Європейського екологічного права і двох головних джерел України вказує на відсутність відповідності 51% [11] і наголошують, що механізми імплементації норм ЄС в Україні складний процес, але необхідний.

Питання водного права розглядалися вченими різних правових шкіл сфери екологічного, природоресурсного права, права екологічної безпеки, господарського права та інших правових інститутів. Особливий внесок внесли вчені: К.А. Віттогель, В.І. Андрейцев, В.І. Антипов, В.О. Джуган, К.В. Барчук, В.Д. Басай, І.В. Берднік, В.М. Боровенко, Б.Б., Гавриленко, Л.Мельник, М. Солоха, В.А. Сташук, Л.М. Горбач, М.Л. Хвесик, К.А.Рябець, В. Лозинський, В.І. Гордієва, О.В. Ярецька, М. Бабич, О. Готун, Ю.П. Кулаковський, Л.М. Грановська, О.В. Буцько, О.М. Дроваль, П.В. Мельник, В.П. Олійник, О.П. Нечепоренко, К.М., Оробець, В.К. Попов, О.В. Чорноус, Ю.А. Чуприна, В.В. Шаблистий та інші.

На часі в Україні створення чітко визначеної законодавчо-інституційної бази водних відносин, адже сформоване в Україні правове поле не відповідає новітньому правовому інституціональному середовищу, що формується у сфері природокористування, та тенденціям існуючих інвайроментальних економічних систем країн світу.

Інституціонально-правовий розвиток водних відносин повинен опиратися на виключно екологічні норми. Наприклад, правові наслідки порушення водного законодавства зосереджені навколо земель водного фонду із багаточисельними правовими колізіями між земельними і водним законодавством, коли паралельне двогалузеве право у сфері земель водного фонду формує в Україні багаторічну проблему, яка тільки поглиблюється.

На сьогодні головним актуалітетом правовідносин виступає наближення національних стандартів і нормативів якості питної води, а також засобів вимірювання і методів оцінки до відповідних стандартів і методів, адаптованих в Європейському Союзі. Аналіз законодавчих розбіжностей між ЄС і Україною вказує на необхідність розвитку еколого-концептуальних інституцій підрозділів щодо правового регулювання водних відносин в Україні.

ВКУ опирається на правовий інститут державного регулювання, визначаючи головними інституції управління водами і водокористування, а не еколого-якісні характеристики і механізми підтримки сталого розвитку водних відносин і водно-ресурсного потенціалу. ВКУ перекликається з Господарським кодексом України, а не з екологічним правом, і є трансформованим водним законодавством ще з радянських часів.

Водні декларації ЄС визначають не механізми господарського водокористування, як ВКУ, а екологічні чинники забезпечення високої якості води.

Основні напрямки інституціонального розвитку водного законодавства в Україні в бік екологізації логічно провести двома напрямками удосконалення інституцій:

- екологічними механізмами;
- економічними механізмами.

Екологічні механізми повинні включати щодо водного законодавства:

- відкритість і прозорість екологічно значимої інформації про стан водних об'єктів;
- пріоритет водно-екологічної безпеки;
- екологізацію терміну гранично допустимих концентрацій до стандартів якості довкілля;
- екологічне ліцензування і сертифікацію;
- водно-екологічні експертизи.

Економічні механізми повинні включати щодо водного законодавства:

- правові інституції, що регулюють впровадження санкцій і економічних стимулів в сфері водорегулювання;

- водно-економічне страхування;
- економічний механізм «забруднювач платить» через механізми стандартів і штрафів та екологічних платежів;

- поєднання термінів за сутністю «Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин (ГДК) в Україні, «Стандарти якості довкілля» (СЯД) і «Екологічний стандарт якості» (ЕСЯ) в ЄС. Тобто ВКУ повинен імплементувати Директиву №2000/60/ЄС [11].

Головним показником СЯД є хімічний стан поверхневої води. Визначення СЯД у водному законодавстві України відсутнє, неузгодженість термінів ускладнює імплементування водного законодавства ЄС в правове поле України [10]. Водні рамкові Директиви ЄС (ВРД) та ВКУ принципово різняться, тому що будуються на різних засадах і ставлять різні цілі. Навіть терміни різняться, а саме:

- водний об'єкт (ВКУ) – «Body of surface water» – водойма (ВРД).
- поверхневий водний об'єкт (ВКУ) – «a discrete and significant element of surface water» - окрема та значуща складова частина поверхневої води (ВРД).

Аналізуючи проблеми правового регулювання водозабезпечення в Україні можна виділити:

- відсутність єдиного зібрання нормативних актів у сфері водозабезпечення;
- цілі водного законодавства у Водному Кодексі не мають строків і термінів впровадження, тому не контролювані;

- часткову гармонізацію законодавства України і ЄС щодо забезпечення населення безпечною для здоров'я водою, у трьох блоках правових інституцій:

- а) інституції, що визначають якість води для використання;
- б) інституції, що обмежують і забороняють викиди небезпечних речовин у воду;
- в) інституції, що охороняють природні водойми від забруднення і виснаження;

- відсутність достатньо стійкого інституційного впливу на водні відносини інститутів громадянського суспільства;

- відсутність інституціонального правового поля інвайроментальної економіки, достатньої платності за водокористування і достатнього державного фінансування заходів охорони вод;

- необхідність перегляду нормативів якості питної води та встановлення більш суворої відповідальності за порушення водного законодавства.

Наукова спільнота та водогосподарники пропонують шляхи інституціонального розвитку водного законодавства, наприклад у сфері водозабезпечення, і виділяють, як необхідність:

- розробку новітнього Водного кодексу, що сформує інституціональне правове поле водного законодавства у відповідності до нормативів законодавства ЄС;
- формування у Водному кодексі норм прямої дії, ввівши норми закону «Про питну воду та питне водопостачання»;
- перехід до Європейських нормативів: про питну воду; очищення комунальних стічних вод; комплексне попередження забруднення вод; технологічне нормування впливу підприємств на природне середовище; стандарти водоспоживання; правові наслідки в разі порушення норм водозабезпечення і водоспоживання.

Поняття «водного об'єкту», включене в ст.1 ВКУ, не відображає його екологічних характеристик і потребує корегування в бік наведення в ньому ознак екосистеми та доповнення природними ознаками, що дозволить повноцінно охарактеризувати водний об'єкт.

Аналізуючи водне законодавство України і водні відносини, можна відмітити нехтування екологічними цінностями і екологічний правовий нігілізм щодо водних об'єктів. Низький рівень добробуту населення та війна стають каталізаторами злочинів щодо водних об'єктів. Адже новітня урбанізація та війна в Україні найбільше спричинила незадовільний стан водних ресурсів і окремих водних об'єктів.

В правовому полі також не розроблені як поняття «водні ресурси» і «водні об'єкти» і кодекси України оперують різними правовими дефініціями. У правовому сенсі необхідно розширити поняття «водний об'єкт», конкретну правооб'єктність як природного ресурсу. Адже головна складність водного законодавства в пучку прав і особливостей водокористування.

Тільки збереження водних екосистем дозволить забезпечити безпечне водокористування. Але у ВКУ компетенції і завдання здійснення заходів щодо екологічного оздоровлення поверхневих вод та догляду за ними покладено тільки на центральний орган виконавчої влади з водного господарства (ЦОВВ) і випадає головний нині розпорядник об'єктів водного фонду – громади.

Особлива правооб'єктність водних об'єктів повинна формуватися у Водному кадастрі України. Завдання державному обліку вод і обліку водокористування віднесено до компетенцій ЦОВВ з розвитку водного господарства (ст. 16.п.8. ВКУ) [1]. Водний кадастр України повинен узгоджуватися з Земельним кадастром та національною кадастровою реєстраційною системою земельних ділянок. Указане особливо важливо в плані визначення і встановлення водоохоронних зон як суттєвих обмежень для землекористувачів і землевласників. Згідно чинного законодавства, встановлення водоохоронних зон здійснюється не автоматично ЦОВВ як кадастрове зонування, а згідно узгоджених проектів у встановленні меж, в яких сторони узгодження не зацікавлені, рішення приймають адміністрації.

В результаті, до тепер встановлені і винесені в натуру межі водоохоронних зон лише в Котелевській громаді із 60 громад Полтавської області. Центральний орган виконавчої влади (ЦОВВ) усунутий від виконання найважливішого завдання – встановлення меж водоохоронних зон і здійснення державного контролю за дотриманням. Кадастрова карта державного водного кадастру має лише картинки, які навіть не підтримують державну систему класифікації водних об'єктів.

У повноцінному кадастрі кожен водний об'єкт, включаючи водоохоронні зони, повинен мати чіткі координати, кореспондуватися з поземельною книгою, мати паспорт водного об'єкту і реєстровий (кадастровий) неповторний номер [7]. Паспортизація водних об'єктів, створення повноцінного Водного кадастру України формує базис екологічного правопорядку в сфері водних ресурсів [8].

Достатнє екологічне навантаження в правовому полі водного законодавства України розпочало компонуватися лише в останні три роки. Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду, затверджені наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 27.05.2022 р. №210 [9], тільки тепер визначили, що режим експлуатації водосховищ має забезпечувати функціонування екосистем водосховищ як чинника відтворення біоресурсів, підтримки самоочищувальної здатності та забезпечення водокористувачів водою нормативної якості. Навіть слово «експлуатація» в назві відображає техногенну перевагу сутності державних підходів до використання водосховищ. Держава зрозуміла комплексність використання водосховищ Дніпра, але і в даній постанові звучить вираз «для розбавлення стічних вод» і це у 2023 році. Інституціонально «для розбавлення стічних вод» в Європейському просторі звучить як цитата із правових актів 50-х років минулого століття.

У постанові визначено пріоритетність заповнення Кременчуцького водосховища, тобто враховано значимість, функціональне призначення та особливості окремих водосховищ. Наприклад, у Водному кодексі України не вживається термін «екологічний попуск», а вживається визначення «екологічна витрата» як скид води з водних об'єктів, що і визначено «режимом роботи водосховищ» [9].

Україні до комплексного використання водосховищ у Європейському правовому полі ще необхідно дійти. Енергетики бачили у водосховищах резервуари води – об'єкт енергетики, комунальні служби – об'єкт водопостачання питною водою, аграрники – зрошення, промисловики – технічного водопостачання, але мало хто бачив водосховище як цілісний об'єкт природно-ресурсного потенціалу.

Експлуатація гідровузлів в Україні визначалась і здійснювалась гідроенергетичними підприємствами, які і здійснювали водорегулювання. Шість водосховищ Дніпра знаходиться в гіршому правовому полі, ніж ставки. Навіть у договорі оренди невеликого водного об'єкту переважає вимога та зобов'язання щодо забезпечення екологічного стану водного об'єкта за наявності паспорта водного об'єкта [11]. Інституціонально водосховища Дніпра захищені чи не найменше.

Системні поліпшення якісних характеристик водних ресурсів, як поверхневих, так і підземних вод України, залежать від вирішення проблеми в частині ревіталізації не тільки окремих водних об'єктів, а і басейнів річок та системної екологізації правових інститутів водного права України.

Нинішня ситуація в Україні вимагає не просто змін і доповнень до чинного водного законодавства для імплементації Європейських правових норм, адаптуючи законодавство до Водних директив ЄС, а розробки і прийняття нового правового інституту Водного кодексу з позицій екологічних природньо-ресурсних чинників, формування водного середовища і якісних характеристик вод України як національного багатства народу України, де інституції будуть опиратись на екологічний базис (таблиця 1).

Заслугує на інституціональний розвиток і новітню структуру інститут Водного кодексу України в рамках сучасної геоінформаційної системи, багатопланових просторово-об'ємних якісних та оціночних характеристик вод України та вимог інвайро-ментальної економічної системи.

Тільки принципово нові правові інститути формують середовище, де річки матимуть місце, річкам повернуть природні русла, стариці і болота, заплави і лучно-болотні природні угіддя, захистять від хімічного, теплового і органічного забруднення та засмічення.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця розвитку інституцій Водного кодексу України в існуючій і проектній редакціях

Table 1 – Comparative table of institutions of the Water Code of Ukraine development in the existing and draft versions

	ВКУ існуюча	ВКУ проектна
Головні терміни	Регулювання, управління, водокористування	Забезпечення якості вод
Головний правовий інститут	Правове водокористування	Еколого-правові якості вод
Головна функція	Водогосподарська	Водоохоронна
Системні підходи оцінки якості охорони вод та моніторингу	Гранично допустима концентрація (ГДК) Екологічний норматив якості води (ЕНЯ)	Екологічний стандарт якості (ЕСЯ) Регулює забруднення в його джерелі
Оцінка забруднення речовин по категоріям шкідливості	Відсутня	Категоризація: - пріоритетні речовини; - пріоритетні небезпечні речовини; - головні забруднюючі речовини; - речовина забруднювач;
Компетенція охоронна	Стандартний набір компетентностей	Басейнові управління
Водорегулювання водосховищ	Утримувач гідротехнічної споруди	Басейнове управління
Визначення водоохоронних зон	Адміністрації	Басейнове управління згідно норм прямої дії
Ведення водного кадастру	Різні органи виконавчої влади	Водний кадастр як частина природоресурсного кадастру, утримувач – мінекології
Титулярне посвідчення водного об'єкту	Паспорт в разі передачі в оренду	Загальна паспортизація у вигляді паспорту водного об'єкту з присвоєнням кадастрового номеру і обов'язкової реєстрації.

Висновок. Новітній Водний кодекс України необхідно розробити і прийняти як водогосподарський правовий інститут, як частину Екологічного права України, де об'єктом правовідносин виступають водні ресурси та суспільні відносини, що пов'язані з охороною, збереженням, відновленням, використанням, та розпорядженням водами України як національним багатством та головним елементом природних ресурсів навколишнього середовища.

Новітній ВКУ повинен визначити правооб'єктність вод України, сформувані сталі та екологічнобезпечні водні відносини, націлені на забезпечення якості води, визначити особливу цінність вод і рентні платежі за їх використання та споживання і закласти гарантії водної безпеки України.

Указана концепція забезпечить імплементацію Водних декларацій ЄС, сучасний водний розвиток, оздоровлення водних об'єктів, в тому числі особливо значимих для суспільства, таких як водосховища Дніпра. Новітній ВКУ сформує інституціональне поле ревіталізації басейнів річок, ставків і водосховищ.

Перелік посилань

1. Водний кодекс України / Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, с. 189.
2. К.А. Вітфогель / Східний деспотизм. Порівняльне дослідження тотальної влади, 1951 р.
3. Гопчак І.В., Басюк Т.О. Європейське законодавство у сфері захисту та управління водними ресурсами / Екологічний менеджмент у загальній системі управління: збірник тез. Приклад цитат щорічної всеукраїнської наукової конференції, м. Суми, 17-18 квітня 2013 р. - Суми: СумДУ. 2013.
4. Water pollution - Environment - European Commissid. URL: ec.europa.eu.
5. Антонова С.Є. Організаційно-правове забезпечення в сфері державного управління водозабезпечення населення // Державне управління: удосконалення та розвиток №5, 2014.
6. Про питну воду та питне водопостачання: Закон України №29918-III від 10.01.2002 р.// Відомість ВРУ 2002. №16.
7. Про затвердження порядку складання паспортів річок / Пост. Каб. Міністрів України від 14 квітня 1997 року № 347. Офіційний вісник України. 1997. №16 стор.80.
8. Краснова Ю.А., Щеглов Є.О. Правове регулювання екологічного обліку в Україні:/монографія/ за заг.ред. М.В. Краснової. Київ.: ЦП "Компринт, 2021. 256 с.
9. Про правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду//Офіційний вісник України,2022 ,N 22,стор.453.
10. В.В., Васьковець А.А. Еколого-правові особливості Європейських та Українських критеріїв хімічної якості води/ Вчені записки ТНУ П.І.Вернацького . Серія: Юридичні науки. Т.31 (70) №4.2020.
11. "Порядок розроблення паспорта водного об'єкта" /Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України №99 від 18.03.2013 р.
- 12.Уberman В.І., Васьковець Л.А. Адаптація українського правового регулювання скидання забруднюючих речовин до екологічного законодавства ЄС./Наук. вісник Ужгородського націон. Університету. Серія: Право №71 (2022).
- 13.В.І. Уberman, Л.А. Васьковець Європейське законодавче регулювання скидання забруднюючих речовин та проблеми його імплементації. Україною // Вісник НТУУ "КПІ" №4(44) (2019) / Право.
- 14.В.Л.Бредіхіна, Д.Р.Карпенко /Деякі питання інтеграції водного законодавства України до законодавства ЄС// №28 (2019) Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. Серія "Право".

SYSTEMATIC IMPROVEMENT OF WATER LEGISLATION IS THE KEY TO REVITALISING RIVER BASINS AND WATER BODIES

Svitlana Shara, Postgraduate student, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», e-mail: sv.shara12@gmail.com, +380508851444, <https://orcid.org/0000-0002-6669-6667>

Summary. The article determines that one of the main factors of revitalisation of water bodies and maintenance of high-quality water supply in Ukraine is institutional support of water relations. The author analyses the scientific experience and compares the existing legal systems of water law in the countries of the world and in Ukraine. The main unresolved problems of legal regulation of water relations and water resources management in Ukraine are formulated. Specific institutional steps for the development of legal institutions of

water legislation in Ukraine are outlined. The author identifies the need to change the emphasis towards the ecologisation of water law in Ukraine and the development and adoption of a fundamentally new Water Code of Ukraine based on the requirements of international legal and economic systems.

Key words: law, right, water legislation, responsibility, revitalisation, water cadastre.

References

1. Vodnyy kodeks Ukrayiny / Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrayiny (VVR), 1995, s. 189 [in Ukrainian].
2. K.A. Vittfohel' / Skhidnyy despotyzm. Porivnyal'ne doslidzhennya total'noyi vlady, 1951 r [in Ukrainian].
3. Hopchak I.V., Basyuk T.O. Yevropeys'ke zakonodavstvo u sferi zakhystu ta upravlinnya vodnymy resursamy / Ekolohichnyy menedzhment u zahal'niy systemi upravlinnya: zbirnyk tez. Pryklad tsytat shchorichnoyi vseukrayins'koyi naukovoyi konferentsiyi, m. Sumy, 17-18 kvitnya 2013 r. - Sumy: SumDU. 2013 [in Ukrainian].
4. Water pollution - Environment - European Commissid. URL: ec.europa.eu.
5. Antonova S.YE. Orhanizatsiyno-pravove zabezpechennya v sferi derzhavnoho upravlinnya vodozabezpechennya naselennya // Derzhavne upravlinnya: udoskonalennya ta rozvytok №5, 2014 [in Ukrainian].
6. Pro pytnu vodu ta pytne vodopostachannya: Zakon Ukrayiny №29918-III vid 10.01.2002 r.// Vidomist' VRU 2002. №16 [in Ukrainian].
7. Pro zatverdzhennya porядku skladannya pasportiv richok / Post. Kab. Ministriv Ukrayiny vid 14 kvitnya 1997 roku № 347. Ofitsiynyy visnyk Ukrayiny. 1997. №16 stor.80 [in Ukrainian].
8. Krasnova YU.A., Shcheglov YE.O. Pravove rehulyuvannya ekolohichnoho obliku v Ukrayini:/monohrafiya/ za zah.red. M.V. Krasnovoyi. Kyiv.: TSP "Kompyrnt, 2021. 256 s [in Ukrainian].
9. Pro pravyla ekspluatatsiyi vodoskhovyshch Dniprovs'koho kaskadu//Ofitsiynyy visnyk Ukrayiny,2022 ,N 22,stor.453 [in Ukrainian].
10. V.V., Vas'kovets' A.A. Ekoloho-pravovi osoblyvosti Yevropeys'kykh ta Ukrayins'kykh kryteriyiv khimichnoyi yakosti vody/ Vcheni zapysky TNU P.I.Vernats'koho . Seriya: Yurydychni nauky. T.31 (70) №4.2020 [in Ukrainian].
11. "Poryadok rozroblennya pasporta vodnoho ob'yekta" /Nakaz Ministerstva ekolohiyi ta pryrodnykh resursiv Ukrayiny №99 vid 18.03.2013 r [in Ukrainian].
12. Uberman V.I., Vas'kovets' L.A. Adaptatsiya ukraiyins'koho pravovoho rehulyuvannya skydannya zabrudnyuyuchykh rehovyn do ekolohichnoho zakonodavstva YES./Nauk. visnyk Uzhhorods'koho natsion. Universytetu. Seriya: Pravo №71 (2022) [in Ukrainian].
13. V.I. Uberman, L.A. Vas'kovets' Yevropeys'ke zakonodavche rehulyuvannya skydannya zabrudnyuyuchykh rehovyn ta problemy yoho implementatsiyi. Ukrainoyu // Visnyk NTUU "KPI" №4(44) (2019) / Pravo [in Ukrainian].
14. V.L.Bredikhyna, D.R.Karpenko /Deyaki pytannya intehratsiyi vodnoho zakonodavstva Ukrayiny do zakonodavstva YES// №28 (2019) Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho universytetu imeni V.N.Karazina. Seriya "Pravo" [in Ukrainian].

НОВИЙ ВИД ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСА: ДЕТЕРМІНОВАНИЙ ХАОС ДРУГОГО РОДУ

A NEW TYPE OF DETERMINISTIC CHAOS: DETERMINISTIC CHAOS OF THE SECOND KIND



Артеменко Владислав Андрійович, UT5UDJ, магістр екології, науковий співробітник відділу гідрохімії, Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, м. Київ, Україна, e-mail: artemenko@uhmi.org.ua

<https://orcid.org/0000-0003-0536-5415>



Петрович Володимир Васильович, кандидат технічних наук, професор, старший науковий співробітник, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна e-mail: petrovichvv60@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

Анотація. На сучасному етапі явища детермінованого (динамічного) хаосу широко використовуються у науці та техніці. Актуальною задачею є вивчення нових явищ детермінованого хаосу.

Відомі прояви детермінованого хаосу пропонується більш точно називати детермінованим хаосом першого роду.

Детермінований хаос першого роду – це хаос, який безпосередньо пов'язаний із детерміновано-хаотичною поведінкою динамічних перемінних динамічної системи. Розглянуті характерні особливості детермінованого хаосу першого роду та методи його генерації.

Відкритий принципово новий вид детермінованого хаосу – детермінований хаос другого роду.

Детермінований хаос другого роду безпосередньо не пов'язаний із детерміновано-хаотичною поведінкою динамічних перемінних динамічної системи. Він може визначатись у характеристиках, які прямо не пов'язані із динамічними перемінними.

Детермінований хаос другого роду виникає у певних проявах іншого порядку (наприклад, у Фур'є-спектрі). Тобто сам вихідний ряд (вихідний сигнал) може бути випадковим, але, в той же час, спектр цього ряду, якщо розглядати його як другий (інший) часовий ряд, може проявляти детерміновано-хаотичну поведінку.

У загальному випадку це може бути будь-який вид спектру не обов'язково Фур'є-спектр), або навіть інша, відмінна від спектру характеристика.

Запропонована загальна методика генерації рядів, які демонструють хаос другого роду.

Розглянуті два приклади детермінованого хаосу другого роду.

В дослідженні «наведений міст» між повністю випадковими системами та системами із детерміновано-хаотичною поведінкою.

Вперше було визначено, що певна система може розглядатись як випадкова із позицій її перемінних, але, в той же час, і як детерміновано-хаотична із позицій її спектру або інших подібних характеристик.

Мета роботи. Дослідження нового типу детермінованого хаосу (детермінованого хаосу другого роду), який відкритий авторами, визначення його основних властивостей та методів генерації.

Ключові слова: детермінований хаос другого роду, детермінований хаос у спектрі, генерація хаосу другого роду, міст між повністю випадковими системами та системами детерміновано-хаотичними, визначення системи як випадкової (з точки зору поведінки перемінних системи), так і системи детерміновано-хаотичної (поведінка спектру та інших подібних характеристик).

*Наш великий недолік у тому, що ми
занадто швидко опускаємо руки.
Найбільш вірний шлях до успіху – весь
час пробувати ще один раз.*

Томас Едісон

Вступ

На сучасному етапі парадигма детермінованого хаосу є загальноприйнятною.

Методи детермінованого хаосу широко використовуються у науці та техніці. При цьому слід особливо підкреслити, що методи ці унікальні, не мають аналогів серед інших відомих методів досліджень.

З позицій екології методи детермінованого хаосу використовують в задачах прогнозування [1], а також ідентифікації та класифікації [2] динамічних систем.

Актуальною задачею є вивчення принципово нових явищ детермінованого хаосу та впровадження їх у практику.

У роботі показано, що існує інший, невідомий раніше вид детермінованого хаосу, який автори назвали “детермінований хаос другого роду”.

Детермінований хаос першого роду

Як відомо, динамічний хаос звичайно розглядається із позиції поведінки динамічних перемінних всієї системи. Головними ознаками динамічного хаосу при цьому будуть такі.

1. Динамічні перемінні з часом не йдуть у «нескінченність», тобто рух їх є певною мірою обмеженим.
2. Дуже малі відмінності у значеннях динамічних перемінних навіть при незначному проміжку часу призводять до суттєво інших траєкторій. Такі траєкторії звичайно знаходяться на хаотичному аттракторі.

Пункт 2 вказує також на важливість показника (показників) Ляпунова для характеристики систем, які проявляють детерміновано-хаотичну поведінку.

Про наявність детермінованого хаоса у динамічній системі прийнято стверджувати, якщо старший (головний) показник Ляпунова у системі позитивний.

Таким чином, для звичайного динамічного хаоса, тобто динамічного хаоса «першого роду», хаотичну поведінку системи пов'язують безпосередньо із поведінкою її динамічних перемінних.

Це і є головним критерієм динамічного хаоса «першого роду». При цьому цей хаос не є явищем однорідним. У динамічному хаосі «першого роду» можливо виділяти певні класи та навіть підкласи, між якими можуть спостерігатись помітні відмінності.

У цьому зв'язку можливий розподіл на дві великі групи. По-перше, це «часовий вид» хаосу (різницеві рівняння та звичайні диференціальні рівняння).

По-друге – «просторово-часовий» хаос, тобто диференціальні рівняння у часткових похідних та їх дискретні аналоги («решітки відображень» та інше).

Відмінності проявляються також у способі генерації хаотично-детермінованих рядів. Тому можлива класифікація також за такою ознакою:

1. Різницеві рівняння;
2. Різницеві рівняння із затриманим аргументом (аргументами);
3. Звичайні диференціальні рівняння;
4. Звичайні диференціальні рівняння із затриманим аргументом (аргументами);
5. Звичайні диференціальні рівняння із дробним порядком диференціала (диференціалів);
6. Звичайні диференціальні рівняння одночасно із дробним порядком диференціала (диференціалів) та затриманим аргументом (аргументами);
7. Диференціальні рівняння із частковими похідними;
8. Диференціальні рівняння із частковими похідними та затриманим аргументом (аргументами);
9. Диференціальні рівняння із частковими похідними та дробним порядком диференціала (диференціалів);
10. Диференціальні рівняння із частковими похідними та одночасно із дробним порядком (порядками) диференціалу (диференціалів) та затриманими аргументами.

Детерміновано-хаотичні ряди звичайно генерують згідно пунктів 1 ... 7.

Слід особливо зазначити, що практика роботи авторів із звичайними диференціальними рівняннями свідчить, що застосування рівнянь із затриманим аргументом сприяє розвитку хаоса в системі. В той же час застосування диференціалів дробного порядку діє у зворотньому напрямку, тобто утруднює розвиток хаосу. Але такі висновки, звісно, ще потребують спеціальних додаткових досліджень і не є остаточними.

Детермінований хаос другого роду – новий вид хаоса у динамічних системах

У роботі визначений принципово новий вид хаоса у динамічних системах, який назвали детермінованим «хаосом другого роду».

Детермінований хаос «другого роду» – це хаос, який у загальному випадку не пов'язаний із детерміновано-хаотичною поведінкою динамічних перемінних системи, а пов'язаний виключно із хаотичною поведінкою, наприклад, спектру цієї системи.

Нехай ми маємо співвідношення типу одновимірний сигнал (часовий ряд) та його спектр.

На рис.1 наведений фрагмент (перші 200 значень) ряду 1, на рис.2 – повний ряд довжиною 10000 значень. Дослідження ряду I на його належність до рядів детерміновано-хаотичних показує, що ряд цей детерміновано-хаотичним не вважається.

Цей ряд слід вважати випадковим, що підтверджують дані на рис.3, де представлена залежність (у вигляді окремих точок) координати послідовного значення ряду Series ($t+1$) від попереднього значення Series (t).

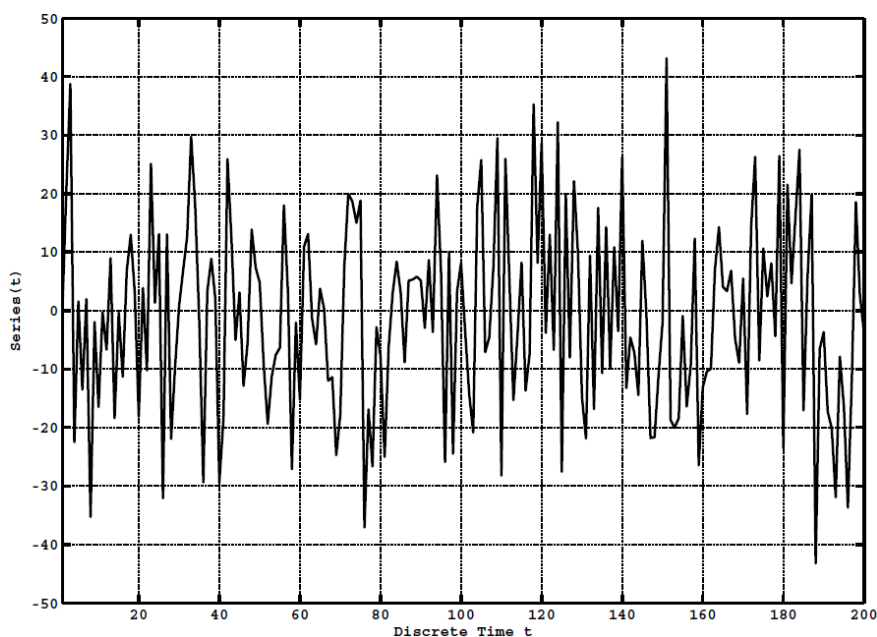


Рисунок 1 – Частка ряду I (200 точок)
Figure 1 – Part of time series I (200 points)

Якщо ряд I був дійсно детерміновано-хаотичним, ми повинні були б одержати графік хаотичного аттрактора. Однак в результаті одержали тільки “облако точок” із сферовою симетрією, як це має місце для випадкового ряду із нормальним ймовірнісним розподіленням. Оскільки ряд I повністю випадковий, ми можемо навіть говорити про те, що ряд цей можливо віднести до тієї або іншої динамічної системи.

Далі визначимо спектр ряду I за допомогою стандартних методів дослідження рядів. Приймемо, що це буде, наприклад, Фур’є-спектр вихідного сигналу, який представлений номером гармоніки N , а також, окремо, значеннями Cos - та Sin -гармонік.

Фур’є-перетворення, як відомо, звичайно використовується частіше за інші перетворення.

Воно входить у вигляді готових процедур у переважну більшість математичних програм типу MATLAB, MAPLE та інших подібних.

В результаті роботи спеціальної процедури одержуємо два ряди, кожний із яких має довжину 5000 значень (точок), тобто ряд Cos -гармонік та ряд Sin -гармонік (див. нижче). Точковий графік залежності $HSin(N)$ від $HCos(N)$ відповідних значень гармонік ($N=1 \dots 5000$) приведений на рис.4. Ці ряди представляють собою відомий хаотичний аттрактор Хенона (1976 рік).

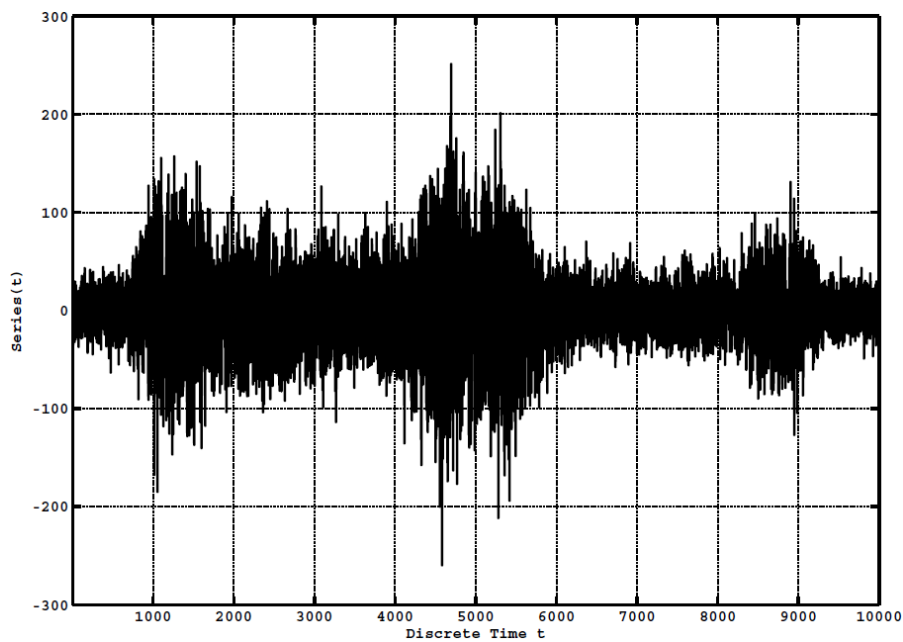


Рисунок 2 – Повний ряд I довжиною 10000 точок
Figure 2 – Entire time Series I with a length 10000 points

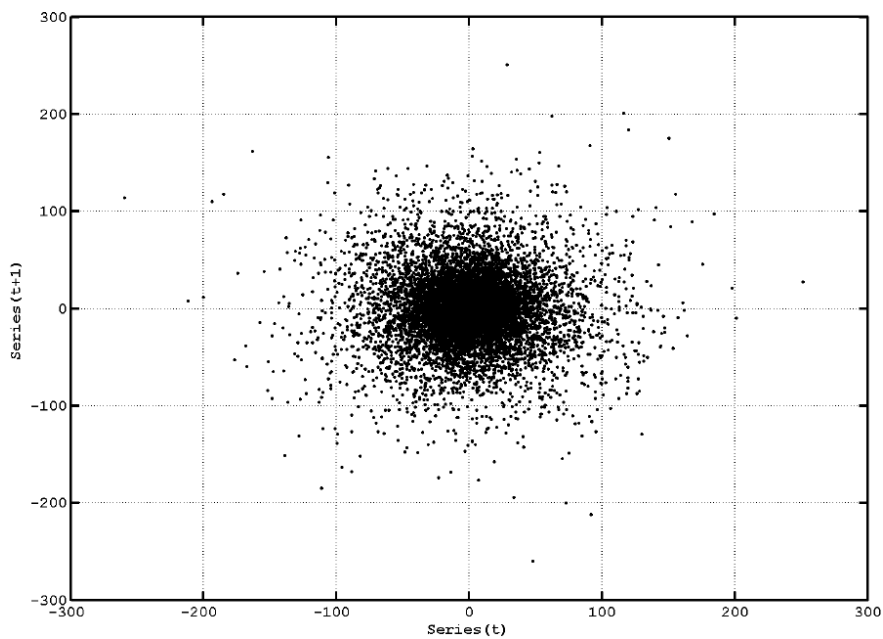


Рисунок 3 – Залежність Series ($t+1$) від Series (t) ряду I
Figure 3 – Dependence of Series ($t+1$) on Series (t) for time series I

Як показали проведені дослідження, якщо вихідний ряд $Series(t)$ не проявляє хаотичної поведінки і є випадковим, ряди $HSin(N)$ та $HCos(N)$ Фур'є-гармонік вихідного ряду детерміновано-хаотичну поведінку проявляють.

Тобто хаос реалізується не в самій вихідній системі, а в її спектрі.

Далі перейдемо до розгляду другого прикладу.

Розглянемо ряд, який назовемо як ряд II .

На рис.5 представлений графік для перших 200 значень (точок) цього ряду II .

Відповідно, на рис.6 – графік для всього ряду II довжиною 10000 значень.

Порівнюючи, наприклад, рис.1 та рис.5, можна говорити про те, що ряд I та ряд II – суттєво це різні ряди.

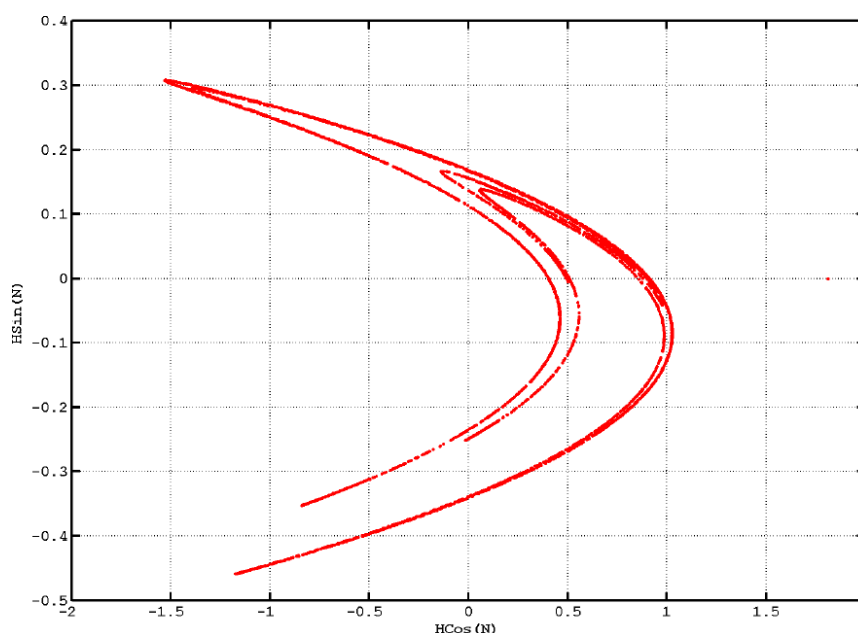


Рисунок 4 – Залежність $HSin(N)$ від $HCos(N)$ для ряду I
Figure 4 – Dependence of $HSin(N)$ on $HCos(N)$ for time series I

Проведені дослідження ряду II свідчать про те, що цей ряд слід вважати повністю випадковим. Тобто для цього прикладу ми також не можемо говорити, що цей ряд згенерований певною динамічною системою.

В той же час Фур'є-спектр цього випадкового ряду II являє собою приклад типової детерміновано-хаотичної поведінки (дивись рис.8). По-суті, це хаотичний аттрактор Р.Лозі (R.Lozi), 1978.

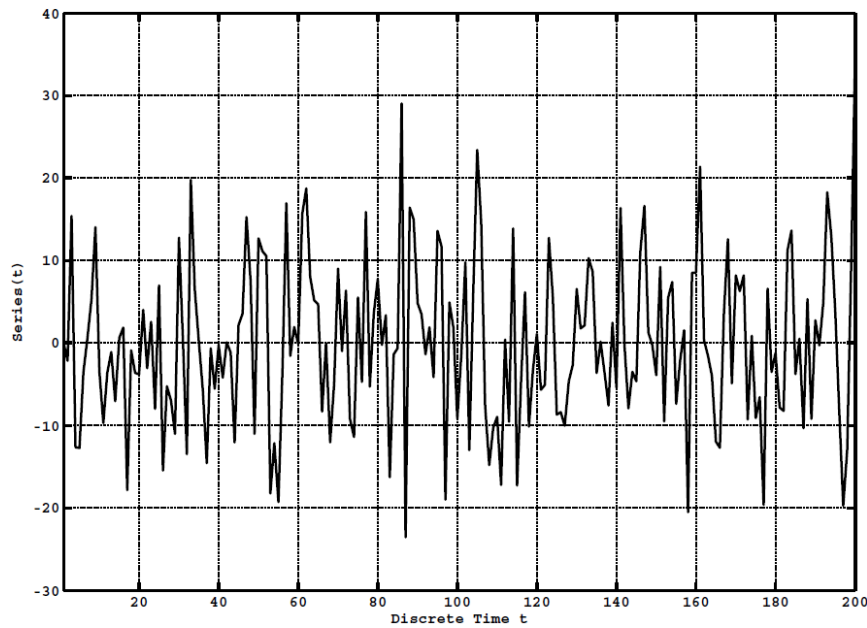


Рисунок 5 – Часкта ряду II (200 точок)
Figure 5 – Part of time series II (200 points)

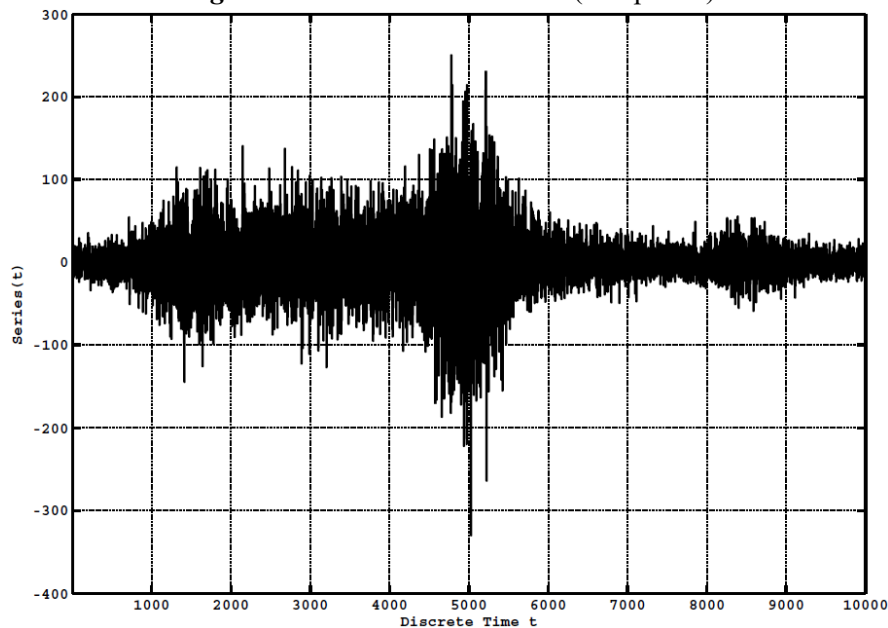


Рисунок 6 – Повний ряд II довжиною 10000 точок
Figure 6 – Entire time Series II with a length 10000 points

На рис.7 наведена залежність (у вигляді окремих точок) координати слідувачого значення ряду $Series(t+1)$ від його попереднього значення $Series(t)$.

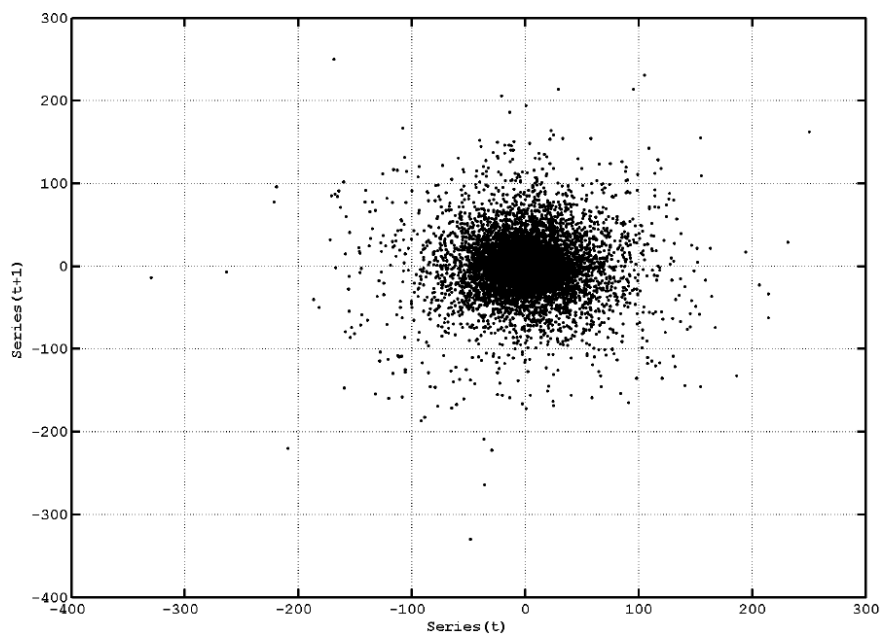


Рисунок 7 – Залежність $\text{Series}(t+1)$ від $\text{Series}(t)$ ряду II
Figure 7 – Dependence of $\text{Series}(t+1)$ on $\text{Series}(t)$ for time series II

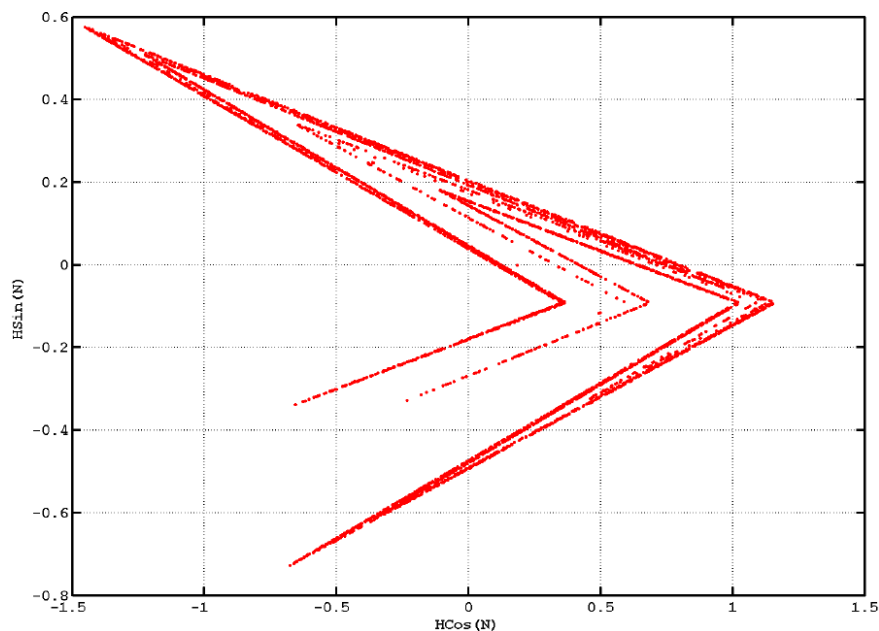


Рисунок 8 – Залежність $\text{HSin}(N)$ від $\text{HCos}(N)$ для ряду II
Figure 8 – Dependence of $\text{HSin}(N)$ on $\text{HCos}(N)$ for time series II

Детерміновальний хаос проявляється не в самому вихідному ряді, який є випадковим, а у Фур'є-спектрі цього ряду!

Загальна схема генерації рядів I та II, які були використані у дослідженні

Вихідні ряди I та II були згенеровані певним чином. Для цього був написаний відповідний програмний код, розроблений авторами на базі процедур $fft()$ та $ifft()$ мови MATLAB. Були використані різниці рівняння (каскади) у якості генераторів хаосу.

Зроблено це виключно з метою максимального спрощення прикладів, оскільки при використанні диференціальних рівнянь (потоків) приклади значно ускладнюються та може загубитися головна мета дослідження.

Попередньо на основі того або іншого динамічного каскада генеруємо відповідні хаотично-детерміновані ряди довжиною, наприклад, 5000 значень (точок).

Для прикладів краще за все використати двохвимірні каскади.

При цьому довжина сгенерованих рядів може коливатись у достатньо широких межах. Координату 1 (першу координату каскада) будемо вважати $\cos()$ –гармонікою, а координату 2 – відповідно $\sin()$ –гармонікою.

Вибір координат у якості $\cos()$ – або $\sin()$ –гармонік у загальному випадку є умовним.

Усуваємо із згенерованих рядів середнє значення. Робити це не обов'язково, однак для спрощення прикладів краще це зробити. На основі зворотнього перетворення Фур'є із даних рядів $\cos()$ – та $\sin()$ –гармонік формуємо вихідний ряд для конкретного прикладу (I або II).

Далі виконуємо необхідні дослідження згенерованих рядів.

Слід особливо зазначити, що із позицій детермінованого хаосу Фур'є-перетворення є зручним видом перетворень для одержання спектрів, однак у ряді випадків кращі результати досягаються при використанні вельвет-перетворень, або інших подібних перетворень.

Крім того, Фур'є-перетворення має свій недолік – безкінечній множині різних сигналів може відповідати один і той же Фур'є-спектр.

Однак у даному випадку цей недолік не проявляється. Слід також відмітити, що достатньо важко знайти природній часовий ряд, Фур'є-спектр якого володіє детерміновано-хаотичною поведінкою (наприклад, як у розглянутих вище прикладах). Можливо, що використання будь-яких інших типів спектрів дозволить краще виявляти таку поведінку в природних рядах.

Відмітимо, що у загальному випадку замість спектрів можуть фігурувати інші характеристики сигналу.

Однак у будь-якому випадку хаос N -рода ($N > 1$) повинен проявлятися не в самому вихідному сигналі, а в певній характеристиці цього сигналу.

Висновки

Авторами вперше введено поняття динамічного хаоса принципово нового виду, раніше невідомого, який назвали детермінований хаос “другого роду”. Існуючу назву “детермінований хаос” пропонується надалі більш конкретно називати “детермінований хаос першого роду”.

Приведено уточнене визначення детермінованого хаоса першого роду.

Детермінований хаос першого роду – це хаос, безпосередньо пов'язаний із детерміновано-хаотичною поведінкою перемінних конкретної динамічної системи. Визначені особливості детермінованого хаосу першого роду та можливі напрямки його генерації.

Детермінований хаос другого роду у загальному випадку не пов'язаний із детерміновано-хаотичною поведінкою динамічних перемінних системи. Цей хаос виникає не в самому вихідному ряді, а в певних проявах його другого плану (наприклад, його Фур'є-спектрі).

Це може бути будь-який спектр, або у загальному випадку навіть відмінна від спектру залежність. При цьому, наприклад, аттрактор Лозі, який може бути реалізований в самій динамічній системі, та аттрактор, що реалізується в спектрі Фур'є другого ряду, – це один і той же математичний об'єкт з точки зору динамічного хаосу.

В результаті проведеного дослідження вперше був “наведений міст” між повністю випадковими системами, типовими об'єктами теорії ймовірності, та системами детермінованими (точніше, хаотично-детермінованими).

Матеріали дослідження свідчать про те, що певна система може бути визначена як випадкова із позицій її перемінних, але в той же час як повністю детермінована (динамічний хаос) із позицій її спектру.

Перелік посилань

1. Артеменко В.А., Петрович В.В. Про прогнозованість гідрологічних часових рядів. – Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, DOI:10.33744/0365-8171-2023-111-126-132, вип. 111. – Київ, 2022. С.126-132.

2. Артеменко В.А., Петрович В.В. Класифікація хаотичних каскадних систем з точки зору екології. – Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1.130-141, вип. 114. Частина 1. Київ, 2023, С.130-141.

A NEW TYPE OF DETERMINISTIC CHAOS: DETERMINISTIC CHAOS OF THE SECOND KIND

Vladuslav Artemenko, UT5UDJ, Master of Ecology, Ukrainian Hydrometeorological Institute, State Service on Emergencies of Ukraine and National Academy of Science of Ukraine, Hydrochemical Research, Scientific Employee, e-mail: artemenko@uhmi.org.ua, tel. 380936011250, Nauki avenue, 37, Kyiv, Ukraine, 03028, room 34, <https://orcid.org/0000-0003-0536-5415>

Volodymyr Petrovych, Candidate of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Professor of the Transportation Construction and Property Management Department, National Transport University. e-mail: petrovichvv60@ukr.net, tel. +380442807338, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 138, <https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

Abstract. Currently, the phenomena of deterministic (Dynamic) chaos are widely used in science and technology.

Therefore, now the urgent task is to study new phenomena and new manifestations of deterministic chaos.

This paper examines a fundamentally new manifestation of deterministic chaos (Deterministic chaos of the second kind). In this regard, previously known manifestations of deterministic chaos should be called manifestations of chaos of the first kind (The previously known type of deterministic chaos, in our terminology, is chaos of the first kind).

Deterministic chaos of the first kind is chaos that is directly related to the deterministic - chaotic behavior of the dynamic variables of a given dynamic system. At the same time, our work examines the characteristic features of deterministic chaos of the first kind and methods for generating such chaos.

In our work, we considered a fundamentally different type of manifestation of dynamic chaos, namely deterministic chaos of the second kind.

Deterministic chaos of the second kind is not directly related to the deterministic chaotic behavior of the dynamic variables of a dynamic system and can only exist in characteristics that are not directly related to the dynamic variables.

That is, dynamic chaos of the second kind arises only in second-order manifestations: For example, in the Fourier spectrum. In a more general case, this could be any other type of spectrum (Not Fourier) and even another characteristic different from the spectrum. The paper provides two examples of deterministic chaos of the second kind.

The work also proposes a general technique for generating time series demonstrating deterministic chaos of the second kind*. It is very important that dynamic chaos in the examples given in this work manifests itself not in the time series themselves (Which are completely random) but in the Fourier spectrum of these time series. Thus, the original series itself (The original signal itself) can be random, but at the same time, the spectrum of this series, if considered as another time series, can exhibit deterministic chaotic behavior.

Thus, for the first time we were able to build a bridge between completely random systems and deterministic chaotic systems.

That is, in our work we were the first to show that the same system can be considered both random (From the point of view of the behavior of its variables) and at the same time as deterministic-chaotic (From the point of view of its spectrum or other similar characteristics).

Goal of the work. Study of a newtype of deterministic chaos discovered by the authors (Deterministic chaos of the second kind) and the study of its properties and methods for generating this type of chaos.

Keywords: Deterministic chaos of the second kind, deterministic chaos in the spectrum, generating chaos of the second kind, bridge between completely random systems and deterministic chaotic systems, the same system can be considered both random (Behavior of its variables) and deterministic-chaotic (Its spectrum or other similar characteristics).

References

1. Artemenko V.A., Petrovych V.V. Pro prohnozovanist' hidrolohichnykh chasovykh ryadiv. – Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo, DOI:10.33744/0365-8171-2023-111-126-132, vyp. 111. – Kyiv, 2022. S.126-132.
2. Artemenko V.A., Petrovych V.V. Klasyfikatsiya khaotychnykh kaskadnykh system z tochyky zoru ekolohiyi. – Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo, DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1.130-141, vyp. 114. Chastyna 1. Kyiv, 2023, S.130-141.

УДК 005.8:65.018:656.073
UDC 005.8:65.018:656.073

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-127-150

**КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ПОРТФЕЛЯ ПРОЄКТІВ
ГРОМАДСЬКОЇ УЧАСТІ**

**CONCEPTUAL PRINCIPLES OF FORMATION OF A PORTFOLIO OF PUBLIC
PARTICIPATION PROJECTS**



***Воркут Тетяна Анатоліївна**, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор Національний транспортний університет, Київ, Україна, vorkutt@ukr.net,*

<http://orcid.org/0000-0003-0354-476X>



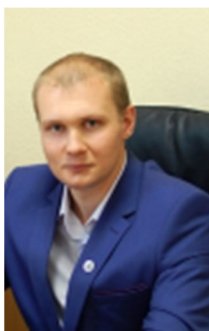
***Божок Юлія Олександрівна**, Національний транспортний університет, Київ, Україна, bozhok2008@bigmir.net,*

<http://orcid.org/0000-0002-0404-0961>



***Петунін Андрій Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент Національний транспортний університет, Київ, Україна, petunin.andrew@gmail.com,*

<http://orcid.org/0000-0002-8072-6842>



***Харута Віталій Сергійович**, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, kharuta_vitaliy@ukr.net*

<http://orcid.org/0000-0002-8897-7558>

Анотація. Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю вдосконалення і подальшого розвитку методологічних підходів до управління портфелями проєктів, у частині формування останніх виходячи з проблематики управління проєктами громадської участі.

Мета дослідження полягає у підвищенні результативності і ефективності управління проектами громадської участі на основі розроблення науково-методичних засад управління сукупністю проектів громадської участі як портфелем.

Об'єкт дослідження – процес управління проектами громадської участі.

Предмет дослідження – методи, моделі, механізми і стандарти формування портфеля проектів, розглядувані у контексті формування портфеля проектів громадської участі.

Методика дослідження. Дослідження проводилось за практикою управління проектами громадської участі в територіальних громадах міст – обласних центрів – України, а також м. Києва в 2016–2021 рр. При формуванні понятійної бази дослідження, а також аналізі наукових робіт використано метод наукової ідентифікації і зіставно-порівняльного аналізу; при розробленні концепції формування портфеля проектів громадської участі – абстрактно-логічний метод, кейс метод; при розробленні моделі визначення оптимального складу портфеля проектів громадської участі – метод цілечисельного програмування, методи оцінювання ефективності інвестиційних проектів, концепція вартості грошей у часі.

Ключові слова: управління проектами, портфель проектів, управління портфелями проектів, портфельно-орієнтоване управління, проекти громадської участі, громадський проект, громадський бюджет.

Постановка проблеми. Як відомо, політику і проекти прийнято розглядати за основні форми втручання в економіку на загальнодержавному рівні і/або рівні окремих територіальних громад.

Засоби макроекономічної політики, визначаючи економічну ситуацію в країні в цілому, впливають практично на всі галузеві ринки та ринки окремих товарів (послуг) і мають, насамперед, бути спрямованими на упередження або подолання загальнокризових явищ, стабілізацію і стимулювання розвитку економіки. Засоби економічної політики, яка проводиться на рівні окремих територіальних громад в межах делегованих останнім прав і відповідальностей, можна розглядати за додаткові, або доповнюючі, стосовно макроекономічної політики, яка проводиться в країні, і за такі, що впливають на всі аспекти як діяльності господарських одиниць, які належать до даних громад, так і умов роботи та відпочинку місцевих жителів.

Аналізуючи проекти, реалізація яких може розглядатися як втручання в економіку на рівні держави в цілому або окремих територіальних громад, необхідно усвідомлювати, що засоби політики і проекти можуть виступати в одних випадках як взаємозамінюючі, а в інших – як взаємодоповнюючі форми втручання. За приклади засобів політики, яка проводиться, зокрема, в галузі транспорту, можуть слугувати: оподаткування; субсидування; прямі (з боку держави або територіальних громад) постачання транспортних і супутніх послуг; законотворення і регулювання; введення обмежень щодо конкуренції; захист прав споживачів; ціноутворення; ліцензування; придбання (з боку держави або територіальних громад) транспортних послуг; моральний вплив; проведення досліджень і створення умов до розвитку; забезпечення інформацією; регулювання галузей, які генерують вхідні (ресурсні) стосовно транспортної галузі потоки. Як очевидно, засоби політики потенційно мають більший вплив порівняно до очікуваних результатів окремих проектів. Відповідно, запровадження змін у політиці вважається за пріоритетне відносно прийняття до реалізації проектів, які розглядаються в якості альтернативи.

Разом із тим, при вирішенні широкого кола проблем засоби політики і проекти можуть виступати за взаємодоповнюючі. З одного боку, політика створює умови для результативної і

ефективної реалізації проєктів через формування відповідного структурного контексту, насамперед, за правовим, соціальним, економічним і, останнього часу, все більше екологічним аспектами; стимулювання бажаних реакцій господарських одиниць; забезпечення необхідними ресурсами тощо. З іншого боку – результати реалізації окремих проєктів можуть, в подальшому, впливати на формування самої політики за різними напрямками.

Усвідомлюючи, через визнання недосконалості ринку, що втручання в економічні процеси держави є необхідним, маємо зазначити, що воно може привести до бажаного результату тільки тоді, коли є оптимальним (раціональним). У іншому випадку, тобто, у випадку, коли таке втручання є надмірним або недостатнім, воно не досягає мети.

Виходячи з вищенаведеного, перш ніж почати детально аналізувати певний проєкт, необхідно поставити ряд питань. Чому ринок, у ситуації, яка склалась, не виконує свої функції, тобто, маємо, так зване, «фіаско ринку»? Чи є це результатом недосконалості ринку чи втручання в економіку, яке виявилось неоптимальним (нераціональним)? Чи існує кращий спосіб розв'язати проблему – більш результативний, ефективний, гармонійний і безпосередньо на цю проблему спрямований – ніж реалізація проєкту, який розглядається?

Залежно від відповіді на поставлені питання проєкти можуть бути поділені за двома основними групами. Це проєкти, які націлені на подолання недосконалості ринку, і це проєкти, які мають виправити наслідки втручання в економіку, яке виявилось неоптимальним (нераціональним). Проєкти першої групи, гіпотетично, можуть виступати як за альтернативні, так і за доповнюючі щодо засобів політики. Відносно проєктів другої групи маємо зазначити, що, в першу чергу, реформування, за відповідними напрямками, потребує політика, і лише потім, в умовах, які зазнали змін, має розглядатися доцільність реалізації проєктів даної групи.

Будучи формами втручання в економіку, водночас, проєкти виступають і як засіб реалізації стратегії розвитку держави чи територіальної громади. Це обумовлює необхідність їх спрямування на забезпечення досягнення відповідних стратегічних цілей. Проєкти громадської участі, які набувають все більшого визнання в територіальних громадах України і світі загалом, мають за ціль, перш за все, залучення місцевих мешканців до участі в різних аспектах життя територіальних громад через усвідомлення і вирішення – як розроблення заходів у формі проєктів – локальних проблем цих громад. Водночас, на основі аналізу запитів, які подаються на реалізацію проєктів громадської участі (ГУ), останні можуть бути поділені, за умовами відповідності встановленим стратегічним цілям, принаймні, на дві групи. Проєкти, які відповідають стратегічним цілям, підтверджуючи, таким чином, актуальність діючої стратегії для територіальної громади, і проєкти, які однозначно не можуть бути поставлені у відповідність певним стратегічним цілям, а, можливо, навіть, входять у протиріччя з деякими з них. За умов значущої кількості запитів на проєкти другої групи за окремим напрямками, в подальшому, ці напрями можуть бути визначені за такі, які потребують втручання органів місцевого самоврядування через внесення змін до відповідних складових політики і/або стратегії.

В багатьох містах України в 2016–2021 рр. спостерігались високі темпи росту загальної кількості прийнятих до реалізації проєктів ГУ і, відповідно, бюджетів, які виділялись на цю реалізацію. Так, в м. Києві кількість прийнятих до реалізації проєктів ГУ зросла від 62 у 2017 р. до 348 у 2021 р. (на 2022 р. було заплановано до реалізації 393 проєктів ГУ), а відповідний бюджет зріс із 50 млн. грн. у 2017 р. до 170 млн. грн. у 2021 р. (на 2022 р. було заплановане виділення 200 млн. грн.) [1, 2]. Зазначене вимагає підвищення результативності і ефективності управління проєктами ГУ, як в цілому, так і за виокремлюваними складовими – здоров'я, освіта, транспорт тощо.

Натепер, загального визнання набуває думка, що об'єднання проєктів у портфелі дозволяє отримувати нову якість управління ними, покращувати результат від їх реалізації, а саме портфельно-орієнтоване управління поступово перетворюється на дієвий механізм управління не тільки реалізацією стратегічних цілей, а й формуванням останніх [3]. На підвищення значущості управління портфелями проєктів в теорії і практиці управління проєктами опосередковано вказує і той факт, що, починаючи з 2006 р., найбільша професійна організація в області управління проєктами – Інститут управління проєктами (Project Management Institute, PMI) виокремлює зі свого базового стандарту з управління проєктами – Зводу знань із управління проєктами (A Guide to the Project Management Body of Knowledge, PMBOK®Guide), розвиває і доводить до відома фахівців із управління проєктами стандарт управління портфелем. Разом із тим, дотепер, портфелі розглядаються в наукових роботах і стандартах управління портфелями переважно в контексті проблематики реалізації стратегій окремих, здебільшого, бізнесових, організацій або організаційних мереж.

Таким чином, актуальним науковим завданням є вдосконалення і подальший розвиток науково-методичного забезпечення процесів управління портфелями в умовах запровадження портфельно-орієнтованого управління в сфері управління проєктами місцевого (територіального) самоврядування, в тому числі, проєктами ГУ (як рівнозначний використовується термін «громадські проєкти»).

Огляд робіт. На теперішній час PMI запропонував чотири версії стандарту управління портфелем, які побачили світ, відповідно, в 2006 р. [4], 2008 р. [5], 2013 р. [6] і 2017 р. [7]. Як зазначалося в першій версії даного стандарту, управління проєктами – це один із тих термінів, який має багато значень. Тривалий час він асоціювався виключно з проєктами. Проте, на сьогодні, стає зрозумілим, що управління проєктами охоплює також управління портфелями і програмами, зосереджуючись на тезі «робити правильну роботу», на відміну від традиційної для управління проєктами і програмами, – «робити роботу правильно».

В стандартах управління портфелем вихідними виступають поняття «портфель» і «управління портфелем». Порівнюючи визначення портфеля у версіях стандарту управління портфелем PMI, табл. 1 [3], можна дійти висновку, що в перших трьох версіях [4–7] портфель розглядається як такий, що включає проєкти, програми, а також інші роботи, які не ввійшли до попередньо зазначених компонентів – проєктів і програм.

Водночас, починаючи з кінця 2000 рр., вже у другій версії стандарту управління портфелем [5] та ряді інших стандартів PMI починає вживатися поняття «портфель вищого рівня» (англ. – highest level portfolio), який, крім проєктів і програм, за визначенням, може містити «портфелі відносно нижчого рівня» (англ. – lower level portfolio). В цьому ж періоді фахова спільнота відмічає, що на практиці простежується тенденція, коли в будь-якому крупному портфелі спорадично, а іноді системно, виникають більш або менш стійкі групи проєктів. Доти, доки ці групи проєктів існують тільки для зручності управління, можна вести мову про «підрозділи» єдиного портфеля. Проте, коли починається виділення ресурсів окремо на групу і рейтингування проєктів в межах такої групи, то тут вже йдеться про виокремлення портфеля відносно нижчого рівня в межах портфеля відносно вищого рівня. До даних нових «утворень» можуть застосовуватися всі техніки й інструменти традиційного управління портфелем. Ці практики були взяті до уваги при визначенні портфеля в четвертій версії стандарту управління портфелем PMI через введення до компонентів портфеля підпортфелів (іноді для перекладу із англ. subsidiary portfolios вживаються, крім терміну «підпортфель», терміни «субпортфель» і «дочірні портфелі») [7].

Таблиця 1 – Поняття «портфель» і «управління портфелем» у версіях стандарту управління портфелем PMI за 2006–2017 рр.

Table 1 – Concepts of "portfolio" and "portfolio management" in the 2006-2017 versions of the PMI portfolio management standard.

Видання (версія) стандарту управління портфелем PMI	Поняття «портфель»	Поняття «управління портфелем»
1	2	3
Перше видання, 2006 р. [4]	Портфель – це сукупність проєктів (як обмежених у часі зусиль, спрямованих на створення унікального продукту, послуги або результату) і/або програм (як груп пов’язаних проєктів, які управляються скоординовано для отримання вигід і контролю, які не є можливими в умовах відокремленого управління) та інших робіт, об’єднаних разом із метою ефективного управління ними для досягнення стратегічних цілей	Управління портфелем – це централізоване управління одним, або більше, портфелем, яке включає ідентифікацію, пріоритизацію, авторизацію (затвердження), керівництво, а також контроль проєктів, програм та інших пов’язаних робіт із метою досягнення певних стратегічних цілей. Це підхід щодо досягнення стратегічних цілей шляхом відбору, пріоритизації, оцінювання, а також керівництва щодо проєктів і програм та пов’язаних робіт, який ґрунтується на їх узгодженні та внеску до організаційних цілей і задач. Воно поєднує фокусування організації на тому, щоб відібрані для інвестування проєкти відповідали стратегії портфеля, з фокусуванням управління портфелем на ефективній реалізації проєктів і в межах планованого внеску до портфеля.
Друге видання, 2008 р. [5]	Портфель – це сукупність проєктів і/або програм та інших робіт, об’єднаних разом із метою ефективного управління ними для досягнення стратегічних цілей	Управління портфелем – це скоординоване управління компонентами портфеля з метою досягнення певних організаційних цілей. Це також можливість для керуючих органів приймати рішення, які контролюють або впливають на спрямованість групи компонентів (підпортфелів, програм, проєктів чи інших робіт), як таких, що працюють на певні результати. Організація використовує інструменти і техніки, які описує стандарт управління портфелем для ідентифікації, відбору, пріоритизації, керівництва, моніторингу, а також контролю внесків компонентів до організаційних цілей, враховуючи відносини узгодженості із останніми. Управління портфелем не пов’язано із управлінням компонентами. Його ціль – впевнитись в тому, що організація «робить правильну роботу», більше ніж «робити роботу правильно»

Продовження табл. 1.
Continuation of the table. 1.

1	2	3
Третє видання, 2013 р. [6]	Портфель – це сукупність компонентів: програм, проєктів чи операцій, які управляються як група із метою досягнення стратегічних цілей	Управління портфелем – це скоординоване управління одним, або більше, портфелем для реалізації організаційних стратегій і досягнення організаційних цілей. Воно включає взаємопов’язані організаційні процеси, послуговуючись якими організація оцінює, відбирає, пріоритизує, а також розподіляє обмежені внутрішні ресурси для найкращого виконання організаційних стратегій, які узгоджуються з баченням, місією, а також цінностями організації. Управління портфелем генерує важливу інформацію для підтримування або зміни організаційних стратегій і рішень щодо інвестування. Воно надає можливість керуючим органам приймати рішення, які контролюють або впливають на спрямованість групи компонентів портфеля, як таких, що працюють на певні результати. Організації застосовують представлені в стандарті процеси, інструменти і техніки для ідентифікації, відбору, пріоритизації, керівництва, розподілу ресурсів, моніторингу, а також контролю внесків компонентів до організаційних цілей, враховуючи відносини узгодженості з останніми. Управління портфелем збалансовує конфліктність у запитах програм і проєктів, розміщенні ресурсів, базуючись на організаційних пріоритетах та спроможностях і управляючи в такий спосіб, щоб досягти визначених вигід.
Четверте видання, 2017 р. [7]	Портфель – це сукупність проєктів, програм, підпортфелів, а також операцій, які управляються як група для досягнення стратегічних цілей	Управління портфелем – це централізоване управління одним, або більше, портфелем із метою досягнення стратегічних цілей. Це застосування принципів управління портфелем для узгодження портфеля, його компонентів із організаційною стратегією. Управління портфелем також може розглядатися як динамічна діяльність, послуговуючись якою організація інвестує ресурси в досягнення своїх стратегічних цілей шляхом ідентифікації, категоризації, моніторингу, оцінювання, інтеграції, відбору, пріоритизації, оптимізації, балансування, авторизації (затвердження), переходу (призупинення), контролю і завершення компонентів портфеля

Розвиваючи поняття «портфель» у четвертій версії стандарту управління портфелем, РМІ пов’язує виокремлення і існування портфеля з реалізацією певних стратегій і досягненням певних

цілей організацій та бізнесових одиниць [7]. При цьому портфель передбачає існування як поточних компонентів, так і тих, які увійдуть до нього в подальшому. Вочевидь, наявність багатьох стратегій і цілей призводить до того, що організація може мати, в загальному випадку, більше ніж один портфель. Нові ініціативи щодо проєктів і програм включаються до існуючих або нових портфелів. На додачу, відносно більші портфелі можуть включати підпортфелі. При цьому, здебільшого, спостерігається ієрархічне структурування. Портфелі можуть бути зовнішніми або внутрішніми відносно організації, а також існувати на різних рівнях організації – організації в цілому, підрозділу, бізнес-одиниці або функції [7]. За приклад зовнішніх щодо окремої організації портфелів можна розглядати, зокрема, деякі варіанти портфелів організаційних мереж [3].

В даній роботі поняття «портфель» і «управління портфелем» вживаються в значенні, пропонованому в четвертому виданні стандарту управління портфелем РМІ, табл. 1, якщо окремо не зазначається інше. При цьому порівняльний аналіз еволюції поняття «управління портфелем», представленого у версіях відповідного стандарту [4–7], табл. 1, дає підстави дійти висновку, що зміст зазначеного поняття має тенденцію «рухатися» – від виокремлення «управління власне портфелем» до поєднання «управління власне портфелем» із контекстом використання останнього. В роботі [7] мається на увазі це використання в організаціях.

Для даної роботи представляє інтерес зіставлення і порівняння бачення процесів управління портфелем, насамперед, групи процесів формування портфеля, за версіями стандарту управління портфелем РМІ [4–7]. Група процесів формування портфеля була виокремлена ще в першій версії стандарту управління портфелем РМІ [4]. Відповідно до цієї версії процеси даної групи, здебільшого, реалізуються організацією в періоді перегляду останньою своїх стратегічних цілей, планів і бюджетів, тобто, як правило, наприкінці фінансового року. Деякі організації мають цикли планування меншої тривалості. Крім того, потреба в даних процесах виникає, коли мають місце різкі зміни в умовах ведення бізнесу. До складу цієї групи було введено наступні процеси: ідентифікація компонентів, категоризація компонентів, оцінювання компонентів, відбір компонентів, пріоритизація (визначення ступеня пріоритетності, іноді вживають термін «рейтингування») компонентів, балансування портфеля і авторизація (затвердження) компонентів портфеля [4].

У другій версії стандарту управління портфелем РМІ група процесів формування зберегла свою попередню назву і вищенаведений перелік процесів. При цьому було зазначено, що в основу даних процесів покладається галузь знань із керівництва портфелем. Водночас, вищезазначений перелік процесів було доповнено наступними процесами: ідентифікація ризиків портфеля, аналіз ризиків портфеля, розроблення заходів із протидії ризикам. Передбачалось, що дані процеси ґрунтуються на галузі знань із управління ризиком портфеля [5].

У третій версії стандарту управління портфелем РМІ група процесів формування представлена як така, що включає процеси, спрямовані на управління і оптимізацію портфеля. Дана група визначає, яким чином компоненти портфеля будуть категоризуватися, оцінюватися, обиратися до включення, модифікації чи виключення, а також управлятися в портфелі [6]. В цій групі виокремлюються наступні процеси: управління стратегічними змінами, в основі якого галузь знань зі стратегічного управління портфелем; оптимізація портфеля, в основі якого галузь знань із керівництва портфелем; управління постачаннями та попитом і управління цінністю портфеля – в основі цих двох процесів галузь знань із результативності і ефективності управління портфелем; інформаційне управління в портфелі, в основі якого галузь знань із управління комунікаціями портфеля; управління ризиками портфеля, в основі якого галузь знань із управління ризиком портфеля [6]. Зауважимо, що третя версія стандарту

управління портфелем РМІ передбачає виокремлення нової, відносно попередніх двох версій, групи процесів – групи процесів визначення [6]. Дана група включає такі процеси як: розвиток стратегічного плану портфеля, розвиток чарту портфеля і визначення «дорожньої карти» портфеля, в основі яких галузь знань зі стратегічного управління портфелем; розвиток плану управління портфелем і визначення портфеля – в основі галузь знань із керівництва портфелем; розвиток плану комунікаційного управління в портфелі – в основі галузь знань із управління комунікаціями портфеля; розвиток плану управління ризиком портфеля – в основі галузь знань із управління ризиком портфеля. Як видно, група процесів визначення частково «перебрала» на себе процеси, які до цього, в попередніх версіях стандарту управління портфелем РМІ, розглядалися в групі процесів формування. Водночас, якщо пов'язувати групи процесів і їх складові з галузями знань, то «традиційні», і за першою, і за другою версіями стандарту управління портфелем РМІ [4, 5], процеси формування портфеля розглядаються за галуззю знань із керівництва портфелем. Зокрема, це стосується ідентифікації, категоризації, оцінювання, відбору, пріоритизації і балансування (в подальшому – оптимізація).

У четвертій версії стандарту управління портфелем РМІ [7] процеси управління портфелем виступають за такі, що групуються відповідно до виокремлюваних у даній версії фаз життєвого циклу портфеля – як стадій процесу управління портфелем – ініціювання, планування, виконання і оптимізація, а також моніторинг і контроль, якщо передбачається виокремлення даної стадії процесу управління, яка не розглядається за окрему фазу життєвого циклу портфеля. При цьому процеси групи формування портфеля, в інтерпретації перших трьох версій стандарту управління портфелем РМІ [4–6], і, частково, процеси групи визначення портфеля, яка була введена в третій версії [6], відповідають, головним чином, групам процесів ініціювання і планування [7]. Зазначимо, що оптимізація (попередньо – балансування) – так, як вона інтерпретується в перших трьох із вищезгадуваних версій [4–6], – має місце за четвертою версією не тільки на власне стадії оптимізації, а й, в значній мірі, на стадії планування, зокрема, на її початку, а також можлива і на стадії виконання [7].

Узгоджуючись із сьомою версією PMBOK®Guide [8], в четвертій версії стандарту управління портфелем РМІ [7], яка, до речі, побачила світ раніше за роботу [8], маємо на першому плані принципи і навички поведінки [7]. На зміну п'ятьом «галузям знань» (англ. – knowledge areas) – стратегічне управління портфелем, керівництвом портфелем, управління результативністю і ефективністю портфеля, управління комунікаціями портфеля, управління ризиком портфеля прийшли шість поведінкових навичок (англ. – portfolio management performance domains) – стратегічне управління портфелем, керівництво портфелем, управління спроможністю і здатностями портфеля, управління стейкхолдерами (залученням стейкхолдерами), управління цінністю портфеля, управління ризиком портфеля [7].

Розглядаючи оптимізацію в контексті формування портфеля, маємо нагадати, що, як відомо, оптимізація, в її класичному розумінні, передбачає пошук екстремального значення функціональної залежності в певних встановлених межах. Очевидно що передумовою оптимізації є визначення деякого узагальнюючого критерію. В даному випадку – критерію оптимальності портфеля. В загальному випадку, в умовах формування оптимального портфеля, можуть бути виокремлені, за кількістю використовуваних критеріїв, два класи моделей, а саме: однокритеріальні і багатокритеріальні. Класифікація однокритеріальних моделей на тепер є загальноприйнятою, можливо, дещо відмінною щодо структурування за ознаками класифікації. Класифікація однокритеріальних моделей відбувається, насамперед, за наступними ознаками: вид критерію оптимальності і функцій обмеження; наявність (відсутність) обмежень; кількість параметрів; кількість існуючих екстремальних значень за

критерієм оптимальності; властивість об'єктів моделювання; тип методу вирішення завдання оптимізації тощо. В загальновикористовуваному на зараз вигляді класифікація однокритеріальних моделей формування портфеля представлена на рис. 1.



Рисунок 1 – Класифікація однокритеріальних моделей формування портфеля
Figure 1 – Classification of single-criteria models of portfolio formation

Серед детермінованих моделей, рис. 1, виокремлюють лінійні, нелінійні, динамічні і графічні моделі. В череді моделей із елементами невизначеності – моделі теорії ігор, імітаційні моделі. Загальним для детермінованих моделей є те, що всі параметри портфеля і критерій його оптимальності є такими, які вважаються визначеними. В стохастичних моделях, рис. 1, деякі параметри носять випадковий характер, проте, ймовірнісні характеристики таких параметрів вважаються за відомі. Результати, отримані на основі таких моделей, мають ймовірнісний характер, що вимагає їх відповідної інтерпретації. Зауважимо, що ряд авторів звертає окрему увагу на те, що з точки зору практики доволі складно точно визначити ту межу, яка буде відділяти детерміновані моделі від стохастичних. На практиці зручно, за наявності малих відхилень для параметрів, які розглядаються за випадкові величини, вважати модель, яка розглядається, за детерміновану. При цьому рекомендується застосовувати “в парі” з таким підходом такий, наприклад, метод кількісного аналізу ризику як метод аналізу чутливості [9].

В моделях із елементами невизначеності, рис. 1, деякі параметри можуть бути випадковими, а їх ймовірнісні характеристики при цьому не бути відомими. Або, як зазначається в роботах із теорії ймовірностей, ми можемо мати справу з “дурною невизначеністю”, тобто, мається на увазі, що невизначеність носить нестохастичний характер. За наявності такої невизначеності не існує припущень відносно стохастичної стійкості. Моделі з елементами невизначеності, які рекомендуються до застосування в таких випадках, вибудовуються на основі теорії ігор, і також передбачається використання імітаційних моделей, як і при застосуванні стохастичних моделей. Окремо маємо зазначити, що прийняття рішень в умовах невизначеності носить, у значному ступені, рекомендаційний характер. Тобто, передбачається, що вибір остаточного рішення завжди залишається за суб'єктом прийняття рішення.

Серед відомих натеper моделей формування портфеля, які реалізуються в умовах визначеності, тобто, детермінованих, виокремлення лінійних, нелінійних, динамічних і графічних, рис. 1, відбувається залежно від виду обраної цільової функції і обмежень. В моделях прийняття рішень в умовах невизначеності, зазвичай, беруть до уваги три різновиди невизначеності: невизначеність цілей; невизначеність знань про зовнішнє середовище і фактори, які в ньому діють; невизначеність активних

чи пасивних дій, які носять характер сприяння чи протидії. В цьому випадку різновид невизначеності буде розглядатися з позиції відповідної складової математичної моделі. Невизначеність цілей, зокрема, знаходить відбиток при постановці завдання за умовами вибору окремих критеріїв. Два інших, із вищезазначених різновидів невизначеності, впливають головним чином, на будову цільової функції і обмежень, а також вибір методу прийняття рішень.

В умовах використання детермінованих моделей, коли особа, яка приймає рішення, вважає визначеність вихідних даних за достатню, рішення при формуванні портфеля передбачає проходження таких етапів як:

- визначення критерію, за яким обираються проекти до портфеля;
- проведення оцінювання проектів за обраними критеріями;
- надання рекомендації проектам із кращими значеннями критеріальних оцінок до включення до портфеля.

Найбільше поширення натеper серед детермінованих моделей набули лінійні моделі. Тобто, моделі, в яких цільова функція і обмеження є лінійними за керованими зміними.

За основну перевагу однокритеріальних моделей при формуванні портфеля прийнято вважати їх відносну простоту. Водночас, такі моделі не відображають багатоцільову сутність, яку, в загальному випадку, має портфель. Насамперед, поза увагою залишається синергетичний ефект в умовах формування портфеля – позитивний або негативний.

На сьогоднішньому етапі розвитку моделей і методів вирішення завдання щодо формування портфеля проектів у багатокритеріальній постановці отримали поширення критерії ризику і доходності. Наприклад, маємо детальний опис такого двокритеріального завдання оптимізації портфеля проектів у роботі [10].

В багатьох наукових роботах, а також представлених практиках застосування даних робіт, за найбільш зручні, насамперед, із точки зору простоти в застосуванні, вказують скорингові (англ. – seoring, тобто, набір очок) моделі. Даними моделями, узгоджуючись із їх назвою, передбачається надання кожному проекту рейтингу. Завдання полягає в тому, щоб досягти максимального доданку рейтингів проекту в портфелі, беручи до уваги, як обмеження, виділений обсяг ресурсів на такий портфель. При цьому, зазвичай, виокремлюють два типи рейтингу – числовий і порядковий. Перевагою числового рейтингу є те що він визначає ступінь пріоритетності проектів. Разом із тим, за недолік такого рейтингування маємо те, що відразу кілька проектів можуть отримати однаковий рейтинг. В свою чергу, другий із зазначених рейтингів, а саме – порядковий, не дає можливості надавати однакові порядкові номери різним проектам. Водночас, він і не вказує однозначно на пріоритетність проектів. Загалом, сутність скорингових моделей полягає в тому, що за кожним критерієм оцінювання проект отримує певні очки (бали). Підсумковий рейтинг проекту буде дорівнювати доданку добутків оцінок за кожним критерієм на ваговий коефіцієнт, встановлений за критерієм. Скорингові моделі можна розглядати в рамках такого підходу до вирішення багатокритеріальних завдань як підхід зважених критеріїв. Крім скорингових моделей поширення набули й інші інструменти щодо ранжування проектів за портфелем. Наприклад попарне порівняння.

Водночас, як зазначається в багатьох наукових та інших джерелах інформації, ранжування проектів допомагає у власне відборі проектів, проте, не є єдино визначальним. Зокрема, необхідно брати до уваги умови ресурсного забезпечення, взаємозв'язок проектів – незалежні чи залежні за вигодами і/або витратами тощо.

Для більш жорстокого розв'язку завдання оптимізації портфеля можуть бути застосовані методи математичного програмування. В деяких роботах, водночас, за обмеження в застосуванні даних методів вказують на їх відносну складність для застосування управляючими-практиками. Звідси висновок, який превалює у відповідних методичних рекомендаціях, – при незначній кількості проєктів у портфелі краще обмежитись скоринговими моделями. Водночас, маємо зауважити, що спостерігаємий розвиток програмних продуктів, які підтримують методи математичного програмування, дозволяє зробити їх більш зручними і прозорими для застосування практиками.

Мета дослідження полягає у підвищенні результативності і ефективності управління проєктами ГУ на основі розроблення науково-методичних засад управління сукупністю проєктів ГУ як портфелем.

Об'єкт дослідження – процес управління проєктами ГУ.

Предмет дослідження – методи, моделі, механізми і стандарти формування портфеля проєктів, розглядувані у контексті формування портфеля проєктів ГУ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Натепер, як зазначається в роботі [11], офіційна статистика щодо показників громадських бюджетів (ГБ) в Україні відсутня. Наявні лише окремі дослідження, які проводились громадськими організаціями, зокрема, [11–15]. Виходячи з огляду цих досліджень, можна зазначити, що в Україні проєкти ГУ, фінансовані, відповідно, за рахунок ГБ або бюджетів участі, вперше були представлені на конкурс у 2015 р. у таких містах, які є обласними центрами, як Черкаси, Чернігів і Луцьк. В останньому з перелічених міст маємо деякі відмінності, які, водночас, не є критичними і дозволяють розглядати м. Луцьк у вищенаведеному переліку. Загалом у 2015 р. на конкурс було виведено 198 проєктів ГУ [15]. У 2016 р. проєкти ГУ з'явилися ще у 14 містах України, які мали статус обласних центрів. Зокрема, в м. Києві, а також таких обласних центрах як міста Вінниця, Житомир, Запоріжжя, Івано-Франківськ, Львів, Полтава, Рівне, Суми, Тернопіль, Ужгород, Хмельницький та Чернівці і місті, яке тимчасово виконувало роль обласного центру, – Краматорськ. В 2016 р. проєкти ГУ з'явилися у м. Кривому Розі, який можемо віднести до значніших міст України.

У 2017 р. до проведення конкурсів за проєктами ГУ долучилися такі чотири обласні центри як міста Дніпро, Кропивницький, Миколаїв та Одеса. У 2018 р. проєкти ГУ з'явилися ще в двох обласних центрах – у містах Харкові та Северодонецьку (на той час тимчасово виконував роль обласного центру), а в 2019 р. в м. Херсоні [15].

Зазначимо, що в розглянутих випадках за рік появи в місті ГБ вважається рік, у якому відбувалось голосування за подані проєкти ГУ.

За загальноприйнятими натепер умовами в кожному місті конкурси проєктів ГУ проводяться один раз на рік. Проте, маємо деякі винятки, які, здебільшого, були зумовлені зміною часових меж циклу ГБ. Разом із тим, у ряді міст, у яких ініціатива проєктів ГУ розпочалась, конкурси за цими проєктами, в подальшому, в деяких роках, проводились не завжди. А в м. Житомирі, через певні обставини, взагалі відмовились від ініціативи фінансування проєктів за рахунок ГБ. Замість цього започаткували конкурс на кращий загальноміський проєкт.

В дослідженні, яке проводилось щодо проєктів, які фінансувались за рахунок ГБ, зазначається, що, з 35, розглянутих в цьому дослідженні, міст, у 27 проєкти ГУ поділялись на “малі” та “великі”. При цьому в ряді міст цей поділ застосовувався лише в окремих конкурсах. Водночас, від конкурсу до конкурсу могли різнитися граничні обсяги фінансування за проєктами ГУ, які було визначено за “малі” та “великі” [15].

З вищезгадуваних міст – столиці, обласних центрів, а також м. Кривий Ріг – поділ на категорії «малі» та «великі» ніколи не застосовували лише міста Луцьк, Суми, Харків і Хмельницький.

Наприклад, у межах конкурсу 2017 р. в м. Києві проекти поділялись на «малі» та «великі». У наступних конкурсах столиця відмовилася від поділу проектів на категорії «малі» і «великі», а з часом, як зазначається в роботі [2], відновила, але на інших умовах. У Львові, за категорією «малі» розглядаються ті, проекти ГУ, бюджет яких становить від 50 до 600 тис. грн., а за категорію «великі» – проекти ГУ, бюджет яких становить від 600 до 3000 тис. грн.

Маємо зауважити, що граничні суми щодо віднесення проектів ГУ за запитом на обсяг фінансування до певної категорії, і поділ за такими категоріями взагалі, встановлюються місцевими радами у положеннях про ГБ і, в цілому, доволі часто зазнають змін. Водночас, як зазначається в роботі [15], чимало міст доповнюють поділ проектів ГУ на категорії «малі» і «великі» деякими іншими категоріями або застосовують альтернативні типології. У м. Суми, наприклад, встановлюється поділ проектів ГУ на «загальноміські» і «локальні». При цьому для обох типів встановлена лише верхня межа – до 750 тис. грн. для локальних проектів ГУ і до 1,5 млн. грн. – для загальноміських проектів ГУ. На практиці, такий поділ, то швидше про масштаб проектів ГУ за обсягом їх фінансування як за категоріями. Оскільки доволі значна частина загальноміських проектів ГУ мають меншу величину бюджету порівняно до локальних. У м. Запоріжжі, протягом тривалого часу, проекти ГУ взагалі не поділяли за категоріями за якимись ознаками. Проте, починаючи з 2019 р., вони діляться на проекти ГУ загальноміського значення (за сутністю – «великі») і пов'язані з комунальними закладами (за сутністю – «малі») й житловими сектором (за сутністю – «малі»). У м. Дніпрі впродовж кількох років застосовувався поділ проектів ГУ за категоріями «гуманітарні великі», «гуманітарні малі», «муніципальні великі», «муніципальні малі». Починаючи з 2020 р. до них також додалися «освітні великі» та «освітні малі». У м. Кривому Розі маємо досвід поділу проектів ГУ на категорії «малі» й «середні», а в м. Полтаві, наприкінці 2010-х рр., їх почали поділяти за категоріями «великі», «малі», «мікропроекти». У м. Херсоні, окрім поділу на категорії «великі» й «малі», проекти ГУ поділяються на «тверді» – мається на увазі такі, що пов'язані зі створенням інфраструктури, і «м'які» – ті, що стосуються проведення заходів.

Узагальнюючи, можемо спостерігати, що в кожному місті України, в сенсі поділу проектів ГУ за категоріями, виокремлюваними, головним чином, за обсягом фінансування, який запитується на кожен проект ГУ, склалася унікальна ситуація. Чимало, як бачимо, міст експериментують із різними типами категорій щодо поділу проектів ГУ за запитом останніх на обсяг фінансування і ще не сформували сталих практик щодо цього питання [15].

У 2016 р. в таких містах, де був чіткий поділ проектів ГУ відповідно до категорій «малі» та «великі», а це, зокрема, міста Вінниця, Краматорськ, Тернопіль, Ужгород і Черкаси, більше половини поданих проектних ініціатив були за категорією «великі». Найбільше їх було в м. Черкаси, на рівні 67% від загальної кількості проектних ініціатив громадян. Найбільше ж проектних ініціатив за категорію «малі» було подано в м. Чернівці – їхня частка склала 69% [15]. У 2017 р. в загальній кількості ініційованих проектів ГУ за категорією «великі» домінували міста Київ, Вінниця, Миколаїв, Рівне, Ужгород і Черкаси. Знову таки, попереду – м. Черкаси, з 66%, а також м. Київ – 65% від загальної кількості ініційованих проектів ГУ. Стосовно категорії «малі», то тут перше місце посіло м. Полтава – 75%. У 2018 р. лише у містах Вінниця, Житомир, Краматорськ, Одеса і Черкаси превалювали «великі» проекти ГУ. У м. Кривий Ріг, як і у більшості інших міст, домінували «малі» проекти ГУ. На їх долю припадало 79% від загальної кількості проектних ініціатив. Але маємо зазначити, що, в останньому

випадку, в категорії «малі» об'єднані власне «малі» і «середні» проекти ГУ. У 2019 р категорія «великі» за поданими проєктними ініціативами переважала лише в містах Вінниця, Краматорськ, Одеса і Херсон. При цьому в м. Одеса на категорію «великі» припадало 75% проєктних ініціатив. Найбільша частка проєктних ініціатив за категорією «малі» була зафіксована в м. Кропивницький – 85%.

Узагальнено, аналізуючи дані за 2016–2019 рр., можна зазначити, що лише жителі міст Вінниця і Черкас подавали проєктних ініціатив за категорією «великі» більше, ніж за категорією «малі». Із жителями таких міст як Дніпро, Львів, Кривий Ріг, Кропивницький і Полтава спостерігаємо протилежну ситуацію. Стосовно інших міст окреслена ситуація не була однозначно визначеною в часі, змінюючись від одного конкурсу до іншого. В м. Тернополі на 2-х, із 4-х розглянутих, конкурсах кількість запитів на фінансування за категоріями «малі» і «великі» проекти ГУ була однаковою.

Проекти, які подаються на конкурс ГБ, відразу не виносяться на голосування жителів громади. Зазвичай, створюється орган – координаційна рада або робоча група – яка попередньо оцінює проекти ГУ відносно їхньої відповідності вимогам конкурсу, законодавству, можливості реалізації тощо. За підсумками таких оцінок можна судити про загальну якість проєктних пропозицій, насамперед, в розумінні рівня їх розроблення. За даними конкурсів, які проводились у період з 2016 по 2019 рік, понад 60% проєктів ГУ успішно пройшли перевірку та були винесені на голосування жителів громад. Як зазначається в роботі [15], якихось чітких трендів щодо цього питання не простежується. Коливання частки проєктів ГУ, допущених до голосування, в часі різняться від міста до міста. Разом із тим, можна навести деякі показові цифри. У 2016 р. найменшу частку допущених до голосування проєктів ГУ мали у м. Вінниця (49%), у 2017 р. – у м. Луцьку (33%), у 2018 р. – у м. Хмельницькому (27%). У 2019 р. два міста отримали цей показник на рівні меншому за 50%. Це м. Хмельницький (43%) і м. Херсон (45%).

В громадах міст Києва, Кривого Рогу, Івано-Франківська, Полтави, Рівного, Черкас, Чернівців, Дніпра, Сум, Чернігова і Харкова спостерігався щорічний приріст голосів у періоді до 2020 р. включно. Водночас, у цьому ж періоді маємо зниження кількості голосів у містах Одеса, Запоріжжя та Ужгород. Такі міста як Краматорськ, Львів, Луцьк, Миколаїв, Тернопіль, Хмельницький і Запоріжжя мають незначні щорічні коливання. Якщо віднести кількість голосів, отриманих за ГБ, на кількість населення міст, де проводились відповідні конкурси, то найвищий показник у періоді, що розглядається, маємо для м. Кривий Ріг у 2019 р. – 353 голоси на 1 тис. осіб населення, м. Дніпро у 2019 р. – 334 голоси на 1 тис. осіб населення. Хоча за абсолютною величиною щодо кількості голосів домінує м. Київ. Зауважимо, що перші 19, за результатами голосування, проекти ГУ в періоді, що розглядається, набирали від 5 до 8,9 тис. голосів.

Спостерігаєма світова практика стосовно умов проведення оцінювання, відбору і пріоритизації проєктів ГУ свідчить, що рекомендацію на прийняття до реалізації проекти ГУ отримують виходячи з кількості набраних голосів на підтримку – або як одиничного показника, або як одиничного показника, представленого у вигляді певної функціональної залежності від кількості отриманих голосів на підтримку, або як одиничного показника у встановленому поєднанні з іншими одиничними показниками в рамках відповідних комплексних чи інтегральних показників.

На основі дослідження, проведеного з використанням статистичної методології на основі баз даних проєктів ГУ м. Києва, які було відібрано для участі в голосуванні на право бути реалізованими за кошти ГБ, можна дійти висновку, що вид критерію, на основі значень якого приймаються рішення щодо рекомендації проєктів ГУ до реалізації, може ситуаційно значуще впливати на характеристики сукупності обираємих до реалізації проєктів ГУ. При використанні в якості критерію кількості голосів на підтримку можна спостерігати збільшення середнього значення величини запиту на обсяг

фінансування за проектами ГУ, прийнятими до реалізації, порівняно до проектів ГУ, допущених до голосування, за більшістю тематичних спрямувань. За умов використання альтернативного критерію, за який виступає показник відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування, для більшості тематичних спрямувань маємо відмінні наслідки – середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ, прийнятими до реалізації, є меншим від середнього значення величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ, допущеними до голосування. Можна припускати, що простежувані зміни в середньому значенні величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ при одночасній незначущій зміні у відповідному коефіцієнті варіації відбуваються, насамперед, за рахунок збільшення частки проектів ГУ, які мають відносно більший або менший запит на обсяг фінансування.

При існуванні обмеження на бюджет ГУ, за обставин використання за критерій показника кількості голосів на підтримку, має місце збільшення частки відмов у прийнятті проектів ГУ до реалізації і, відповідно, зменшення частки проектів ГУ, прийнятих до реалізації, якщо співставляти за умовами використання в якості критерію показника відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування [16].

Окремий інтерес являє собою питання формування тематичних спрямувань за проектами ГУ. Як зазначається в роботі [15], порівняльне дослідження цього питання, зокрема, й за містами України, ускладнюється дією ряду факторів.

Це, насамперед, наступне:

- кожне місто на власний розсуд виокремлює тематичні спрямування, що значно ускладнює їх приведення до єдиної системи;
- якими б не були за визначенням блоки, вони ніколи не є чистими типами, і більшість громадських проектних ініціатив насправді одночасно належать до кількох тематичних спрямувань;
- завжди існують проекти ГУ, які не підпадають під жодне з наперед визначених тематичних спрямувань;
- на практиці тематичне спрямування, зазвичай, визначають автори, які, доволі часто, не роблять це коректно.

Умовна, як самі це визнають дослідники за роботою [15], уніфікована схема тематичних спрямувань виглядає, як така, що складається з наступних 12 тематичних спрямувань:

- освіта – охоплює проекти ГУ, які стосуються всіх навчальних (освітніх) закладів усіх рівнів, навіть, якщо вони безпосередньо і не пов'язані з наданням освітніх послуг (наприклад, проекти ГУ щодо покращення інфраструктури цих закладів), а також будь-яких форм неформальної освіти;
- охорона здоров'я – охоплює проекти ГУ, які стосуються всіх закладів системи охорони здоров'я, навіть, якщо вони безпосередньо і не пов'язані з наданням медичних послуг (наприклад, проекти ГУ щодо покращення інфраструктури цих закладів), а також будь-якої іншої діяльності, дотичної до сфери медичних послуг і громадського здоров'я;
- дорожньо-транспортна інфраструктура – охоплює проекти ГУ, які стосуються облаштування і ремонту доріг, тротуарів, пішохідних переходів, світлофорів, дорожнього освітлення, пішохідних маршрутів, а також велосипедних маршрутів та усієї інфраструктури громадського транспорту;
- безпека та громадський порядок – охоплює проекти ГУ, які стосуються заходів громадської безпеки і цивільного захисту в містах;

- благоустрій та публічні простори – охоплює проекти ГУ, які стосуються облаштування громадських (публічних) місць, включаючи встановлення та реставрацію дитячих майданчиків, озеленення, благоустрій дворів, парків, скверів тощо;
- комунальне господарство та енергозбереження – охоплює проекти ГУ, пов’язані з наданням житлово-комунальних послуг та вжиттям заходів із енергозбереження;
- соціальний захист – охоплює будь-які проекти ГУ, які стосуються інтересів вразливих груп населення та надання соціальних послуг і послуг соціального характеру;
- навколишнє середовище – охоплює проекти ГУ, які пов’язані із захистом та відновленням довкілля та формуванням екологічної культури населення;
- фізкультура та спорт – охоплює проекти ГУ, які передбачають створення (розвиток) спортивної інфраструктури, включаючи спортивні майданчики, а також проведення різноманітних спортивних та спортивно-розважальних заходів;
- інформаційно-комунікаційні технології – охоплює проекти ГУ, які передбачають заходи із цифровізації і/або створення чи впровадження цифрових продуктів і послуг;
- культура та мистецтво – охоплює проекти ГУ щодо розвитку соціокультурної інфраструктури, а також створення і просування культурних продуктів і послуг, проведення різноманітних культурно-мистецьких заходів, розвитку культурних індустрій;
- інше – охоплює проекти ГУ, які не потрапляють до жодної із наведених категорій.

В роботі [16] наведено умови виокремлення тематичних спрямувань за проектами ГУ, які було реалізовано в м. Києві в 2017–2021 рр. і планувалися до реалізації в 2022 р.

За даними вищезгаданого дослідження [15], аналіз тематичних спрямувань вказує на перевагу таких тематичних спрямувань як «Освіта», «Благоустрій та публічний простір», «Фізична культура і спорт» відносно інших. При цьому, за даними 35 міст України, які фігурують у цьому дослідженні [15], до яких, зокрема, увійшли і всі міста – обласні центри України і м. Кривий Ріг, на дані тематичні спрямування припадає 23%, 19% та 14% ініційованих проєктів ГУ відповідно. Можна виокремити як значні, за часткою, яка на них припадає, тематичні спрямування «Культура та мистецтво» (9%), «Інше» (8%) та «Комунальне господарство і енергозбереження» (7%).

У контексті виявлення тематичних спрямувань проєктів-переможців, за багатьох випадків, маємо відповідність частки ініційованих і частки рекомендованих до реалізації проєктів ГУ. Єдине виключення складає тематичне спрямування «Освіта», яке сягає ледь не третини переможців ГБ, що перевищує на 8% частку ініційованих проєктів ГУ за цим тематичним спрямуванням. Цей факт підтверджує поширену тезу, що навчальні заклади загалом є більш успішними в конкурсах проєктів ГУ через те, що добре “мобілізують” зацікавлених осіб та залучають голоси на підтримку своїх проєктних ініціатив. Насамперед, мова йде про родини учнів. Це стало приводом до того, що в деяких містах освітні проєкти ГУ виводяться в окрему категорію та квотуються, наприклад, у м. Дніпрі. Або запроваджуються “шкільні” ГБ, як окремий інструмент, що має місце, наприклад, в містах Полтава і Тернопіль [15].

Частка бюджету громадської участі в загальному бюджеті громади може варіювати від 0,5 до 3,0% обсягу доходів бюджету розвитку або ж фінансуватися як наперед визначена сума. Зазначені обсяги коштів встановлюються місцевими радами [15].

Більшість обласних центрів України демонстрували в 2016–2019 рр. зростання бюджетів громадської участі в часі. Виключення склали міста Рівне і Черкаси, де обсяг фінансування не

змінювався, а також м. Одеса, де мали місце роки щодо зменшення фінансування. Найбільші бюджети в 2016–2019 рр. мали: м. Одеса в 2017 р., дещо менші м. Київ у 2018 і 2019 рр. [2].

Як зазначається в роботі [15], найслабкішою стороною ГБ в Україні є реалізація проєктів. Зокрема, відстеження поточного статусу проєкту ГУ за допомогою можливостей, які, в принципі, надають використовувані електронні платформи [17, 18].

Таблиця 2 – Умови виокремлення тематичних спрямувань за проєктами ГУ, які було реалізовано в м. Києві в 2017–2021 рр. і планувались до реалізації в 2022 р.

Table 2 – Conditions for the selection of thematic directions for the State Government projects that were implemented in the city of Kyiv in 2017–2021 and were planned for implementation in 2022.

Тематичне спрямування	Рік					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022 (план)
1	2	3	4	5	6	7
ІТ (інформаційні технології)	+	+	+	+	+	+
Безпека	+	+	+	+	–	–
Освіта	+	+	+	+	–	–
Громадянське суспільство	–	+	+	+	–	–
Освіта, громадянське суспільство	–	–	–	–	+	+
Дороги, транспорт	+	+	+	+	+	+
Екологія	+	+	+	+	+	+
Комунальне господарство, енергозбереження	+	+	+	+	–	–
ЖКГ (комунальне господарство, енергоефективність)	–	–	–	–	+	+
Культура, туризм	+	+	+	+	+	+
Охорона здоров'я	+	+	+	+	–	–
Здоров'я	–	–	–	–	+	+
1	2	3	4	5	6	7
Публічний простір	–	–	+	+	–	–
Соціальний захист	+	+	+	+	–	–
Соціальний захист, інклюзія	–	–	–	–	+	+
Спорт	+	+	+	+	–	–
Молодь, спорт	–	–	–	–	+	+
Інше	–	+	+	+	–	–
Міжтематичні	–	–	–	–	+	+

Проведений аналіз кращої практики і уроків застосування ГБ, насамперед, у територіальних громадах міст України, дозволяє ідентифікувати ряд проблем у забезпеченні управління проєктами ГУ. Це, зокрема, такі проблеми як: структурування, в тому числі, у відповідності до фаз життєвого циклу проєктів ГУ, сукупностей проєктів ГУ за тематичними спрямуваннями і масштабом, оцінюваним через

запит на обсяг фінансування; визначення критеріїв для відбору, оцінювання і пріоритизації проєктів ГУ; оптимізація сукупності проєктів ГУ в умовах прийняття їх до реалізації.

До проблем управління проєктами ГУ можна віднести і виокремлювану в роботі [11] проблему неузгодженості видатків ГБ зі стратегіями розвитку громад і територій.

На основі узагальнення проблематики управління проєктами ГУ, а також застосування до управління проєктами ГУ актуальних на тепер методологічних підходів управління портфелями, умови формування портфеля проєктів ГУ можна представити, використовуючи абстрактно-логічний метод, у рамках відповідної концепції, рис. 2. Представлена концепція формування портфеля проєктів ГУ може бути використана, з одного боку, як певна методологічна основа при проведенні досліджень за проблематикою формування портфеля проєктів ГУ, а з іншого – як методична основа, можливо, свого роду, шаблон, в умовах застосування на практиці при формуванні потенційно можливих варіантів портфеля проєктів ГУ і вибору раціонального.

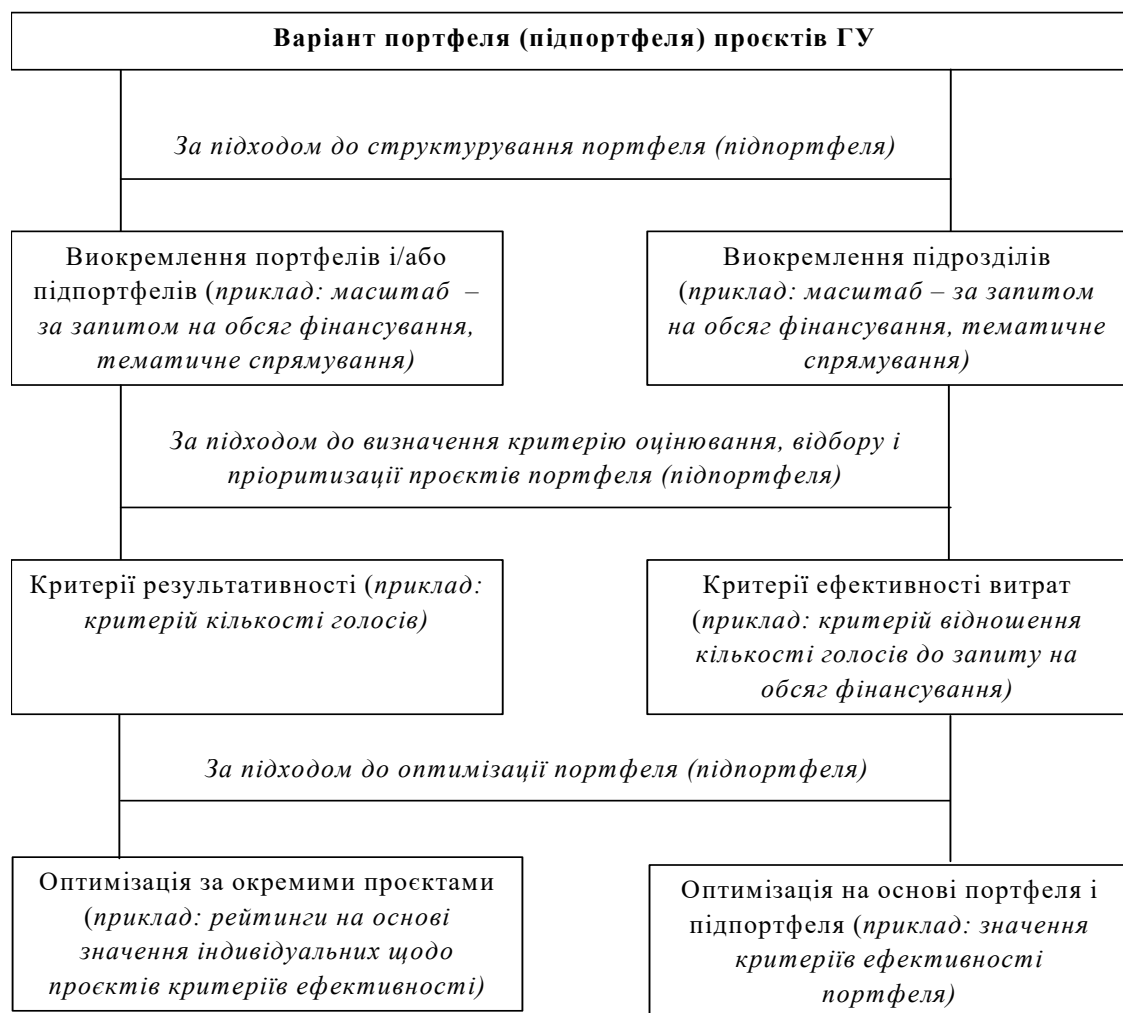


Рисунок 2 – Концепція формування портфеля (підпортфеля) проєктів ГУ
Figure 2 – Concept of forming a portfolio (sub-portfolio) of GU projects

Окремий інтерес при формуванні портфеля проєктів ГУ становить питання оптимізації даного портфеля чи підпортфелів, які відповідають виокремлюваним категоріям проєктів. Зазначене питання може розглядатися за рядом аспектів. По-перше, це можливість врахування умов залежності між окремими проєктами. В межах виокремлюваних категорій, в тому числі, підрозділів даних категорій, проєкти ГУ можуть бути представлені як незалежні або залежні. А останні, в свою чергу, як залежні на засадах доповнення чи заміщення [9]. При цьому умови залежності компонентів на зазначених засадах можуть враховуватися через формування нових, інтегрованих, компонентів, до складу яких входять залежні проєкти. Аналізуючи проєкти ГУ, які були реалізовані в межах категорії «малі» за тематичним спрямуванням «Освіта» в м. Києві в 2020 р. [2], бачимо значну кількість запитів на фінансування в однаковому обсязі в певні роки однотипних проєктів для різних шкіл із встановлення звукового та мультимедійного обладнання. Дані проєкти можуть розглядатися сумісно, наприклад, у складі програм, як взаємодоповнюючі за витратами, оскільки можна очікувати на додатний ефект синергії завдяки можливості централізації закупівель, із подальшим встановленням і обслуговуванням, відповідного даним проєктам обладнання. Аналогічними міркуваннями можна послуговуватись, якщо звернемось до проєктів дошкільних навчальних закладів під назвою «Музика і танці», які здійснювались в категорії «малі» за тематичним спрямуванням «Культура» [2].

Можна навести приклади взаємовиключаючих проєктів ГУ. Зокрема, за тематичними спрямуваннями «Освіта» чи «Спорт». Це проєкти, за якими надходять запити на обладнання дитячих або спортивних майданчиків, розташованих настільки близько територіально, що, виходячи з «цільової аудиторії» – як кількості жителів, які потенційно буде користуватися даними майданчиками, відповідні проєкти можна розглядати за взаємовиключаючі. Представлені умови залежності можуть бути взяті до уваги частково при проведенні попередньої експертизи і остаточно враховані після проведення рейтингового голосування і виконання процесу оптимізації. Водночас, якщо попередня експертиза може виявитись результативною і ефективною при відборі проєктів для оцінювання (голосування), власне оцінювання і, можливо, рейтингування – як в рамках окремих категорій, так і в рамках підрозділів даних категорій, то врахування умов залежності в процесі оптимізації доречно проводити, ґрунтуючись на визначенні процесу оптимізації [4–7], за виокремлюваними категоріями, на які накладаються відповідні портфелі (підпортфелі).

Наступним, другим, аспектом, за яким є сенс розглянути питання оптимізації портфеля (підпортфелів) ГУ, є вибір власне умов оптимізації. Насамперед, мається на увазі, що необхідно визначитись із тим, чи буде оптимізація відбуватись виходячи виключно з індивідуальних рейтингів, які набулі проєктами ГУ за обраними критеріями за результатами голосування, чи оптимізація відбуватиметься за портфелями (підпортфелями) разом.

В умовах формування переліку проєктів ГУ до реалізації завжди маємо очевидну дилему. З одного боку – це індивідуальний рейтинг, який отримує проєкт за встановленим критерієм, а з іншого – умови ефективності використання коштів платників податків місцевих громад у межах виділених бюджетів. Тут, можемо мати певне протиріччя. До речі, спостерігаєма практика застосування індивідуальних рейтингів, за багатьох випадків, в тому числі, і за нормативними актами, які регулюють громадський бюджет м. Києва, вказує на те, що дані рейтинги носять рекомендаційний характер.

Якщо розглядати умови оптимізації проєктів ГУ сумісно за певною виокремлюваною категорією, то для вирішення завдання оптимізації складу портфеля у відповідній постановці може бути використано метод цілочисельного програмування. Цільова функція при цьому будується на основі кількості поданих голосів на підтримку окремих проєктів і, як очевидно, потребує максимізації.

За обмеження слугує бюджет, який виділяється на відповідну категорію проєктів, яка, за даних умов, розглядається за портфель проєктів.

Відповідно до вищенаведеного, можна записати:

$$\sum_{i=1}^I V_i x_i \rightarrow \max, \quad (1)$$

за дії обмежень:

$$\sum_{i=1}^I C_{ki} x_i \leq C_{kp}, \quad (2)$$

$$x_i = 0, 1, i = \overline{1, I}, \quad (3)$$

де V_i – кількість голосів, поданих на підтримку i -го проєкту ГУ, $i = \overline{1, I}$;

C_{ki} – капітальні витрати за i -м проєктом ГУ, $i = \overline{1, I}$;

C_{kp} – граничне максимальне значення капітальних витрат, які можуть бути виділені на фінансування проєктів ГУ за категорією (портфелем або підпортфелем);

I – загальна кількість проєктів ГУ в категорії (портфелі або підпортфелі).

Представлені обмеження за пропонованою моделлю оптимізації портфеля проєктів ГУ, вирази (1) – (3), відповідно до прийнятої практики, не завжди беруть до уваги поточні витрати, з якими буде пов'язана експлуатація даних проєктів у майбутньому. Ці витрати можуть бути враховані в різний спосіб. Зокрема, як сумарна величина протягом встановленого періоду експлуатації проєкту ГУ, наприклад, 5 років, і братись до уваги як обмеження в процесі попереднього відбору. Можливим є також введення цих поточних витрат – як приведених поточних витрат – до обмежень цільової функції (1) у вигляді:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t_e=1}^{T_e} \frac{C_{pi t_e}}{\prod_{j=1}^{t_e} (1 + k_{ij})} x_i \leq c_{pp}, \quad (4)$$

де $C_{pi t_e}$ – поточні витрати за i -м проєктом ГУ в часовому періоді t_e , $t_e = \overline{1, T_e}$, $i = \overline{1, I}$;

k_{ij} – вартість капіталу за i -м проєктом ГУ в часовому періоді j , $j = \overline{1, t_e}$, $t_e = \overline{1, T_e}$, $i = \overline{1, I}$;

c_{pp} – граничне максимальне значення приведених поточних витрат, яке може мати місце за категорією (портфелем або підпортфелем);

T_e – економічний термін життя, який приймається за проєктами ГУ.

Цільова функція може бути доповнена обмеженням щодо поточних витрат у вигляді:

$$\sum_{i=1}^I C_{pi t_e} x_i \leq C_{pit_e p}, t_e = \overline{1, T_e}, \quad (5)$$

де $C_{p_{t_e}p}$ – граничне максимальне значення суми поточних витрат, яке може мати місце за категорією (портфелем) у часовому періоді t_e , $t_e = \overline{1, T_e}$.

Врахування в моделях оптимізації портфеля концепції вартості грошей у часі через введення процедур дисконтування актуалізує питання ступеня ризику – як індивідуального, тобто, щодо окремих проєктів, які входять до складу портфеля (проєктного ризику), так і структурних ризиків – як ризиків, пов'язаних зі способом формування портфеля і ймовірними конфліктами між його компонентами, і глобальних ризиків – як ризиків, які перевищують суму ризиків окремих компонентів [4–7]. Як правило, ризик окремих проєктів враховується в бюджеті цих проєктів через збільшення останніх до 20%. Водночас, врахування наявності структурних ризиків і, можливо, частково глобальних ризиків за сукупностями проєктів певного тематичного спрямування дозволить представлення цих сукупностей в якості портфелів (підпортфелів).

В даній роботі для прикладу розглядаються запити на фінансування, які було подано за категорією «малі» за тематичним спрямуванням «Культура» в 2019 р. Реалізовувались проєкти в 2020 р. При визначенні оптимального складу сукупності проєктів даного тематичного спрямування як портфеля (підпортфеля) було виконано цілочисельне програмування з використанням надбудови «Пошук рішень» Microsoft Office Excel 2010. До уваги брались наступні показники щодо кожного проєкту: кількість поданих голосів на підтримку, запит на обсяг фінансування, значення критерію для оцінювання (визначався, як відношення кількості голосів до запиту на обсяг фінансування), рейтинг. Всього було прийнято до конкурсного відбору 50 запитів. Статус «реалізований» за умовами застосування діючого підходу до відбору проєктів до реалізації отримали 28 проєктів, загальна кількість голосів на підтримку цих проєктів склала 10659 голосів, загальний бюджет – 3985659 грн. За пропонованим підходом до оптимізації статус «реалізований» отримали 27 проєктів (26 з них мали цей статус і попередньо, двом рекомендовано змінити статус на «брав участь», і, навпаки, один рекомендовано включити до переліку проєктів, які можуть бути реалізовані). Загальна кількість голосів на підтримку склала 10713 голосів, загальний бюджет – 3985959 грн. Кількість голосів, яка припадає на 1000 грн. фінансування даної сукупності проєктів за умовами застосування діючого підходу до оптимізації, склала 2,67, а пропонованого – 2,69. При цьому обмеження на фінансування для проєктів даного спрямування, як бюджет, оцінювалось, виходячи з обсягу фінансування, виділеного на реалізацію прийнятих проєктів, і склало 4000000 грн.

Виокремлення категорії проєктів ГУ і, в подальшому, розгляд її як портфеля вимагає встановлення окремого бюджету для даної категорії. Наприклад, параметрами громадського бюджету м. Києва на 2022 р. передбачалось, що 40% його буде спрямовано на реалізацію категорії «малі» проєкти, 60% – на реалізацію категорії «великі» проєктів. При введенні окремих бюджетів за тематичними спрямуваннями можуть, гіпотетично, використовуватись різні варіанти розподілу бюджетів малих і великих проєктів за цими спрямуваннями. Наприклад, такий розподіл може виконуватись пропорційно до кількості поданих запитів, або до кількості отриманих голосів вже за результатами голосування за тематичними спрямуваннями. Можливі й інші варіанти.

Розглядаючи проєкт за засіб реалізації, а, за певних умов, і формування стратегії територіальної громади, рівень вагових коефіцієнтів при розподілі громадського бюджету можна встановлювати як такий, що стимулює розвиток певних тематичних спрямувань. При цьому це може бути або «посилення» визнання важливих нагальних для територіальної громади стратегічних напрямів розвитку, або посилення стратегічних напрямів, які «не добирають» коштів через дефіцит «звичайного»

бюджету, або вишукування нових перспективних напрямів стратегічного розвитку. В останньому випадку проекти ГУ носять характер експерименту. Окремого обґрунтування потребує питання ієрархічної будови портфеля проектів ГУ – категорії «малі» і «великі» мають поділятися за категоріями тематичного спрямування чи, навпаки, – категорії тематичного спрямування за категоріями «малі» і «великі». Проте, це питання виходить за межі даної роботи.

Гіпотетично, можуть висуватися нарікання на «непрозорість» відбору проектів ГУ за прийняття підходу до оптимізації за портфелем. Насамперед, через те, що процес оптимізації за портфелем не є таким наочним, як рейтингування. Хоча, зазначимо, останнє, як вказується у відповідних нормативних документах багатьох територіальних громад, носить рекомендаційний, а не остаточний характер. Водночас, відповідний пропонованому підходу програмний продукт може бути представлений у відкритому доступі і максимально адаптований для зручності у використанні будь-ким, хто бажає перевірити коректність проведеної оптимізації. Подібні сервіси пропонуються в світі, і в Україні, зокрема, за різними сферами громадського життя і в контексті вирішення широкого кола питань.

Висновки. На основі розвитку методології управління портфелями і узагальнення проблематики управління проектами ГУ в територіальних громадах міст України запропоновано концепцію формування портфеля проектів ГУ. В основу даної концепції покладаються розглядувані у взаємозв'язку науково-методичні підходи щодо: структурування портфеля проектів ГУ; визначення критеріїв для оцінювання, відбору і пріоритизації проектів ГУ за портфелем проектів ГУ; оптимізації портфеля проектів ГУ. Представлена концепція формування портфеля проектів ГУ також може бути використана прибутковими і неприбутковими організаціями в умовах запровадження в них партисипативного управління.

В межах концепції формування портфеля проектів ГУ розроблено модель визначення оптимального складу портфеля проектів ГУ, яка виходить із передумов альтернативної постановки завдання щодо оптимізації портфеля (підпортфеля) проектів ГУ – на основі індивідуальних рейтингів проектів ГУ або портфеля проектів ГУ, розглядуваних разом.

Отримані результати можуть розглядатися за такі, що надають можливість вдосконалення і подальшого розвитку науково-методичного забезпечення процесів групи формування портфеля за умовами здійснення проектів ГУ, які виступають як компоненти відповідних портфелів (підпортфеля).

Подальші дослідження в межах вдосконалення і подальшого розвитку концепції формування портфеля проектів ГУ мають йти за розглядуваними у взаємозв'язку складовими даної концепції.

Перелік посилань

1. Рішення Київської міської ради “Про затвердження Положення про громадський бюджет міста Києва” від 22 грудня 2016 року із змінами і доповненнями. Режим доступу: <https://kmr.gov.ua/uk/provisions-public-budget>.
2. Громадський бюджет Києва. Дані по проектам за 2020 рік. Режим доступу: <https://wiki-projects.kyivcity.gov.ua/pages/viewpage.action?pageId=28180652#tab-2020>
3. Воркут Т.А., Білоног О.Є., Дмитриченко А.М., Петунін А.В., Срібна Н.В., Третиниченко Ю.О.. Портфельно-орієнтоване управління в організаційних мережах. Монографія. – Київ: Міленіум, 2021. – 223 с.
4. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – First Edition, Project Management Institute Inc, 2006, 79 p.

5. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Second Edition, Project Management Institute Inc, 2008, 146 p.
6. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Third Edition, Project Management Institute Inc, 2013, 121 p.
7. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Fourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017, 140 p.
8. Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge Seventh Edition and The Standar, Project Management Institute Inc, 2021, 274 p.
9. Воркут Т. А. Проектний аналіз: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за напрямом “Транспортні технології”. Київ: Український центр духовної культури, 2000. 440 с.
10. Radulescu Z., Radulescu M., Project Portfolio Selection Models and Decision Support. SIG December 2001. Number Studies in Informatics and Control vol.10(4):275-286
11. Маляревський Є., Бараннік В. Громадські бюджети як перспективний інструмент розвитку громад і територій: аналітична записка. НІСД, ЦРД. Київ, 2022. Режим доступу: <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2021-11/hromadski-budzhety.pdf>.
12. Донос Л., Плоский К. Упровадження та вдосконалення Громадського бюджету: практичні рекомендації. URL: https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/485/Public_Budget_2019.pdf
13. Хуткий Д., Аврамченко К. Оцінка впливу бюджету участі в Україні. URL: https://www.researchgate.net/publication/337783487_Ocinka_vplivu_budzetu_ucasti_v_Ukraini
14. Сибірська Ю., Венцель В., Слободян Р. Результати запровадження та реалізації бюджету участі в об'єднаних територіальних громадах у 2019 році. URL: <https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/581/Participatorybudget.pdf>
15. EGAP: Дослідження розвитку інструменту “Громадський бюджет” у містах України. Аналітичний звіт. 2020 р.
16. Vorkut T.A, Bozhok Y.O., Lushchai Y.V., Petunin A.V., Kharuta V.S. Public Participation Project Management in the Context of Portfolio Management. *International Journal of Innovative Technologies in Economy*, (1(41)). https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijite/30032023/7943
17. Платформа була запущена влітку 2016 р. за допомоги USAID. З 2018 р. компанія SocialBoost почала переводити «Громадський проект» на комерційну модель URL: <https://pb.org.ua/>. Станом на 2021 р. платформою користуються понад 90 міст та територіальних громад. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2019/05/03/yak-gromadskyj-byudzheth-stav-komertsijnym-proektom-i-yaki-mista-za-nogoplatyat/>
18. Платформа була запущена в 2018 р. за допомоги Фонду Східна Європа та Державним агентством з питань електронного урядування України (нині – Міністерство цифрової трансформації України) в межах Програми «Електронне урядування задля підзвітності влади та участі громади» (EGAP), що фінансується Швейцарською агенцією розвитку та співробітництва. Станом на червень 2021 р. платформою користуються понад 245 територіальних громад. URL: <https://budget.e-dem.ua/>.

CONCEPTUAL PRINCIPLES OF FORMATION OF A PORTFOLIO OF PUBLIC PARTICIPATION PROJECTS

Tatyana Vorkut, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Dr.Sci.Tech., National Transport University, Kyiv, Ukraine, vorkutt@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0003-0354-476X>.

Yuliya Bozhok, National Transport University, Kyiv, Ukraine, bozhok2008@bigmir.net, <http://0000-0002-0404-0961>.

Andrii Petunin, PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, petunin.andrew@gmail.com, <http://0000-0002-8072-6842>.

Vitaly Kharuta, PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kharuta_vitaliy@ukr.net, <http://0000-0002-8897-7558>.

Abstract. The relevance of the research topic is determined by the need for improvement and further development of methodological approaches to the management of project portfolios, in terms of the formation of the latter based on the issues of public participation project management.

The subject of the research is the methods, models, mechanisms and standards of project portfolio formation, considered in the context of public participation project portfolio formation.

The object of research is the process of managing public participation projects.

Research methodology. The research was conducted according to the practice of managing public participation projects in the territorial communities of cities - regional centers - of Ukraine, as well as the city of Kyiv in 2016–2021. The method of scientific identification and comparative analysis was used in the formation of the conceptual basis of the research, as well as in the analysis of scientific works; when developing the concept of forming a portfolio of public participation projects - abstract-logical method, case method; with the development of models for determining the optimal composition of the portfolio of public participation projects - the method of integer programming, methods of evaluating the effectiveness of investment projects, the concept of the value of money over time.

Keywords: project management, project portfolio, management of project portfolios, portfolio-oriented management, public participation projects, public project, public budget.

References

- [1] The Kyiv City Council Decision On Approval of the Regulations on the Public Budget of the City of Kyiv, December 22, 2016 with changes and amendments. On-line access: <https://kmr.gov.ua/uk/provisions-public-budget>.
- [2] Kyiv's Public Budget. Data on projects within the year 2020. On-line access: <https://wiki-projects.kyivcity.gov.ua/pages/viewpage.action?pageId=28180652#tab-2020>.
- [3] Vorkut T.A., Bilonoh O.Ye., Dmytrychenko A.M., Petunin A.V., Sribna N.V., Tretynychenko Yu.O. (2021) Portfolio Management in Organizational Networks. Monograph – Kyiv: Milenium, 223 p.
- [4] Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – First Edition, Project Management Institute Inc, 2006, 79 p.
- [5] Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Second Edition, Project Management Institute Inc, 2008, 146 p.
- [6] Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Third Edition, Project Management Institute Inc, 2013, 121 p.
- [7] Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Fourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017, 140 p.

- [8] Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge Seventh Edition and The Standar, Project Management Institute Inc, 2021, 274 p.
- [9] Vorkut T. A. (2000) Project Analysis: a Study Guide for Students of Higher Educational Institutions Studying "Transport Technologies". Kyiv: Ukrainian Center of Spiritual Culture, 2000. 440 p.
- [10] Radulescu Z., Radulescu M., Project Portfolio Selection Models and Decision Support. SIG December 2001. Number Studies in Informatics and Control vol.10(4): 275-286.
- [11] Maliarevskiy Ye., Barannik V. (2022) Public Budgets as a Promising Tool for the Development of Communities and Territories: an Analytical Note. NISD, CDR. Kyiv. Retrieved from <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2021-11/hromadski-budzhety.pdf>.
- [12] Donos L., Ploskiy K. Uprovadzhennia ta vdoskonalennia Hromadskoho biudzhetu: praktychni rekomendatsii [Implementation and Improvement of the Public Budget: Practical Recommendations]. Retrieved from https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/485/Public_Budget_2019.pdf
- [13] Khutkyi D., Avramchenko K. Assessment of the Impact of the Participation Budget in Ukraine. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/337783487>
- [14] Sybirska Yu., Ventsel V., Slobodian R. Results of the Introduction and Implementation of the Participation Budget in the United Territorial Communities in 2019. Retrieved from <https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/581/Participatorybudget.pdf>
- [15] EGAP: Doslidzhennia rozvytku instrumentu "Hromadskiy biudzhety" u mistakh Ukrainy. Analitichnyi zvit (2020) [EGAP: Research on the Development of the "Public Budget" Tool in Ukrainian Cities. Analytical Report]. Retrieved from <http://sg.vn.ua/wp-content/uploads/2021/01/Gromadskyj-byudzhety.pdf>
- [16] Vorkut T.A, Bozhok Y.O., Lushchai Y.V., Petunin A.V., Kharuta V.S. Public Participation Project Management in the Context of Portfolio Management. *International Journal of Innovative Technologies in Economy*, (1(41). https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijite/30032023/7943
- [17] The Platform was Launched in the Summer of 2016 with the Help of USAID. Since 2018, the SocialBoost Company has Begun to Transfer the "Public Project" to a Commercial URL: <https://pb.org.ua/>. As of 2021, More than 90 Cities and Territorial Communities Use the Platform. Retrieved from <https://hmarochos.kiev.ua/2019/05/03/yak-gromadskyj-byudzhety-stav-komertsijnym-proektom-i-yaki-mista-za-nogoplatyat/>
- [18] [The Platform was Launched in 2018 with the Help of the Eastern Europe Foundation and the State Agency for e-Governance of Ukraine \(now the Ministry of Digital Transformation of Ukraine\) within the Framework of the "E-Governance for Government Accountability and Community Participation" Program \(EGAP\) funded by the Swiss Development Agency and cooperation. As of June 2021, more than 245 Territorial Communities use the Platform.](#) Retrieved from <https://budget.e-dem.ua/>.

УДК 621.879

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-151-161

УДК 621.879

**ОПТИМІЗАЦІЯ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ ЗЕМЛЕРИЙНОЇ
МАШИНИ**

**OPTIMIZATION OF THE LIFTING MECHANISM FOR THE WORKING EQUIPMENT OF
AN EARTHMOVING MACHINE**



Високович Євген Вадимович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: y.vysokovych@ntu.edu.ua, тел.: +380677537367,

<https://orcid.org/0000-0002-6522-4537>



Коваль Андрій Борисович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: kandr6104@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0003-1295-8200>, SCOPUS id 57220055768



Пасенко Юрій Васильович, аспірант кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: 280bar@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-2986-8781>



Рагулін Віталій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, e-mail: ragulinrvm@ukr.net, тел.: +380972957392,

<https://orcid.org/0000-0003-2083-4937>, SCOPUS id 57224351936



Тополь Олександр Сергійович, студент, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: topolsasha@gmail.com, тел.: +380731387873

<https://orcid.org/0009-0002-9702-430X>

Анотація: В статті розглянуто питання оптимізації конструктивних параметрів механізму підйому рами робочого обладнання універсальної роторної землерийної траншейно-котлованної машини безперервної дії для зменшення зусиль в його гідроциліндрах за умови збереженні заданої кінематики механізму.

Конструктивно механізми підйому-опускання робочого обладнання виконані у варіанті розташування гідроциліндра над стрілою (рамою) і для підйому робочого обладнання рідина подається в штокову порожнину гідроциліндра.

Сформульована задача оптимізації полягає у потребі спроектувати механізм, який міг би займати задані початкове та кінцеве положення та розвивати водночас мінімальне пікове зусилля на штоку гідроциліндра. Як відомо, така задача на пошук мінімального значення із ряду максимальних, називається задачею на «мінімакс». Як змінні проектні параметри обрано лінійні відстані від вісі обертання ґрунторозробного робочого органа до місць кріплення гідроциліндра та конструктивний кут; визначено цільову функцію. Викладено розрахункові залежності для визначення проектних параметрів та зусиль на штоку гідроциліндра. Додатково введено обмеження діапазону значень параметру конструктивного кута.

Для проведення розрахунків використовувався табличний процесор MS Excel з надбудовою «Пошук рішення» (Solver).

В результаті проведеної оптимізації для фізичної моделі робочого обладнання універсальної роторної землерийної траншейно-котлованної машини безперервної дії знайдено параметри розташування місць кріплення гідроциліндра підйому робочого обладнання, що забезпечують зменшення навантаження на гідроциліндрах у 1,39 рази та збереження заданої кінематики механізму.

Запропоновану методику можна рекомендувати до використання у розрахунках механізмів підйому інших механізмів, де циліндр розташований над стрілою і для підйому робочого обладнання коли рідина подається в штокову порожнину гідроциліндра.

Ключові слова: гідроциліндр, землерийна машина, зусилля, робоче обладнання, силовий розрахунок, програмне забезпечення, шарнірно-важільний механізм

Вступ. Переважна більшість сучасних будівельних та землерийних для приводу робочого обладнання машин використовують гідроциліндри, які є одним із самих дорогих елементів робочого обладнання. Причому їх вартість і вага в значній мірі залежать від зусиль на штоку. Виходячи з цього, під час проектування механізму важливо мати можливість вибрати таке положення шарнірів гідроциліндра, за якого зусилля на штоку буде мінімальним.

Задача найбільш актуальна для механізмів підйому-опускання стріл або всього робочого обладнання з робочого в транспортне положення оскільки циліндри в цих механізмах сприймають вагу всього робочого обладнання і найбільше навантажені. Прикладом такого механізму є механізм підйому робочого обладнання універсальної роторної землерийної траншейно-котлованної машини безперервної дії. Експериментальні дослідження фізичної моделі робочого обладнання такої машини (рисунки 1) проведені на ґрунтовому каналі кафедри інженерії машин транспортного будівництва Національного транспортного університету в режимах розробки робочим обладнанням траншей різної ширини.

Дослідження роботи на сталих режимах роботи машини не висували особливих вимог до механізму підйому-опускання робочого обладнання, однак подальшим напрямком досліджень є процес спорудження в'їзних і виїзних апарелей котлованів, під час якого підйом і опускання робочого обладнання є не допоміжною операцією, а елементом основного робочого процесу з високими вимогами до точності позиціонування робочого обладнання [1, 2]. Позаяк машина створюється як машина подвійного використання: для спорудження протяжних виїмок у цивільному будівництві і для забезпечення фортифікаційного облаштування позицій військ і бойової техніки, то проблеми забезпечення надійної роботи всіх вузлів і механізмів робочого обладнання машини є надзвичайно актуальними.

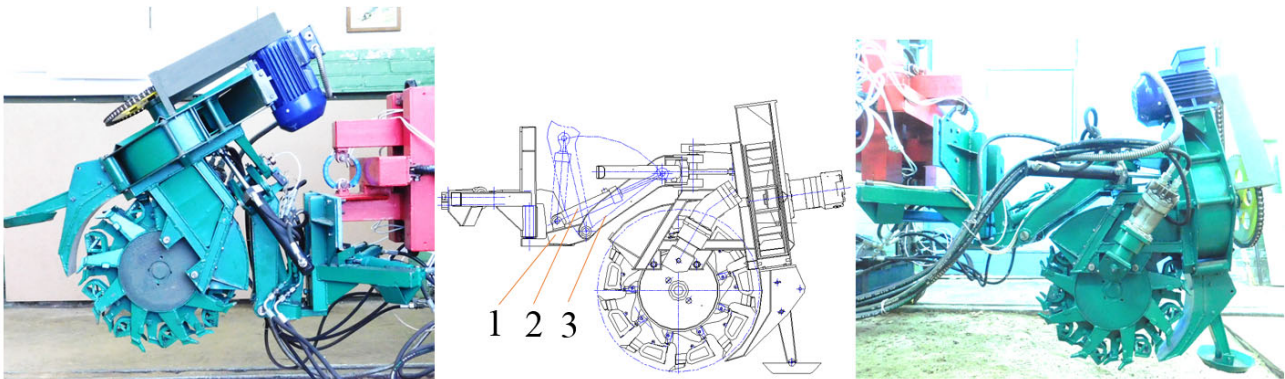


Рисунок 1 – Фізична модель робочого обладнання:

1 – передня рама; 2 – проміжна рама; гідроциліндр підйому.

Figure 1 – Physical model of working equipment:

1 – front frame; 2 – intermediate frame; hydraulic lift cylinder.

Аналіз результатів досліджень і публікацій. В основу методик розрахунків положення кріплення робочого обладнання можуть бути покладені плоскі [3] та тривимірні [4–6] розрахункові схеми, що пропонують прикладати зовнішні навантаження в площині поздовжніх осей гідроциліндрів, що управляють.

Конструктивно механізми підйому-опускання робочого обладнання можуть бути виконані в двох варіантах:

- 1) циліндр розташований під стрілою (рамою) і підйом робочого обладнання здійснюється подачею тиску в поршневу порожнину гідроциліндра;
- 2) циліндр розташований над стрілою (рамою) і для підйому робочого обладнання рідина подається в штокову порожнину гідроциліндра.

Розв'язання задачі для першого варіанта зустрічається в літературі, наприклад, у [7–9]. У той же час, другий варіант розташування циліндра ще більш гостро ставить питання пошуку раціонального розташування точок кріплення циліндра. Це пояснюється тим, що площа штокової порожнини менша за площу поршневої і для реалізації потрібної сили в другому варіанті потрібен циліндр більшого діаметру і ваги.

Сучасні методики використовують різні підходи до проектування параметрів важільних механізмів. Зазвичай пропонують підбирати параметри встановлення гідроциліндрів, по аналогії з існуючими механізмами [10, 11], близькими за типорозміром, з подальшою перевіркою, яка зводиться до графічних побудов вручну, що займає багато часу.

З розвитком CAD-систем і технологій 3D-моделювання останнім часом з'явилося багато робіт, присвячених симуляції роботи гідравлічних універсальних екскаваторів [12–15]. Роботи [12–14] направлені на створення систем автоматичного або дистанційного управління роботою екскаватора. Вивченню компонентів екскаватора з метою виявлення проблем, які виникають під час виконання операцій підйому та копання, і надання проектного рішення за допомогою систем CAD-CAE присвячено роботу [15]. Використання методик, запропонованих в цих роботах, ускладнюється необхідністю створення 3D-моделей механізмів для кожного варіанту, що перевіряється.

Також до уваги взяті підходи до вирішення питання синтезу параметрів базової геометрії робочого обладнання однокішєвих екскаваторів [16] та автоматизації розрахунку робочого обладнання машин з використанням теорії граф [17].

Мета дослідження. Оптимізувати конструктивні параметри механізму підйому рами (стріли) робочого обладнання універсальної роторної землерийної траншейно-котлованної машини

безперервної дії для зменшення зусиль в його гідроциліндрах за умови збереженні заданої кінематики механізму.

Основна частина. Розрахункова схема механізму підйому-опускання робочого обладнання для загального випадку показана на рис. 2. Як видно стріла (проміжна рама підйому робочого обладнання, див. рис. 1) тут не прямолінійна, а зігнута на певний конструктивний кут, що дуже часто зустрічається на екскаваторах, обладнаних зворотною лопатою. Усі подальші викладки будуть справедливі і для прямолінійних стріл, у яких конструктивний кут буде прийматись нульовим.

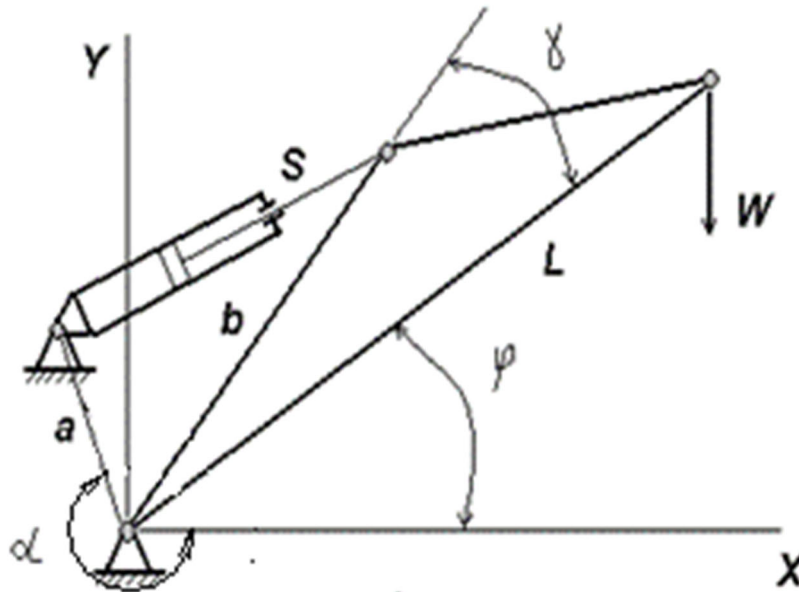


Рисунок 2 – Схема до розрахунку оптимальних параметрів підйомного механізму.

Figure 2 – Scheme for calculating the optimal parameters of the lifting mechanism.

Сформулюємо задачу оптимізації. Треба спроектувати механізм, який міг би займати початкове ($\varphi_{\min}$) та кінцеве ($\varphi_{\max}$) положення та розвивати водночас мінімальне пікове зусилля T на штоку гідроциліндра. Як відомо, така задача на пошук мінімального значення із ряду максимальних, називається задачею на «мінімакс».

Таким чином в нашому випадку задача оптимізації включає:

- змінні проектні параметри a, b, β ;
- цільову функцію $T = T_{\min}(T_{\max}(\varphi), a, b, \beta)$.

Зусилля на штоку T для верхнього варіанту розташування гідроциліндра можна визначити із умови рівноваги:

$$T = \frac{LW \cos \varphi \sqrt{k_2 - k_1 \cos(2\pi - (\beta + \varphi))}}{ab \sin(2\pi - (\beta + \varphi))}, \quad (1)$$

де $k_1 = 2ab$;

$$k_2 = a^2 + b^2;$$

L – довжина стріли;

W – вага вантажу;

β – конструктивний кут, що дорівнює сумі кутів α та γ ;

a, b – розміри, що показані на рис. 2.

Зв'язок між лінійними геометричними параметрами можна знайти за теоремою косинусів:

$$k_1 \cos(2\pi - (\beta + \phi)) - k_2 = S^2, \quad (2)$$

де S – довжина гідроциліндру.

Тоді, під час зміни положення стріли від мінімального до максимального кутів справедливі обмеження-рівності:

$$k_1 \cos(2\pi - (\beta + \phi_{min})) - k_2 = -S_{min}^2; \quad (3)$$

$$k_1 \cos(2\pi - (\beta + \phi_{max})) - k_2 = -S_{max}^2. \quad (4)$$

Розв'язавши одержану систему рівнянь відносно k_1 та k_2 , знайдемо:

$$k_1 = \frac{S_{min}^2 - S_{max}^2}{\cos(2\pi - (\beta + \phi_{max})) - \cos(2\pi - (\beta + \phi_{min}))}; \quad (5)$$

$$k_2 = k_1 \cos(2\pi - (\beta + \phi_{max})) + S_{max}^2. \quad (6)$$

Тоді два з трьох проектних параметрів a та b можна представити в наступному вигляді:

$$a = \frac{k_1}{2b}; \quad (7)$$

$$b = \sqrt{\frac{k_2 + \sqrt{k_2^2 - k_1^2}}{2}}. \quad (8)$$

Залишається один параметр β . Таким чином, одержана задача одновимірної оптимізації зусилля T в залежності від одного проектного параметру.

Додатково належить відмітити, що для запобігання перевертання в безкінечність цільової функції необхідно обмежувати діапазон значень параметру β :

$$\pi - \phi_{min} \leq \beta \leq 2\pi - \phi_{max}. \quad (9)$$

Для проведення розрахунків використовувався табличний процесор MS Excel з надбудовою «Пошук рішення» (Solver).

Лист з розрахунком для фізичної моделі робочого обладнання універсальної роторної землерийної траншейно-котлованної машини безперервної дії, представлений на рис. 3.

В комірки A4:F4, виділені жовтим кольором, вносяться вихідні дані:

- найменший і найбільший кут підйому стріли;
- найменша та найбільша довжина гідроциліндру підйому РО;
- довжина стріли (рами);
- вага РО.

Слід зазначити, що останні два параметри не вплинуть на знайдені в результаті оптимізації координати кріплення циліндру. Але щоб отримати одночасно абсолютне значення сили в циліндрі, бажано правильно задати і ці параметри.

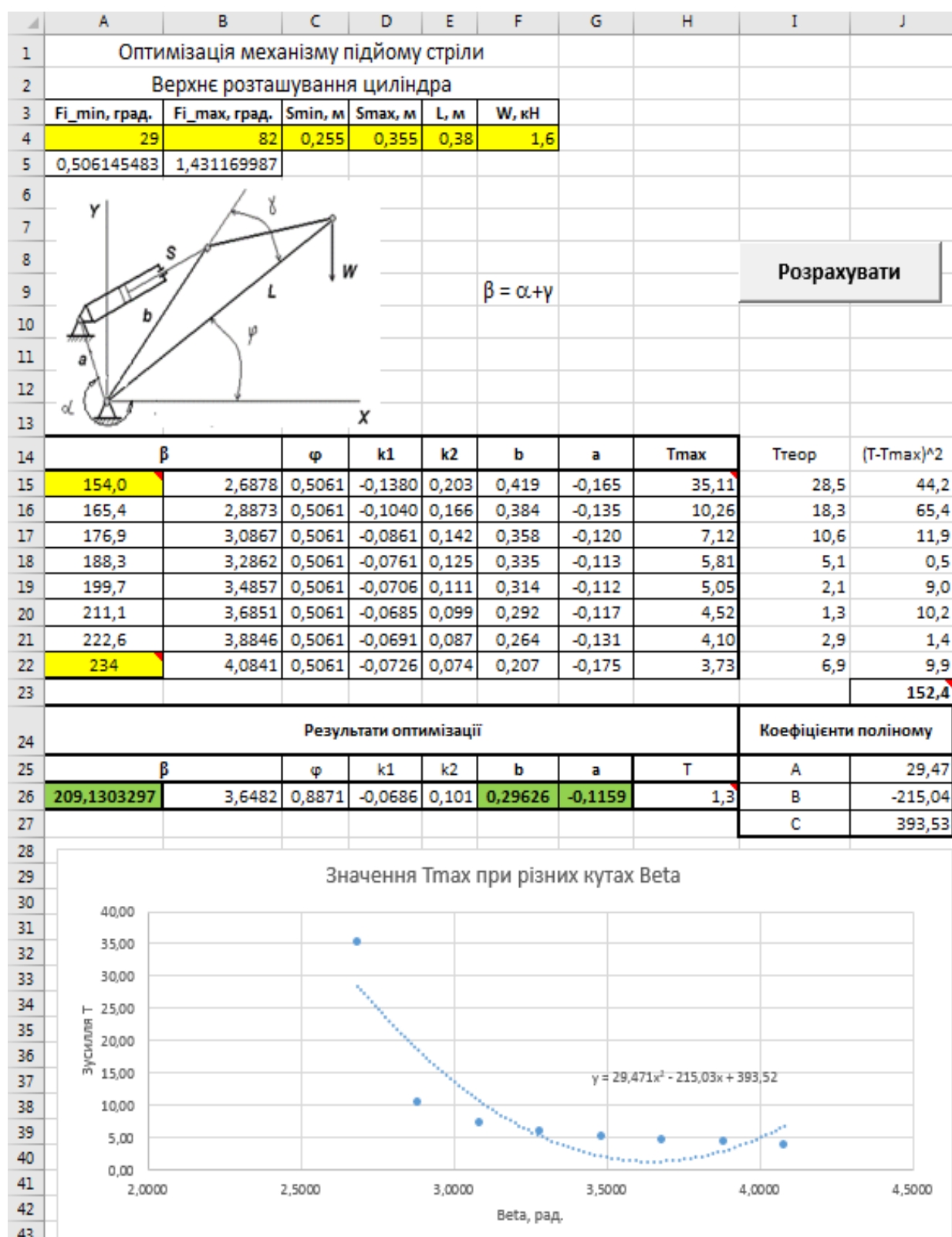


Рисунок 3 – Лист Excel з розрахунком для фізичної моделі машини.
 Figure 3 – Excel sheet with the calculation for the physical model of the machine.

- пошук максимальних T (комірки H15:H22) підбором φ (C15:C22) для кожного значення шуканого кута β ;

- В результаті проведеної оптимізації для фізичної моделі робочого обладнання універсальної роторної землерийної траншейно-котлованної машини безперервної дії отримано оптимальне значення кута $\beta = 209,13^\circ$.

— змінити положення кріплення провухсини циліндра, що розташована на передній рамі робочого обладнання, згідно до розрахункових значень ($\alpha = \beta = 209^\circ, a = 116 \text{ мм}$) рисунок 4;

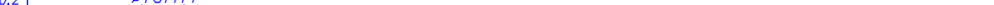
- 



Figure 4 – Corrected drawing of the front frame of the lifting mechanism.

Висновки та рекомендації

1. Сформульовано задачу оптимізації механізму підйому – опускання робочого обладнання як пошук мінімального значення зусилля на штоку гідроциліндра із ряду максимальних.
2. Запропоновано проводити розрахунки з використанням залежностей (1) – (8) з урахуванням обмежень (9) у табличному процесорі MS Excel з надбудовою «Пошук рішення» (Solver).
3. В результаті проведеної оптимізації для фізичної моделі робочого обладнання універсальної роторної землерийної траншейно-котлованної машини безперервної дії знайдено параметри розташування місць кріплення гідроциліндра підйому-опускання робочого обладнання, що забезпечує зменшення навантаження на гідроциліндрах у 1,39 рази та збереження заданої кінематики механізму.
4. Запропоновану методику можна рекомендувати до використання у розрахунках механізмів підйому інших механізмів, де циліндр розташований над стрілою і для підйому робочого обладнання рідина подається в штокову порожнину гідроциліндра.

Перелік посилань

1. Мусійко В.Д., Коваль А.Б., Лазарук Ю.В. Проблеми, напрямки та перспективи створення і модернізації землерийних машин безперервної дії спеціального призначення. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. Київ, 2021. Вип. 48. С. 223-232. DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-223-232.
2. Мусійко В.Д., Коваль А.Б., Лазарук Ю.В., Пасенко Ю.І. Підвищення продуктивності та розширення технологічних можливостей універсальних землерийних машин удосконаленням кінематики переміщення їх робочих органів в забої. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник. Київ, 2023. Вип. 114. Частина 2. С. 230-244. DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.2-230-244.
3. Ковалевський С. Г., Білякович М. О. Дослідження міцності робочого обладнання малогабаритного навантажувача. Вісник ХНАДУ. Харків, 2023. Вип. 101. т.2, С. 40–45. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.40.
4. Гурко О. Г., Доля Ю. О. Дослідження параметрів руху автогідропідіймача з обертальними зчленуваннями. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. Запоріжжя, 2016, №2, С. 121-126.
5. Рагулін В.М., Ярижко О.В., Назарько О.О. Комп'ютерне моделювання як метод та засіб удосконалення будівельних машин. Міжвідомчий науково-технічний збірник "Прикладна геометрія та інженерна графіка". Випуск 102. Київ, 2022. С. 181–187. DOI: <https://doi.org/10.32347/0131-579x.2022.102>.
6. Шевченко В. О., Рагулін В. М., Ходирев С.Я. Дослідження навантаження модернізованого механізму підвіски тягової рами автогрейдера сімейства ДЗк-250./ Вісник ХНАДУ. Харків, 2019. Вип. 87. С. 18–23. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.87.0.18.
7. McCracken, D. D., & Dorn, W. S. (1968). Numerical methods and FORTRAN programming : with applications in engineering and science (Second corrected printing). Wiley.
8. Forsythe, G. Elmer, Malcolm, M. A, & Moler, C. Barry. (1977). Computer 9. methods for mathematical computations. Englewood Cliffs (N.J.): Prentice-Hall.
9. Metcalf, M. (1982). FORTRAN optimization. London.
10. Сукач М.К., Горбатюк Є.В. Марченко Г.А. Синтез землерийної і дорожньої техніки: підручник. За ред. д.т.н., проф. М.К. Сукача. Київ, 2013. 376 с.
11. Хмара Л.А. Іноваційне телескопічне робоче обладнання однокішшевих екскаваторів / Л.А. Хмара, О.О. Дахно. Дніпро, 2017. 170 с.
12. Bin Zhang. Research on Trajectory Planning and Autodig of Hydraulic Excavator. URL: <https://downloads.hindawi.com/journals/mpe/2017/7139858.pdf> DOI: 10.1155/2017/7139858
13. Md Rakibul Islam. Research Progress Of Kinematic Analysis Of Hydraulic Excavator. URL: https://www.researchgate.net/profile/Md-Rakibul-Islam-7/publication/349724431_research_progress_of_kinematic_analysis_of_hydraulic_excavator/links/603e9171

a6fdcc9c780c6683/research-progress-of-kinematic-analysis-of-hydraulic-excavator.pdf.

DOI:10.13140/RG.2.2.29370.93120

14. Dongjae Lee, Inkyu Jang, Jeonghyun Byun, Hoseong Seo. Real-Time Motion Planning of a Hydraulic Excavator using Trajectory Optimization and Model Predictive Control. URL: <https://arxiv.org/pdf/2107.02366.pdf> DOI: 10.1109/iro51168.2021.9635965

15. Sachin B. Bende, Nilesh P. Awate. Design, modeling and analysis of excavator arm. International journal of design and manufacturing technology. 2013. Volume 4, Issue 2, pp. 14-20. https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJDMT/VOLUME_4_ISSUE_2/30320130402002.pdf.

16. Високович Є.В., Коваль А. Б. Синтез параметрів базової геометрії робочого обладнання однокішневих екскаваторів. Вісник ХНАДУ, 2022. вип. 99, с. 105-110. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2022.99.0.105

17. Високович Є.В., Коваль А. Б., Білякович М.О., Орел О.В. Автоматизація розрахунку робочого обладнання машин з використанням теорії графів. Вісник ХНАДУ, 2023 . вип. 101, т.1, с. 126-133. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.1.126.

18. Madhuki Thakur. WBA Solver. Educba Blog. <https://www.educba.com/vba-solver/>

OPTIMIZATION OF THE LIFTING MECHANISM FOR THE WORKING EQUIPMENT OF AN EARTHMOVING MACHINE

Yevhen Vysokovych, Candidate of Technical Science, National Transport University, Associate Professor, Department of the engineering of transport construction machines, y.vysokovych@ntu.edu.ua, +380677537367, <https://orcid.org/0000-0002-6522-4537>

Andrii Koval, Candidate of Technical Science, National Transport University, Associate Professor, Department of the engineering of transport construction machines, e-mail: kandr@i.ua, +380500240894, <https://orcid.org/0000-0003-1295-8200>

Yuri Pasenko, 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>

Vitaliy Ragulin, Candidate of Technical Science, Kharkiv National Automobile and Highway University, Associate Professor Department of Construction and Road-Building Machinery, e-mail: ragulinrvn@ukr.net, +380972957392, <https://orcid.org/0000-0003-2083-4937>

Oleksandr Topol, student of Department of engineering of transport construction machines, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: topolsasha@gmail.com, +380731387873, <https://orcid.org/0009-0002-9702-430X>

Summary. This paper addresses the optimization of the structural parameters of the lifting mechanism of the frame for the working equipment in a universal rotary earthmoving trenching and excavation machine operating continuously. The goal is to reduce the efforts in its hydraulic cylinders while maintaining the prescribed kinematics of the mechanism.

Structurally, the lifting mechanisms of the working equipment are designed with the hydraulic cylinder positioned above the boom (frame), and the fluid is supplied to the rod chamber of the hydraulic cylinder for lifting.

The formulated optimization task aims to design a mechanism that could reach initial and final positions while simultaneously developing minimal peak effort on the hydraulic cylinder rod. Known as a "minimax" problem, this task seeks the minimum value among a set of maximums. Variables chosen include the linear distances from the axis of rotation to the hydraulic cylinder attachment points and the structural angle; a target function is defined. Computational dependencies for determining the design parameters and the force on the hydraulic cylinder rod are presented. Additionally, a constraint on the range of values for the structural angle parameter has been introduced.

For calculations, a spreadsheet processor MS Excel with the "Solver" add-on was used.

As a result of the optimization for the physical model of the working equipment of the universal rotary earthmoving trenching and excavation machine operating continuously, the parameters for the positioning of the hydraulic cylinder attachment points were found to reduce the load on the hydraulic cylinders by 1.39 times while maintaining the prescribed kinematics of the mechanism.

The proposed methodology can be recommended for use in calculations of other lifting mechanisms where the cylinder is positioned above the boom and the fluid is supplied to the rod chamber of the hydraulic cylinder.

Keywords: hydraulic cylinder, earthmoving machine, force, working equipment, force calculation, software, link-lever mechanism

References

1. Musiyko V.D., Koval A.B., Lazaruk Yn.V. Problems, directions, and horizons in the creation and modernization of specialized continuously operating earthmoving machines. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. Kyiv, 2021. – Issue 48. p. 223-232. DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-223-232. [in Ukrainian].
2. Musiyko V.D., Koval A.B., Lazaruk Yu.V., Pasenko Yu.V. Increasing the efficiency and expanding the technological capabilities of the universal earth-moving machinery by improving the kinematics of the movement of their working body in the soil. Automobile roads and road construction. Scientific and technical journal. Kyiv, 2023. No. 114. Vol. 2. P. 230-244. DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.2-230-244. DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.2-230-244. [in Ukrainian].
3. Kovalevskiy Serhii, Biliakovych Mykola Studying the strength of a small-sized loader working equipment. [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University. Kharkiv, 2023. N. 101. Vol.2, P. 40–45. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.40.](#) [in Ukrainian].
4. Gurko A., Dolia Yu. Investigation of cherry-picker motion parameters with rotational joints. New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering. Zaporizhzhia, 2016. N 2. P. [121-126.](#) [in Ukrainian].
5. Ragulin Vitaliy, Yaryzhko Oleksandr, Nazarko Olga. Computer modeling as a method and means of improving construction machines. Applied geometry and engineering graphics. No 102. Kyiv, 2022. P. 181–187. DOI: <https://doi.org/10.32347/0131-579x.2022.102>. [in Ukrainian].
6. Shevchenko Valery, Ragulin Vitaliy, Khodyriev Serhii Studying the load of the upgraded traction frame suspension mechanism of the DZk-250 collection of the motor grader. [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University. Kharkiv, 2019. No. 87. P. 18–23. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.87.0.18.](#) [in Ukrainian].
7. McCracken, D. D., & Dorn, W. S. (1968). Numerical methods and FORTRAN programming : with applications in engineering and science (Second corrected printing). Wiley.
8. Forsythe, G. Elmer, Malcolm, M. A, & Moler, C. Barry. (1977). Computer 9. methods for mathematical computations. Englewood Cliffs (N.J.): Prentice-Hall.
9. Metcalf, M. (1982). FORTRAN optimization. London.
10. Sukach M.K., Horbatiuk E.V., Marchenko H.A. Syntez zemleryinoi I dorozhnoi tekhniki: pidruchnyk.(Synthesis of earthmoving and road engineering: textbook). Kyiv, 2013. 376 p. [in Ukrainian].
11. Khmara L.A., Dakhno O.O. Inovatsiine teleskopichne roboche obladnannia odnokedshevykh ekskavatoriv (Innovative telescopic working equipment of single-bucket excavator). Dnipro, 2017. 170 p.
12. Bin Zhang. Research on Trajectory Planning and Autodig of Hydraulic Excavator. URL: <https://downloads.hindawi.com/journals/mpe/2017/7139858.pdf> DOI: 10.1155/2017/7139858
13. Md Rakibul Islam. Research Progress Of Kinematic Analysis Of Hydraulic Excavator. URL: https://www.researchgate.net/profile/Md-Rakibul-Islam-7/publication/349724431_research_progress_of_kinematic_analysis_of_hydraulic_excavator/links/603e9171a6fddc9c780c6683/research-progress-of-kinematic-analysis-of-hydraulic-excavator.pdf. DOI:10.13140/RG.2.2.29370.93120

14. Dongjae Lee, Inkyu Jang, Jeonghyun Byun, Hoseong Seo. Real-Time Motion Planning of a Hydraulic Excavator using Trajectory Optimization and Model Predictive Control. URL: <https://arxiv.org/pdf/2107.02366.pdf> DOI: 10.1109/iros51168.2021.9635965.
15. Sachin B. Bende, Nilesh P. Awate. Design, modeling and analysis of excavator arm. International journal of design and manufacturing technology. 2013. Volume 4, Issue 2, pp. 14-20. https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJDMT/VOLUME_4_ISSUE_2/30320130402002.pdf
16. Vysokovych Ye. V., Koval A.B. Synthesis of basic geometry parameters of excavator working equipment. Bulletin Of Kharkiv National Automobile And Highway University, Kharkiv, 2022, issue 99, pp. 105-110. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2022.99.0
17. Vysokovych Ye. V., Koval A.B., Biliakovych M.O., Orel O.B. Automation of machines working equipment calculation using graph theory. Bulletin Of Kharkiv National Automobile And Highway University, Kharkiv, 2023. issue. 101, vol.1, pp. 126-133. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.1.126.
18. Madhuki Thakur. WBA Solver. Educba Blog. <https://www.educba.com/vba-solver/>.

УДК 629.113
УДК 629.113

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-162-173

ДО ПИТАННЯ ЩОДО КОМПЛЕКТАЦІЇ АВТОПОЇЗДА З ПРИЧЕПОМ КАТЕГОРІЇ O₂

TO THE ISSUE OF EQUIPPING A CATEGORY O₂ TRAILER TRAIN



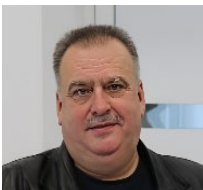
Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів.
e-mail: syp_40@ukr.net, тел. +38 0676655344,

<https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>



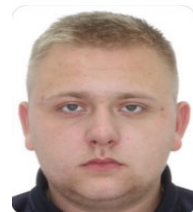
Онищук Василь Петрович, кандидат технічних наук, доцент, Луцький Національний технічний університет, завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій. e-mail: v.onyshchuk@lntu.edu.ua, тел. +38 0953905439

<https://orcid.org/0000-0002-5316-408X>



Стельмашук Валерій Віталійович, кандидат технічних наук, доцент, Луцький національний технічний університет, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій. email: v.stelmashchuk@lutsk-ntu.com.ua, тел. +38 0997317891

<https://orcid.org/0000-0003-3813-3143>



Стельмашук Станіслав Валерійович, аспірант другого року навчання кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: stanislav0077@ukr.net, тел. +38 0506330038

<https://orcid.org/0009-0009-6981-1040>

Анотація. За останні роки підприємствами та приватними виробниками України освоєно виробництво широкої гами причіпної техніки. На сьогодні виробниками причепів представлений широкий асортимент різноманітних конструкцій, зокрема такі, що мають великі розміри та міцні борти. Завдяки цьому в пристроях можна перевозити не тільки об'ємні вантажі, але й ті, що не рекомендуються до транспортування в салоні автомобіля. Причіп, зокрема багатофункціональний, стане незамінним при перевезенні будівельних матеріалів, вивезенні сміття та інших відходів після ремонту, транспортуванні важкого приладдя, офісних та побутових меблів тощо.

При виготовленні багатофункціональних причепів типу **ПВБФ використовуються основні** комплектуючі вироби (ходова і гальмова системи, зчіпні пристрої, стоянкові стояки, лебідки, елементна база закріплення бортів та дверей і т.і.) виробництва фірм «Knott», «AI-Ко Kober», «Reynolds transport systems (Europe)», «Aluvan» та ін., які відповідають сучасним сертифікаційним вимогам. Для цих причепів визначені узагальнюючі характеристики масових і габаритних параметрів п'яти основних груп типорозмірного ряду, що розрізняються за повною масою (1500, 2000,.....3500 кг) і базою причепа (2500....5000 мм). Приймаючи до уваги, що маса причепа не повинна перевищувати масу тягового автомобіля, для кожної групи типорозмірного ряду можна підібрати свій тяговий автомобіль.

При виборі тягового автомобіля слід виходити з умови забезпечення руху автопоїзда з максимальною швидкістю. За цієї умови визначена максимальна потужність двигуна тягового автомобіля для автопоїзда з повною масою причепа від 1500 до 3500 кг. Отримана потужність двигуна автопоїзда для усього типорозмірного ряду причепів значно менша реальної потужності двигуна тягових автомобілів. Тому тяговий автомобіль необхідно вибирати за масовими показниками із автомобілів, які експлуатуються в Україні.

Ключові слова: автомобіль, багатофункціональний причіп, автопоїзд, типорозмірний ряд, маса, швидкість, потужність

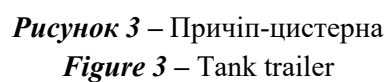
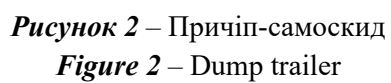
Вступ. За останні роки підприємствами та приватними виробниками України освоєно виробництво широкої гами причіпної техніки. Виробництво причіпної техніки обумовлено значним різновидом та специфічністю вантажів, необхідністю відповідати міжнародним вимогам по розмірам та масовим параметрам, по забезпеченню безпечних умов експлуатації. Організація цих вимог в комплексі визначає конструктивні особливості того чи іншого транспортного засобу. Розробка нових конструкцій причепів та оновлення уже освоєних конструкцій ведеться на високому технічному рівні, що досягається за рахунок модернізації та створення нових вузлів, агрегатів і систем, використання зарубіжних та вітчизняних комплектуючих і матеріалів.

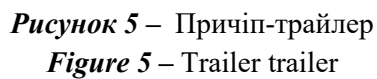
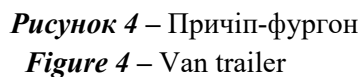
На сьогодні виробниками причепів представлений широкий асортимент різноманітних конструкцій, зокрема такі, що мають великі розміри та міцні борти. Завдяки цьому в пристроях можна перевозити не тільки об'ємні вантажі, але й ті, що не рекомендуються до транспортування в салоні автомобіля. Причіп стане незамінним при перевезенні будівельних матеріалів, вивезенні сміття та інших відходів після ремонту, транспортуванні важкого приладдя, офісних та побутових меблів тощо.

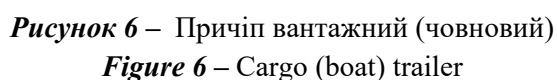
У зв'язку з впровадженням в Україні Правил ЄЕК ООН, необхідністю врахування Директив Європейського Союзу (ЄС) стосовно дорожніх транспортних засобів (ДТЗ), а також дотримання чинних міжнародних угод щодо вантажних перевезень змінились вимоги до автомобільних причепів та напівпричепів (АПН), зокрема вимоги щодо забезпечення стійкості автопоїзда як в тяговому так і в гальмівному режимі. Особлива увага при цьому приділяється причепам категорії O_1 і O_2 , які знайшли широке розповсюдження у приватному секторі.

Причепа категорії O_1 , це причепа з повною масою до 0,75 т, а причепа категорії O_2 — ті самі причепа та напівпричепа, (за винятком причепів категорії O_1) з повною масою до 3,5 т [1]. Ці причепа призначені до транспортування, як правило, пасажирськими автомобілями категорії $M1$ і вантажними автомобілями категорії $N1$, вибір яких є актуальним для споживачів.

Мета публікації полягає у виборі та обґрунтуванні потужності тягового автомобіля для автопоїзда з причепом категорії O_2 .





[illegible]

A black flatbed trailer with three axles is parked on a paved surface. The trailer has a flat deck and a low profile. It is positioned in front of a lush garden with various trees, including a large evergreen and a weeping willow, and a bed of pink and purple flowers. A person is visible standing near the flowers in the background. The scene is brightly lit, suggesting a sunny day.

Рисунок 7 – Причіп тривісний з рознесеними осями (а) і наближеними осями (б)
Figure 7 – Three-axle trailer with spread axles (a) and close axles (b)

У табл. 1 наведені основні параметри і розміри моделей причепів типу ПВБФ.

Таблиця 1 – Основні параметри і розміри моделей причепів типу **ПВБФ**
Table 1 – Main parameters and dimensions of models of trailers of the PVBF type

Назва параметру, розміру 1	Одиниця виміру 2	Норма для основних груп типорозмірного ряду				
		09	12	15	18	21
		3	4	5	6	7
1 Швидкість руху v_a по дорогам 1 і 2 категорій, не менше	км/год	90				
2 Діапазон величини номінальної вантажопідйомності $G_{н.пр}$	кг	900- -1100	1300- 1500	1700- 2000	2200- 2400	2600- 2800
3 Маса повна $G_{п.пр}$, не більше	кг	1500	2000	2500	3000	3500
4 Діапазон величини навантаження на зчіпну кулю $P_{зч.пр}$: – дозволеної – рекомендованої	Н (кгс)	240-980 (25-100) 540-980 (55-100)				
5 Діапазон висоти центра зчіпної кулі до о.п. $h_{зг.пр}$	мм	350-420				
6 Кількість ходових осей у ходовому візку	шт	2				
7 Кількість коліс	шт	4 + 1				
8 Діапазон величини бази: – причепа $L_{пр}$ – візка $L_{хв}$	мм	2500—5000 620—1000				
9 Діапазон величини колії $k_{к.пр}$	мм	1200—2200				
10 Вільна довжина дишла $\ell_{вдш.пр}$, не менше	мм	1100				
11 Діапазон величини навантажувальної висоти $h_{нав.пр}$	мм	550—1300				
12 Діапазон величини завантажувальної висоти $h_{зав.пр}$	мм	850—2000				
13 Мінімальний дорожній просвіт	мм	160				
14 Мінімальний кут заднього звису $\gamma_{з.пр}$	град	10				
15 Габаритна довжина $L_{габ.пр}$, не більше	мм	12000				

Назва параметру, розміру 1	Одиниця виміру 2	Норма для основних груп типорозмірного ряду				
		09	12	15	18	21
		3	4	5	6	7
16 Габаритна ширина $S_{\text{габ.пр}}$, не більше	мм	2300				
17 Габаритна висота $H_{\text{габ.пр}}$, не більше	мм	3000				
18 Граничні кути гнучкості автопоїзда, не менше: – у горизонтальній площині $\alpha_{\text{гн.а}}$ – у вертикальній повздовжній площині $\beta_{\text{гн.а}}$ – у вертикальній поперечній площині $\beta_{\text{гнп.а}}$	град	60 25 25				
19 Поперечна статична стійкість $h_{\text{цм.пр}}/k_{\text{к.пр}}$: – для усіх типів, крім самоскидів і цистерн	мм/мм	0,725				

Як слідує з даних табл. 1, загальна повна маса причепа знаходиться в межах 1500 – 3500 кг. Приймаючи до уваги, що маса причепа не повинна перевищувати масу тягового автомобіля, для кожної групи типорозмірного ряду можна підібрати свій тяговий автомобіль.

При виборі тягового автомобіля будемо виходити з умови забезпечення руху автопоїзда з максимальною швидкістю.

Потужність двигуна тягового автомобіля $N_{\text{ев}}$ можна визначити із рівняння потужнісного балансу автопоїзда при його русі зі швидкістю 25 м/с (90 км/год) [3]:

$$N_{\text{ев}} = \frac{m_a g \psi_v v_{\text{max}} + k_w A_{\text{л}} v_{\text{max}}^3}{1000 \eta_{\text{тр}}}, \quad (1)$$

де ψ_v – коефіцієнт опору дороги за максимальної швидкості v_{max} автомобіля; $\psi_v = 0,025$;

m_a – маса автопоїзда, $m_a = 2m_{\text{п}}$, де $m_{\text{п}}$ – маса причепа для кожної групи типорозмірного ряду; для п'ятого типорозмірного ряду $m_a = 5000$ кг;

v_{max} – максимальна швидкість руху автопоїзда, $v_{\text{max}} = 25$ м/с;

k_w – коефіцієнт опору повітря автопоїзда, $k_w = 0,45$ Нс²/м⁴;

$A_{\text{лпр}}$ – площа поперечного перерізу причепа ($A_{\text{лпр}} > A_{\text{ла}}$),

$A_{\text{лпр}} = B_{\text{габ.пр}} \times H_{\text{габ.пр}} = 6,9$ м²;

$\eta_{\text{тр}}$ – коефіцієнт корисної дії трансмісії тягового автомобіля, $\eta_{\text{тр}} = 0,92$.

На рис. 8 наведено графік залежності потужності двигуна тягового автомобіля від максимальної швидкості руху автопоїзда кожної групи типорозмірного ряду причепів.

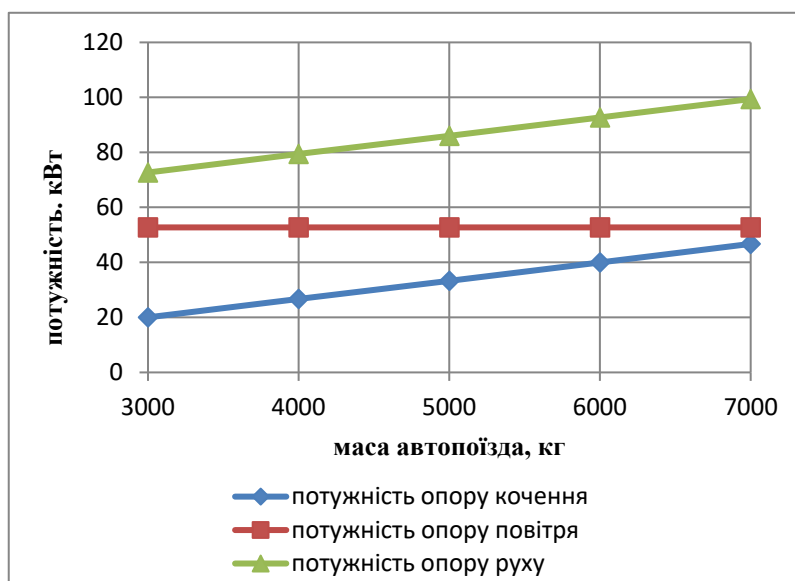


Рисунок 8 – Залежність потужності двигуна тягового автомобіля від маси автопоїзда
Figure 8 – Dependence of the engine power of the traction vehicle on the mass of the road train

Як слідує з наведеного графіка, отримана потужність двигуна значно менша реальної потужності тягових автомобілів. Тому тяговий автомобіль необхідно вибирати за масовими показниками із автомобілів, які експлуатуються в Україні.

Висновки і рекомендації

1. Визначені узагальнюючі характеристики масових і габаритних параметрів п'яти основних груп типорозмірного ряду багатофункціональних причепів, що розрізняються за повною масою (1500, 2000,.....3500 кг) і базою причепа (2500.....5000 мм). За умови, що маса причепа не повинна перевищувати масу тягового автомобіля, для кожної групи типорозмірного ряду необхідно підібрати свій тяговий автомобіль.

2. Визначена потужність двигуна автопоїзда для усього типорозмірного ряду причепів та показано, що вона значно менша реальної потужності двигуна тягових автомобілів. Тому не доцільно підбирати тяговий автомобіль для автопоїзда з причепом категорії О2 за потужністю двигуна.

3. Приймаючи до уваги, що маса причепа не повинна перевищувати масу тягового автомобіля, для кожної групи типорозмірного ряду тяговий автомобіль необхідно вибирати за його масовими показниками.

Перелік посилань

1. Xue-lian Zheng, Hao Zhang, Yuan-yuan Ren, Ze-hong Wei and Xi-gang Song. Rollover stability analysis of tank vehicles based on the solution of liquidsloshing in partially filled tanks//Advances in Mechanical Engineering 2017, Vol. 9(6) 1–26. DOI: 10.1177/1687814017703894
2. Wuhong W, Wei Z, Hongwei G, et al. A safety-basedbehavioural approaching model with various drivingcharacteristics. Transport Res C: Emer 2011; 19:1202–1214.
<https://doi.org/10.1177/1687814017703894>
3. [Tran Van Nhu](#), [Nguyen Xuan Ngoc](#), [Vu Van Tan](#), [Dang Tien Phuc](#) Rollover stability analysis of liquid tank truck taking into account the road profiles//[Journal of Applied Engineering Science](#) 2022, vol. 20, br. 4, str. 1133-1142
DOI: [10.5937/jaes0-36578](#)
4. M.F. Younes, Y.K. Younes, M. El-Madah, I.M. Ibrahim, E.H. El-Dannan
An experimental investigation of hydrodynamic damping due to vertical baffle arrangements in a rectangular tank//Proc. IMechE. Part M: J. Eng. Maritime Environ., 221 (2007), pp. 115-123
DOI:[10.1243/14750902JEME59](#)
5. Yukun Chen, Zehong Deng, Yueshe Wang FREE LIQUID SURFACE SLOSHING IN A TANK OF A MOVING VEHICLE AND ITS SUPPRESSION//InterfacPhenomHeatTransfer. Volume 8, Issue 2, 2020, pp. 147-163. DOI: 10.1615/InterfacPhenomHeatTransfer.2020034199
6. Theory and experiments on driving stability of tank trucks under dangerous working conditions/
Di Yu , Xiansheng Li , Hongfei Liu , Yuanyuan Ren , Jianghui Dong , Liping Wang//Journal of Vibroengineering, Vol. 17, Issue 5, 2015, p. 2521-2534.
<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=the+stability+of+tank-vehicles>
8. Rakheja, S. and Ranganathan, R., Estimation of the Rollover Threshold of Heavy Vehicles Carrying Liquid Cargo: a Simplified Approach, Heavy Vehicle Systems, Int. J. of Vehicle Design, Vol. 1, No. 1 pp. 79-98, 1993. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1993_207_185_02
8. Rakheja, S., Estimation of Rollover Threshold of Partially Filled Tank Trucks. Pro. Inst. Mech. Engrs, Vol. 205, Part D: Journal of Automobile Engineering, pp. 69-71, 1991.
https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1993_207_185_02
9. Bohn, P. F., Butler, M. C. and Dunkle, H. D. et al., Computer Simulation of the Effect of Cargo Shifting on Articulated Vehicles Performing Braking and Cornering Maneuvers, Vol. 1, Executive Summary, The John Hopkins University, May 1981
<https://trid.trb.org/view/172290>.
10. Шарнірно-зчленовані автобуси. Маневреність та стійкість: монографія//В.П. Сахно, В.М. Поляков, С.М. Шарай, І.С. Мурований, О.Є. Омельницькій. –Луцьк :ІВВ Луцького НТУ, 2021. - 288 с. ISBN 978-617-672-243-4.
11. Сахно В.П. До визначення параметрів закону управління причіпною ланкою шарнірно-зчленованого автобуса особливо великої місткості/ В.П.Сахно, О.А. Веремчук, М.І. Загороднов, В.М. Сондак В.М. // Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник ЦНЦ ТАУ. –2003. Окремий випуск №6. С.145-150.

TO THE ISSUE OF EQUIPPING A CATEGORY O2 TRAILER TRAIN

Volodymyr Sakhno, Doctor of Engineering Sciences, Professor, National Transport University, Head of Automobiles Department, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua, +38 0676655344, <https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7003877014>
<https://www.webofscience.com/wos/author/record/25153362>

Vasyl Onyshchuk, Ph.D., Associate Professor, Lutsk National Technical University, Head of the Department of Automobiles and Transport Technologies. tmail: v.onyshchuk@lntu.edu.ua, Tel: +38 0953905439.
<https://orcid.org/0000-0002-5316-408X>,
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57200140097>
<https://www.webofscience.com/wos/author/record/AEY-0109-2022>

Valeriy Stelmashchuk, Ph.D., Associate Professor, Lutsk National Technical University, Associate Professor at the Department of Automobiles and Transport Technologies. email:
v.stelmashchuk@lutsk-ntu.com.ua, Tel: +38 0997317891.
<https://orcid.org/0000-0003-3813-3143>

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193578438>
<https://www.webofscience.com/wos/author/record/AAB-4486-2019>

Stanislav Stelmashchuk, a second-year postgraduate student at the Department of Cars and Transport Technologies, Lutsk National Technical University. email: stanislav0077@ukr.net, Phone: +38 0506330038
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6981-1040>
<https://orcid.org/0000-0003-3813-3143>
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193578438>
<https://www.webofscience.com/wos/author/record/AAB-4486-2019>

Summary. In recent years, enterprises and private manufacturers of Ukraine have mastered the production of a wide range of trailers. Today, trailer manufacturers offer a wide range of various designs, including those with large dimensions and strong sides. Thanks to this, the devices can transport not only bulky goods, but also those that are not recommended for transportation in the car cabin. The trailer, in particular a multifunctional one, will become indispensable for the transportation of construction materials, the removal of garbage and other waste after repairs, the transportation of heavy equipment, office and household furniture, etc. In the production of multi-functional trailers of the PVBf type, the main component products (running and braking systems, coupling devices, parking risers, winches, element base for fixing sides and doors, etc.) manufactured by the companies "Knott", "AI-Ko Kober", "Reynolds transport systems (Europe)", "Aluvan", etc., which meet modern certification requirements. For these trailers, the general characteristics of the mass and dimensional parameters of the five main groups of the standard size series, which differ in gross weight (1500, 2000, ..., 3500 kg) and trailer base (2500...5000 mm), are defined. Taking into account that the weight of the trailer should not exceed the weight of the towing vehicle, you can choose your own towing vehicle for each group of the size series. When choosing a traction vehicle, you should proceed from the condition of ensuring the movement of the road train at maximum speed. Under this condition, the maximum engine power of the traction vehicle for a road train with a trailer weight of 1,500 to 3,500 kg is determined. The obtained power of the motor train engine for the entire standard-sized series of trailers is significantly less than the real power of the traction vehicle engine. Therefore, the traction vehicle must be selected based on mass indicators from the vehicles that are operated in Ukraine.

Keywords: car, multi-functional trailer, road train, standard size range, mass, speed, power

References

1. Xue-lian Zheng, Hao Zhang, Yuan-yuan Ren, Ze-hong Wei and Xi-gang Song. Rollover stability analysis of tank vehicles based on the solution of liquid sloshing in partially filled tanks//Advances in Mechanical Engineering 2017, Vol. 9(6) 1–26
DOI: 10.1177/1687814017703894
2. Wuhong W, Wei Z, Hongwei G, et al. A safety-based behavioural approaching model with various driving characteristics. Transport Res C: Emer 2011; 19:1202–1214.
<https://doi.org/10.1177/1687814017703894>
3. [Tran Van Nhu](#), [Nguyen Xuan Ngoc](#), [Vu Van Tan](#), [Dang Tien Phuc](#) Rollover stability analysis of liquid tank truck taking into account the road profiles//[Journal of Applied Engineering Science](#) 2022, vol. 20, br. 4, str. 1133-1142 DOI: [10.5937/jaes0-36578](#)
4. M.F. Younes, Y.K. Younes, M. El-Madah, I.M. Ibrahim, E.H. El-Dannanh
An experimental investigation of hydrodynamic damping due to vertical baffle arrangements in a rectangular tank//Proc. IMechE. Part M: J. Eng. Maritime Environ., 221 (2007), pp. 115-123
DOI: [10.1243/14750902JEME59](#)
5. Yukun Chen, Zehong Deng, Yueshe Wang FREE LIQUID SURFACE SLOSHING IN A TANK OF A MOVING VEHICLE AND ITS SUPPRESSION//InterfacPhenomHeatTransfer. Volume 8, Issue 2, 2020, pp. 147-163
DOI: 10.1615/InterfacPhenomHeatTransfer.2020034199
6. Theory and experiments on driving stability of tank trucks under dangerous working conditions/
Di Yu , Xiansheng Li , Hongfei Liu , Yuanyuan Ren , Jianghui Dong , Liping Wang//Journal of Vibroengineering, Vol. 17, Issue 5, 2015, p. 2521-2534.
<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=the+stability+of+tank+vehicles>
7. Rakheja, S. and Ranganathan, R., Estimation of the Rollover Threshold of Heavy Vehicles Carrying Liquid Cargo: a Simplified Approach, Heavy Vehicle Systems, Int. J. of Vehicle Design, Vol. 1, No. 1 pp. 79-98, 1993
https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1993_207_185_02
8. Rakheja, S., Estimation of Rollover Threshold of Partially Filled Tank Trucks. Pro. Inst. Mech. Engrs, Vol. 205, Part D: Journal of Automobile Engineering, pp. 69-71, 1991
https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1993_207_185_02
9. Bohn, P. F., Butler, M. C. and Dunkle, H. D. et al., Computer Simulation of the Effect of Cargo Shifting on Articulated Vehicles Performing Braking and Cornering Maneuvers, Vol. 1, Executive Summary, The John Hopkins University, May 1981 <https://trid.trb.org/view/172290>.
10. Articulated buses. Maneuverability and stability: a monograph//V.P. Sakhno, V.M. Polyakov, S.M. Sharay, I.S. Murovany, O.E. Omelnytskyi. – Lutsk: Lutsk National Technical University, 2021. - 288 p. ISBN 978-617-672-243-4.
11. Sakhno V.P. To determine the parameters of the control law of the trailing link of an articulated bus of particularly large capacity/ V.P. Sakhno, O.A. Veremchuk, M.I. Zagorodnov, V.M. Sondak V.M. // Highway of Ukraine. Installment. Herald of the Central TAU TAU. -2003. Separate issue №6. P.145-150.

УДК 338.02:69.003:004.89

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-174-182

UDC 338.02:69.003:004.89

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЧИННИКІВ ФОРМУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING OF THE FACTORS OF FORMATION AND USE OF THE INTELLECTUAL ECONOMIC SYSTEM OF CONSTRUCTION ENTERPRISES



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, тел. +38099-033-30-22,

<https://orcid.org/0000-0003-1822-4478>

Анотація: доведена актуальність теми щодо економіко-математичного моделювання чинників формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств. Запропоновано визначення інтелектуальної економічної системи як сукупності економічних, геопросторових, безпекових, соціальних компонентів, що розробляються шляхом застосування сучасних математичних методів і моделей, штучного інтелекту, інформаційно-аналітичного забезпечення та інструментарію й формують основу для прийняття управлінських рішень у контексті розвитку будівельних підприємств.

У результаті оцінки визначено посередній рівень інтегрального показника формування та використання інтелектуальної економічної системи на всіх будівельних підприємств. Це свідчить про посередні можливості щодо формування та використання інтелектуальної економічної системи, враховуючи економічні, геопросторові, безпекові, соціальні аспекти діяльності будівельних підприємств. Поряд з цим, для формування й реалізації інтелектуальної економічної системи виникає необхідність розробки відповідних науково обґрунтованих рекомендацій шляхом застосування інструментарію економіко-математичного моделювання для прогнозування змін інтегрального показника та його впливу на узагальнюючий чинник розвитку будівельних підприємств.

Розроблено науково-методичний підхід до визначення впливу чинників формування та використання інтелектуальної економічної системи на інтегральний показник на основі економіко-математичного моделювання, що дозволяє прогнозувати зміни узагальнюючого критерію для створення підґрунтя щодо розробки відповідних науково обґрунтованих рекомендацій.

За результатами числового експерименту економіко-математичного моделювання отримано висновок про те, що високий кореляційний зв'язок спостерігається між інтегральним показником

формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств й економічними і безпековими факторними ознаками. Побудовані для цих факторних ознак регресійні моделі є значущими та адекватними.

Ключові слова: будівельні підприємства, інтелектуальна економічна система, економіко-математичне моделювання, кореляційно-регресійний аналіз, прогнозування, розвиток, економічні, геопросторові, безпекові, соціальні чинники.

Вступ. Сучасні умови господарювання, накопичення негативних явищ, гальмування тенденцій основних показників функціонування підприємств, наслідки агресії РФ потребують переосмислення підходів до забезпечення їх розвитку. Представлені процеси проявляються на підприємствах будівельної сфери, які намагаються протидіяти кризовим явищам. Поряд з цим, формування та використання сучасних інтелектуальних економічних систем, враховуючи вплив економічних, геопросторових, соціальних і безпекових чинників із застосуванням інструментарію штучного інтелекту. Крім того, для створення кількісної основи щодо розробки та впровадження інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств застосовується економіко-математичне моделювання, як сучасний інструментарій встановлення причинно-наслідкових зв'язків.

Метою дослідження є встановлення причинно-наслідкових зв'язків між чинниками формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств методами економіко-математичного моделювання.

У цьому контексті вирішуються наступні завдання: визначення чинників формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств; реалізація економіко-математичного моделювання чинників формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств.

Отже, тема дослідження є актуальною і має важливого значення для розвитку будівельних підприємств.

В існуючих теоретичних положеннях відсутні єдині підходи до визначення інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств. Зокрема на функціональних аспектах та напрямках формування й реалізації інтелектуальних економічних системах зосереджують увагу [1–2]. На структурних компонентах системи фокусується увага у [3–5].

Для розвитку представлених систем формуються напрями реалізації інтелектуальної економіки та інтелектуальної компанії, де особливого значення має інформація [6]. Проблеми формування та використання інтелектуальних систем в економічних системах вирішуються у розробках [7–9].

Застосування інтелектуальних економічних систем призводять до трансформацій та формуванню нової парадигми розвитку, де застосовуються сучасний інструментарій й формуються «нові» економічні відносини [10–11]. У рамках визначених інтелектуальних системах виокремлюються чинники інтелектуального й людського капіталів [12]. Обґрунтовані потенційні можливості розробки та застосування інтелектуальних економічних систем [13].

Для розробки інтелектуальної економічної системи характеризуються інноваційні процеси, враховуючи особливості впливу інтелектуальних чинників.

Визначені фактори, що гальмують забезпечення інтелектуальної безпеки підприємства:

– відсутність дієвих організаційно-правових та економічних механізмів, спрямованих на захист об'єктів інтелектуальної власності та продуктів інтелектуальної діяльності;

– нестача стимулів до підвищення престижності розумової праці та зацікавленості носіїв інтелекту у плідній праці; недовістю організаційно-економічних заходів із питань відтворення інтелектуального потенціалу держави та його поступового зростання;

– висока ймовірність виникнення інтелектуальної кризи внаслідок критичного відставання України від провідних країн світу щодо залучення приватного бізнесу у фінансування науки, певною девальвацією морально-духовних цінностей і відсутністю пропагування високоморальних принципів та утвердження культурно-духовних й інтелектуальних цінностей у суспільстві [14, с. 137].

Узагальнюючи вищенаведене, запропоновано визначення інтелектуальної економічної системи як сукупності економічних, геопросторових, безпекових, соціальних компонентів, що розробляються шляхом застосування сучасних математичних методів і моделей, штучного інтелекту, інформаційно-аналітичного забезпечення та інструментарію й формують основу для прийняття управлінських рішень у контексті розвитку будівельних підприємств.

Поряд з цим, встановлено значне коло застосування економічних інформаційних систем, проте вони вирішують лише окремі питання функціонування суб'єктів. Відсутні комплексні економічні системи управління всіма видами ресурсів, автоматизація процесів їх формування та використання, враховуючи сучасний інструментарій штучного інтелекту, просторові аспекти діяльності суб'єктів господарювання, що особливо актуально у будівельній сфері. Тому, розробка запропонованої інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств вирішить актуальні питання, спрямованих на їх розвиток, застосовуючи сучасний інформаційний, аналітичний, економічний, геопросторовий, безпековий інструментарій та інструментарій штучного інтелекту.

Для побудови інтелектуальних економічних систем будівельних підприємств формується кількісна основа шляхом застосування економіко-математичного моделювання.

Виклад основного матеріалу. Для проведення економіко-математичного моделювання виокремлені чинники формування та застосування інтелектуальних економічних систем будівельних підприємств: економічні, геопросторові, безпекові, соціальні. Крім того, запропоновано теоретико-методологічний підхід до оцінки формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств, який включає сукупність взаємопов'язаних етапів:

– формування інформаційно-аналітичного забезпечення чинників формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств;

– виокремлення чинників формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств;

– побудова діагностично-аналітичної системи чинників;

– оцінка вагових коефіцієнтів на основі компетентностей експертів;

– визначення локальних чинників формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств;

– побудова моделей оцінки системних чинників;

– оцінка системних чинників формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств;

– побудова моделей оцінки узагальнюючих чинників;

– оцінка узагальнюючих чинників формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств;

– розробка моделі інтегрального чинника;

- визначення вагових коефіцієнтів шляхом застосування методу аналізу ієрархій;
- оцінка інтегрального чинника формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств;
- інтерпретація отриманих результатів.

Результати оцінки інтегрального показника формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств представлені у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати оцінки інтегрального показника формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств, відн. од. (розроблено автором)

Table 1 – The results of the assessment of the integral indicator of the formation and use of the intellectual economic system of construction enterprises, resp. unit (developed by the author)

Будівельне підприємство	Значення інтегрального показника
АТ «ХК «Київміськбуд»	5,725
ПрАТ «Житомирбуд»	5,251
ТОВ «Інтеграл-Буд»	4,764
ПАТ «Прикарпатбуд»	5,488
АТ «Трест Житлобуд-1»	5,638
АТ «КДБК»	5,195
ТОВ Будівельна компанія «Міськжитлобуд»	4,542
ТОВ «Житлобуд-2»	4,945

Економіко-математичне моделювання впливу чинників на інтегральний показник формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств здійснюється на основі результатів їх оцінки та наступними напрямками:

- побудова інформаційно-аналітичного забезпечення економіко-математичного моделювання;
- визначення коефіцієнтів кореляції та детермінації, що визначають вплив локальних чинників на інтегральний показник формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств;
- оцінка рівня значущості та достовірності встановлених зв'язків між локальними чинниками та інтегральним показником формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств на основі відповідних критеріїв;
- побудова економіко-математичних моделей залежності між системними чинниками та інтегральним чинником формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств;
- інтерпретація отриманих результатів.

Кореляційно-регресійний аналіз проведено для всіх сукупностей факторних та результативної ознаки. Результати числового експерименту представлені в табл. 2 – 5.

Таким чином, побудовані економіко-математичні моделі залежності між узагальнюючими чинниками та інтегральним показником формування й використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств:

$$I_K = 0,698xK_1 + 2,015, \quad (1)$$

$$I_K = -0,057xK_2 + 5,545, \quad (2)$$

$$I_K = 0,581xK_3 + 1,759, \quad (3)$$

$$I_K = 0,127xK_4 + 4,394. \quad (4)$$

Таблиця 2 – Результати кореляційно-регресійного аналізу узагальнюючого економічного чинника формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств, відн. од. (розроблено автором)

Table 2 – Results of the correlation-regression analysis of the generalizing economic factor of the formation and use of the intellectual economic system of construction enterprises, resp. unit (developed by the author)

Параметри моделі	Значення
Коефіцієнт кореляції	0,974
Коефіцієнт детермінації	0,949
Розрахункове значення t -критерія $t_{розр}$	10,565
Табличне значення t -критерія $t_{табл}$	2,447
Табличне значення стандарт. норм. распр	1,96
Значення перетворення Фішера	2,168
Розрахункове значення критерія Фішера $F_{розр}$	111,617
Табличне значення критерія Фішера $F_{табл}$	5,318
Параметр рівняння регресії a	2,015
Параметр рівняння регресії b	0,698

Таблиця 3 – Результати кореляційно-регресійного аналізу узагальнюючого геопросторового чинника формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств, відн. од. (розроблено автором)

Table 3 – Results of the correlation-regression analysis of the generalizing geospatial factor of formation and use of the intellectual economic system of construction enterprises, resp. unit (developed by the author)

Параметри моделі	Значення
Коефіцієнт кореляції	0,061
Коефіцієнт детермінації	0,004
Розрахункове значення t -критерія $t_{розр}$	0,151
Табличне значення t -критерія $t_{табл}$	2,447
Табличне значення стандарт. норм. распр	1,96
Значення перетворення Фішера	0,061
Розрахункове значення критерія Фішера $F_{розр}$	0,023
Табличне значення критерія Фішера $F_{табл}$	5,318
Параметр рівняння регресії a	5,545
Параметр рівняння регресії b	-0,057

Таблиця 4 – Результати кореляційно-регресійного аналізу узагальнюючого безпекового чинника формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств, відн. од. (розроблено автором)

Table 4 – Results of the correlation-regression analysis of the generalizing safety factor of the formation and use of the intellectual economic system of construction enterprises, resp. unit (developed by the author)

Параметри моделі	Значення
Коефіцієнт кореляції	0,754
Коефіцієнт детермінації	0,569
Розрахункове значення t -критерія $t_{\text{розр}}$	2,816
Табличне значення t -критерія $t_{\text{табл}}$	2,447
Табличне значення стандарт. норм. распр	1,96
Значення перетворення Фішера	0,983
Розрахункове значення критерія Фішера $F_{\text{розр}}$	7,927
Табличне значення критерія Фішера $F_{\text{табл}}$	5,318
Параметр рівняння регресії a	1,759
Параметр рівняння регресії b	0,581

Таблиця 5 – Результати кореляційно-регресійного аналізу узагальнюючого соціального показника формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств, відн. од. (розроблено автором)

Table 5 – Results of the correlation-regression analysis of the generalizing social indicator of the formation and use of the intellectual economic system of construction enterprises, resp. unit (developed by the author)

Параметри моделі	Значення
Коефіцієнт кореляції	0,041
Коефіцієнт детермінації	0,002
Розрахункове значення t -критерія $t_{\text{розр}}$	0,1
Табличне значення t -критерія $t_{\text{табл}}$	2,447
Табличне значення стандарт. норм. распр	1,96
Значення перетворення Фішера	0,041
Розрахункове значення критерія Фішера $F_{\text{розр}}$	0,01
Табличне значення критерія Фішера $F_{\text{табл}}$	5,318
Параметр рівняння регресії a	4,394
Параметр рівняння регресії b	0,127

Висновки. Отже, у результаті оцінки визначено посередній рівень інтегрального показника формування та використання інтелектуальної економічної системи на всіх будівельних підприємств. Це свідчить про посередні можливості щодо формування та використання інтелектуальної економічної системи, враховуючи економічні, геопросторові, безпекові, соціальні аспекти діяльності будівельних підприємств. Поряд з цим, для формування й реалізації інтелектуальної економічної системи виникає необхідність розробки відповідних науково обґрунтованих рекомендацій шляхом застосування інструментарію економіко-математичного моделювання для прогнозування змін інтегрального показника та його впливу на узагальнюючий чинник розвитку будівельних підприємств.

Таким чином, розроблено науково-методичний підхід до визначення впливу чинників формування та використання інтелектуальної економічної системи на інтегральний показник на основі

економіко-математичного моделювання, що дозволяє прогнозувати зміни узагальнюючого критерію для створення підґрунтя щодо розробки відповідних науково обґрунтованих рекомендацій.

За результатами числового експерименту економіко-математичного моделювання отримано висновок про те, що високий кореляційний зв'язок спостерігається між інтегральним показником формування та використання інтелектуальної економічної системи будівельних підприємств й економічними і безпековими факторними ознаками. Побудовані для цих факторних ознак регресійні моделі є значущими та адекватними. Низькі значення коефіцієнтів кореляції та детермінації у економіко-математичних моделях впливу геопросторових і соціальних чинників на інтегральний показник формування та використання інтелектуальної економічної системи свідчать про недостатній рівень застосування геоінформаційних систем у діяльності будівельних підприємств. Крім того, на будівельних підприємствах не реалізується політика соціального захисту, не застосовується інструментарій соціального забезпечення, що негативно впливає на розвиток людського капіталу та віддзеркалює сучасні неоднозначні умови та можливості будівельних підприємств. Економіко-математичні моделі свідчать про сформовані умови для розробки й впровадження інтелектуальної економічної системи на будівельних підприємствах. Поряд з цим, застосування геопросторового забезпечення визначається проблемними аспектами, що пов'язано із технічними, технологічними проблемами та наявністю відповідних спеціалістів на будівельних підприємствах.

На основі розробленого науково-методичного підходу, запропоновано методичний підхід до прогнозування інтегрального показника розвитку будівельних підприємств з урахуванням зміни інтегрального чинника формування та використання інтелектуального економічного чинника на основі застосування розробленої економіко-математичної моделі, що враховує економічні, геопросторові, безпекові, соціальні параметри та дозволяє запропонувати заходи щодо розвитку будівельних підприємств.

Перелік посилань

1. Інтелектуальні системи. URL: <https://zp.edu.ua/intelektualni-systemy>.
2. Нестеренко О.В., Ковтунець О.В., Фаловський О.О. Інтелектуальні системи і технології. Ввідний курс: Навч. Посібник. К.: Національна академія управління, 2017. 90 с.
3. Краснопоясовський А. С. Інформаційний синтез інтелектуальних систем керування: Підхід, що ґрунтується на методі функціонально-статистичних випробувань. Суми: Видавництво СумДУ, 2004. 261 с.
4. Глібовець М.М, Олецький О.В. Штучний інтелект: Підруч. для студ. вищ. навч. закладів. Київ: Видавничий дім «КМ Академія», 2002. 336 с.
5. Runke H., Kandel A. Hybrid Methods in Pattern Recognition. Verlag Shpringer. 2002. 336 p.
6. Stewart T. Brainpower. Fortune Magazine. 1999. June 3. № 58. URL: https://money.cnn.com/magazines/fortune/fortune_archive/1991/06/03/75096/.
7. Вовканич С., Семів Л. Людський та інтелектуальний капітали в економіці знань. Вісник НАН України. 2008. № 3. С. 19.
8. Ситник Й. Вплив інтелектуалізації на процес менеджменту інноваційних підприємств. Вісник національного університету «Львівська політехніка». 2012. № 725(63). С. 372–378.
9. Hudson W. J. Intellectual Capital: how to build it, enhance it, use it. Toronto: John Wiley&Sons Ins., 1993. P. 16.
10. Чухно А., Юхименко П., Леоненко П. Сучасні економічні теорії: підручник. Київ: Знання, 2007. 878 с.
11. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum. Switzerland. URL: https://law.unimelb.edu.au/data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf.
12. Пожусев В.І. Інтелектуальний капітал як стратегічний потенціал організації. Гуманітарний вісник ЗДІА. 2009. Вип. 37. С. 22–29.

13.Чернявський А.Д. Методологічні підходи до створення організаційних форм управління. Економіка та держава. 2006. № 8. С. 23–25.

14.Петренко В.О., Рудченко О.В., Берковський Є.О. Проблеми формування системи інтелектуальної безпеки підприємства. Юридичний науковий електронний журнал. 2019. № 6. С. 134–138.

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING OF THE FACTORS OF FORMATION AND USE OF THE INTELLECTUAL ECONOMIC SYSTEM OF CONSTRUCTION ENTERPRISES

Vasyl Goi, 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: yasssgoi@gmail.com, tel.+38099-033-30-22, <https://orcid.org/0000-0003-1822-4478>.

Summary. The topicality of the topic of economic-mathematical modeling of the factors of formation and use of the intellectual economic system of construction enterprises is proven. The definition of an intelligent economic system is proposed as a set of economic, geospatial, security, and social components that are developed by applying modern mathematical methods and models, artificial intelligence, information and analytical support and tools and form the basis for making management decisions in the context of the development of construction enterprises.

As a result of the evaluation, the average level of the integral indicator of the formation and use of the intelligent economic system at all construction enterprises was determined. This indicates mediocre opportunities for the formation and use of an intelligent economic system, taking into account the economic, geospatial, security, and social aspects of construction enterprises. Along with this, for the formation and implementation of an intellectual economic system, there is a need to develop relevant scientifically based recommendations by applying the tools of economic and mathematical modeling to forecast changes in the integral indicator and its impact on the generalizing factor of the development of construction enterprises. A scientific-methodical approach to determining the influence of the factors of the formation and use of the intellectual economic system on the integral indicator based on economic-mathematical modeling has been developed, which allows predicting changes in the generalizing criterion to create a basis for the development of relevant scientifically based recommendations.

Based on the results of the numerical experiment of economic and mathematical modeling, it was concluded that a high correlation is observed between the integral indicator of the formation and use of the intelligent economic system of construction enterprises and economic and safety factors. The regression models built for these factor characteristics are significant and adequate.

Keywords: construction enterprises, intelligent economic system, economic-mathematical modeling, correlation-regression analysis, forecasting, development, economic, geospatial, security, social factors.

References

1. Intelligent systems. Access from the Internet: <https://zp.edu.ua/intelektualni-systemy>. [in Ukrainian].
2. Nesterenko O. V., Kovtunets O. V., Falovskyi O. O. (2017) Intellectual systems and technologies. Introductory course: Education. Manual. K.: National Academy of Management, 90. [in Ukrainian].
3. Krasnopoyasovsky A. S. (2004) Information synthesis of intelligent control systems: An approach based on the method of functional and statistical tests. Sumy: Publishing House of Sumy State University, 26. [in Ukrainian].
4. Hlibovets M.M., Oletskyi O.V. (2002) Artificial intelligence: Tutorial. for students higher education institutions Kyiv: KM Academy Publishing House, 336. [in Ukrainian].
5. Runke H., Kandel A. (2002) Hibrid Methods in Pattern Recognition. Verlag Shpringer, 336.
6. Stewart T. (1999) Brainpower. Fortune Magazine, 58. Access from the Internet: https://money.cnn.com/magazines/fortune/fortune_archive/1991/06/03/75096/.

7. Vovkanych S., Semiv L. (2008) Human and intellectual capital in the knowledge economy. Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine. 3, 19. [in Ukrainian].
8. Sytnyk Y. (2012) The influence of intellectualization on the management process of innovative enterprises. Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. 725(63), 372–378. [in Ukrainian].
9. Hudson W. J. (1993) Intellectual Capital: how to build it, enhance it, use it. Toronto: John Wiley&Sons Ins., 16.
10. Chuhno A., Yukhymenko P., Leonenko P. (2007) Modern economic theories: a textbook. Kyiv: Znannia, 878. [in Ukrainian].
11. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum. Switzerland. Access from the Internet: https://law.unimelb.edu.au/_data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf.
12. Pozhev V. I. (2009) Intellectual capital as a strategic potential of the organization. Humanitarian Bulletin ZDIA. 37, 22–29. [in Ukrainian].
13. Chernyavskiy A. D. (2006) Methodological approaches to the creation of organizational forms of management. Economy and the state. 8, 23–25. [in Ukrainian].
14. Petrenko V.O., Rudchenko O.V., Berkovskyi E.O. (2019) Problems of forming the intellectual security system of the enterprise. Legal scientific electronic journal. 6, 134–138. [in Ukrainian].

ДОСЛІДЖЕННЯ КЛЮЧОВИХ ІНДИКАТОРІВ СТАНУ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ КРАЇН ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ В РАМКАХ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ**RESEARCH OF KEY INDICATORS OF THE STATE OF ECONOMIC SECURITY OF THE EUROPEAN UNION COUNTRIES IN THE FRAMEWORK OF THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

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 базові пріоритети стратегії економічної безпеки країн ЄС. Проаналізовано ключові індикатори стану економічної безпеки країн Європейського Союзу. Виявлено галузеву структуру доданої вартості в країнах Європейського Союзу. Досліджено особливості реалізації стратегії зміцнення економічної безпеки ЄС.

Країни Європейського Союзу є одним із найпривабливіших напрямів інвестування для міжнародних компаній завдяки відкритій економіці, безпечному транскордонному співробітництву в галузі досліджень та інновацій. Ці елементи залишаються ключовими рушійними силами європейської конкурентоспроможності та стійкості. Партнери по всьому світу отримують вигоду від доступу до європейських ринків, капіталу та технологій для переходу до чистої та стійкої економіки.

Регіональна політика ЄС, спрямована на забезпечення колективної економічної безпеки, зокрема на основі посилення економічної згуртованості через надання допомоги найменш розвиненим регіонам і секторам економіки країн – членів ЄС, є важливим елементом структурної політики Європейського Союзу, поряд з інституційною адаптацією й економічною інтеграцією вважається одним з основних засобів впливу на суспільний добробут. Втім, регіональна політика ЄС також не позбавлена протиріч у розподілі фінансування між країнами, зокрема наявна невідповідність в отриманні коштів на регіональний розвиток новими членами цього об'єднання та розмірами їх внесків до спільного бюджету.

Ключові слова: стратегія економічної безпеки, глобальна економіка, країни Європейського Союзу, міжнародні компанії, сталий розвиток, інвестиційні проекти, фінансово-економічна криза, європейські ринки, інновації, конкурентоспроможність, транскордонне співробітництво.

Вступ. Постановка проблеми й актуальність обраної теми. Сьогодні, коли економічна безпека стає одним з найважливіших компонентів міжнародної, регіональної та національної безпеки, Європейський Союз починає відігравати провідну роль у забезпеченні стабільності та безпеки європейського континенту. У січні 2024 року Європейський Союз оприлюднив нові ініціативи для просування в реалізації своєї Стратегії економічної безпеки, яку він офіційно представив у червні 2023 року. Ця стратегія має на меті посилити стратегічний інструментарій Європейської Комісії для торгівлі та інвестицій.

Процес розбудови і реформування ЄС необхідно розглядати не тільки як розширення кордонів спільного ринку, а й як чинник створення нової європейської архітектури безпеки, яка має комплексний та взаємопов'язаний характер і різні виміри, відіграє важливу роль в системі міжнародної економічної безпеки. Регіональна політика ЄС спрямована на послаблення соціально-економічних диспропорцій між регіонами, зниження рівня відсталості регіонів з несприятливими умовами розвитку. Серед основних інструментів регіональної політики значна увага приділяється інтеграції прикордонних регіонів на основі міжнародного співробітництва та створенню єврорегіонів, які забезпечують транскордонне співробітництво.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На актуальність проблеми формування та оцінювання ключових індикаторів стану економічної безпеки країн Європейського Союзу в рамках реалізації концепції сталого розвитку вказують численні дослідження таких українських та зарубіжних вчених, як Р. Болдуїн, А. Бояр, Ч. Виплош, І. Грицяк, Н. Карпчук, М. Корнер, Н. Романюк, І. Скороход, П. Фонтен, В. Чужиков та інші. Проблема дослідження ключових індикаторів стану економічної безпеки країн Європейського Союзу є актуальною та потребує подальших досліджень.

Метою статті є дослідження ключових індикаторів стану економічної безпеки країн Європейського Союзу в рамках реалізації концепції сталого розвитку.

Завданнями статті є: дослідження базових пріоритетів стратегії економічної безпеки країн ЄС; аналіз ключових індикаторів стану економічної безпеки країн Європейського Союзу; виявлення галузевої структури доданої вартості в країнах Європейського Союзу; дослідження особливостей реалізації стратегії зміцнення економічної безпеки країн ЄС.

Виклад основного матеріалу дослідження й отриманих результатів. Під європейською економічною безпекою розуміють стан економіки, який дає змогу зберігати стійкість до внутрішніх та зовнішніх загроз, забезпечувати високу конкурентоспроможність у світовому економічному середовищі і характеризує здатність економіки до сталого та збалансованого зростання. Можна виділити такі базові пріоритети стратегії економічної безпеки країн ЄС:

1. Підвищення власної конкурентоспроможності шляхом зростання стійкості економіки країн ЄС та ланцюгів постачання, зміцнення інновацій і промислового потенціалу, зберігаючи при цьому соціальну ринкову економіку. Цього можна досягти шляхом поглиблення єдиного ринку, інвестування в економіку майбутнього за допомогою розумної макроекономічної політики та політики згуртованості, NextGenerationEU, інвестування в людський капітал, зокрема шляхом підвищення кваліфікації робочої сили. Це вимагає диверсифікації джерел постачання та експортних ринків, сприяння дослідницькій діяльності в стратегічних сферах.

Інвестиційні проєкти NextGenerationEU спрямовані на стимулювання зеленого переходу через просування відновлюваних джерел енергії; прискорення цифрової трансформації шляхом більшої цифровізації державних послуг та економіки в цілому; зміцнення соціальної інфраструктури та послуг, одночасно зменшуючи територіальну диспропорцію; розширення доступу до вищої освіти для

здобуття навичок, необхідних для майбутньої економіки; підтримку інклюзивного зростання, дослідження, розробки та інновації для всіх; забезпечення сучасних, ефективних і доступних медичних послуг.

2. Захист від ризиків для економічної безпеки шляхом ефективнішого використання інструментів, таких як захист торгівлі, іноземні субсидії, безпека 5G/6G, перевірка прямих іноземних інвестицій та експортний контроль. Паралельно потрібно оцінити ефективність набору інструментів ЄС і розширити його, де це необхідно, для подолання нових ризиків, наприклад, пов'язаних з експортом або зовнішніми інвестиціями.

3. Партнерство з країнами щодо економічної безпеки для досягнення переходу до більш стійкої та безпечної економіки. На практиці це означає спільну роботу з якомога ширшим колом партнерів для зміцнення економічної безпеки та міжнародного економічного порядку, заснованого на правилах і багатосторонніх інститутах [1].

Єдиний ринок є перспективним активом ЄС для підтримки процвітаючої, інноваційної та стійкої економіки. Найчастіше це асоціюється з ефектом масштабу для транскордонного співробітництва в межах ЄС і рівними умовами гри. У той же час, через свою торгівлю, інвестиційну політику Global Gateway та іншу політику ЄС використовує єдиний ринок, щоб утримувати глобальні ланцюги поставок відкритими та формувати стандарти, що додатково сприяє зміцненню конкурентоспроможності ЄС і безпеки постачання. Реалізація NextGenerationEU і Фондів згуртованості запускає масштабні реформи та інвестиції в широкий спектр секторів, включаючи критичну інфраструктуру, сприяє економічному зростанню, конкурентоспроможності та стійкості економіки ЄС.

Запроваджена у 2021 році стратегія Global Gateway спрямована на надання всебічної фінансової підтримки країнам – партнерам ЄС по всьому світу із особливою увагою до інфраструктурних проєктів, передбачаючи фінансування в рамках 300 млрд євро до 2027 року. У наданні фінансування в рамках Global Gateway ЄС орієнтується на відповідність проєктів низці принципів:

- дотримання демократичних цінностей в країнах виконання проєктів;
- забезпечення належного врядування та прозорості у виконанні проєктів;
- забезпечення рівного партнерства;
- здійснення внеску до розвитку зелених та чистих технологій;
- орієнтація проєктів на підвищення безпеки;
- заохочення інвестицій у приватний сектор.

У рамках реалізації стратегії зміцнення економічної безпеки ЄС визначено заходи для підвищення стійкості єдиного ринку, зокрема передбачено формування промислових альянсів для прискорення впровадження чистих технологій; реалізація інноваційних проєктів; сприяння розвитку циркулярної економіки; підвищення екологічних та цифрових навичок; впровадження нової стратегії забезпечення лідерства країн ЄС.

У сучасних умовах ЄС не може досягти економічної безпеки самостійно. Глобальна економіка залишається інтегрованою та взаємопов'язаною, а ефективні дії ЄС залежать від співпраці та координації з іншими країнами. Прозорість і співпраця необхідні для забезпечення того, щоб політика економічної безпеки не мала небажаних наслідків для третіх країн, особливо для найбільш уразливих. Зменшення ризиків у ланцюгах постачання та пом'якшення збурень передбачає диверсифікацію поставок і доступ до різноманітних імпорتنих та експортних ринків. Це є вагомим аргументом для співпраці з якомога ширшим колом партнерів, включаючи давніх партнерів-однодумців, таких як

члени G7, а також інших, з ким ЄС поділяє спільні інтереси. Інтенсивна співпраця з питань економічної безпеки відбувається з різними партнерами, включаючи США та Індію, у рамках Ради з торгівлі та технологій (ТТС). Економічний діалог на високому рівні між ЄС та Японією включає спеціальний напрям роботи з питань економічної безпеки [2].

Ключовим виміром економічної безпеки є готовність ЄС зміцнити партнерство з країнами, що розвиваються, які можуть відігравати більшу роль у глобальних ланцюгах створення вартості. Фінансова та технічна підтримка ЄС країнам із низьким і середнім рівнем доходу для індустріалізації, переходу до зеленого середовища та подолання цифрового розриву не лише цінна сама по собі та створює позитивний ефект для місцевих громад, але й сприяє економічній стійкості ЄС, диверсифікації світової економіки.

З цієї точки зору Global Gateway і Partnership for Global Infrastructure Investments матимуть ключове значення для сприяння економічній безпеці їхніх бенефіціарів, зміцнення економічних зв'язків та інтеграції з глобальною економікою. Ці ініціативи допоможуть ЄС та його партнерам разом подолати основні виклики, зокрема боротьбу зі зміною клімату, розгортання безпечної цифрової інфраструктури, покращення систем охорони здоров'я та досягнення цілей сталого розвитку, водночас пропонуючи партнерам стійкі альтернативи інвестиційних практик. Вони також сприяють економічній безпеці ЄС, зокрема, допомагаючи диверсифікувати ланцюги поставок та інтегрувати ланцюги створення вартості з партнерами в ключових секторах.

Варто зауважити, що у 2022 році дефіцит державного бюджету в ЄС становив 3,4 % ВВП. У період з 2021 року по 2022 рік дефіцит скоротився через зменшення впливу кризи COVID-19 на державні витрати. У 2022 році шість держав – членів ЄС зафіксували профіцит бюджету, найвищий – у Данії (3,3 % ВВП). Натомість Мальта, Угорщина та Румунія мали дефіцит, який перевищував 5 % ВВП, а в Італії це співвідношення досягло 8 %.

Консолідований валовий борг в ЄС становив 84 % ВВП у 2022 році, що на 6 % менше порівняно з піком в 90 % у 2020 році. У 2022 році консолідований борг був найвищим серед держав – членів ЄС у Греції – 171,3 % ВВП. Італія, Португалія, Іспанія, Франція та Бельгія також зафіксували співвідношення понад 100 %. На іншому кінці діапазону Люксембург і Болгарія мали співвідношення боргу до ВВП нижче 25 % ВВП, а найнижче співвідношення спостерігалось в Естонії (18,4 %). У більшості країн – членів ЄС між 2021 і 2022 роками спостерігалось скорочення боргу відносно ВВП. Найбільше скорочення було зафіксовано в Греції – на 23,3 %.

Маючи активне сальдо торгівлі товарами з 2012 по 2021 рік, ЄС зафіксував дефіцит у 2022 році. Товари, експортовані з ЄС до країн, що не входять до ЄС, оцінювалися в 2573 млрд євро, що на 430 млрд євро менше, ніж вартість товарів, імпортованих до ЄС (рис. 1) [3].

У 2022 році США були провідним експортним ринком ЄС, отримавши 19,8 % від загальної вартості товарів, експортованих за межі ЄС. Наступними найбільшими експортними ринками для товарів ЄС були Велика Британія (12,8 %) і Китай (9 %). Більше однієї п'ятої (20,9 %) усіх товарів, імпортованих до ЄС у 2022 році, походили з Китаю. США були другою за величиною країною походження імпорту з ЄС (11,9 %).

В останні роки спостерігається швидке зростання вартості світової торгівлі послугами. Ця ситуація також спостерігалась в ЄС, незважаючи на падіння торгівлі під час кризи COVID-19. У 2022 році експорт послуг з ЄС до країн, що не входять до ЄС, оцінювався в 1300 млрд євро, тоді як імпорт до ЄС оцінювався в 1126 млрд євро. ЄС зафіксував позитивне сальдо торгівлі послугами протягом

2010–2022 років, причому позитивне сальдо у 175 млрд євро у 2022 році стало найвищим за цей період (рис. 2) [4].

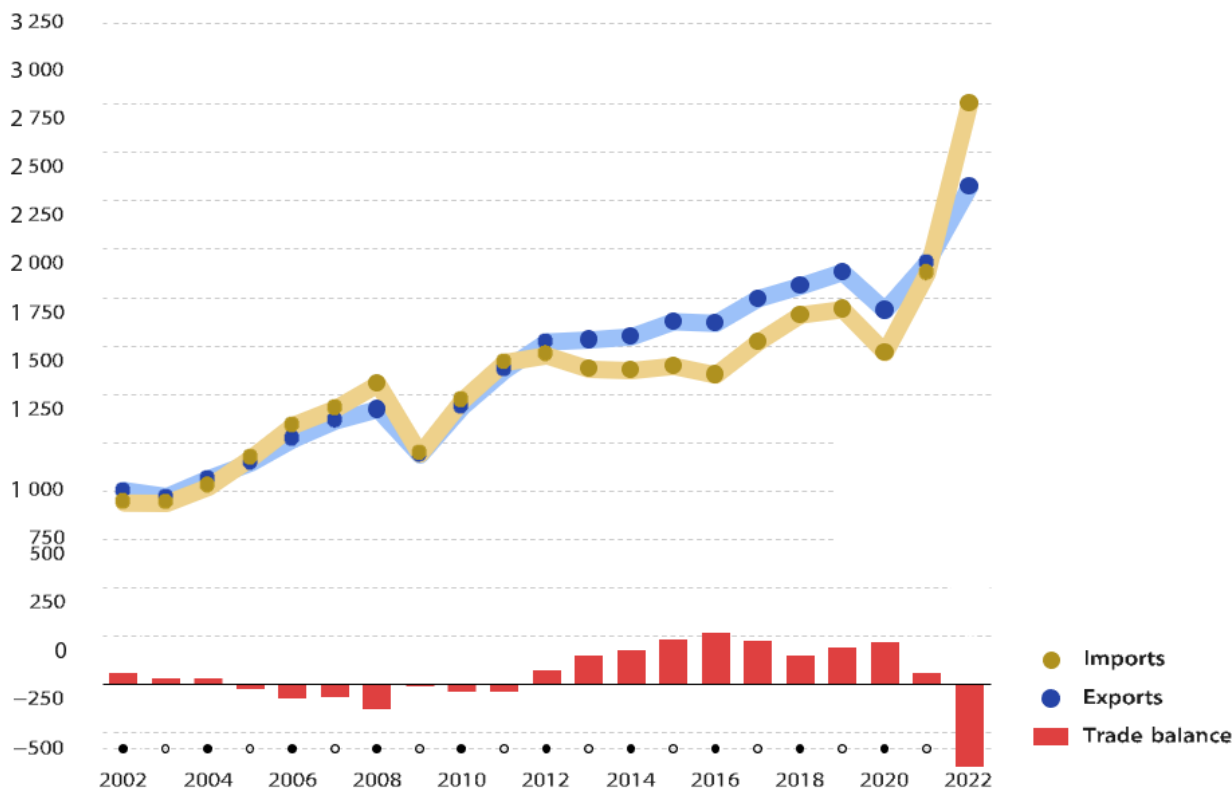


Рисунок 1 – Динаміка міжнародної торгівлі країн Європейського Союзу товарами з країнами, що не входять до ЄС, 2002–2022 роки, млрд євро

Figure 1 – Dynamics of the European Union's international trade in goods with non-EU countries, 2002–2022, billions of euros

У період з 2000 по 2022 рік частка загальної доданої вартості ЄС, яка була створена в секторі послуг, зросла з 69,2 % до 71,9 %, в основному завдяки збільшенню обсягів професійної, наукової, технічної адміністративної та допоміжної діяльності. Навпаки, відносна частка деяких інших частин економіки ЄС скоротилася: частка промисловості впала з 22,6 % до 20,6 %, тоді як частка сільського господарства, лісового господарства та рибальства впала з 2,5 % до 1,9 %, а частка будівництва – з 5,7 % до 5,5 % (рис. 3)

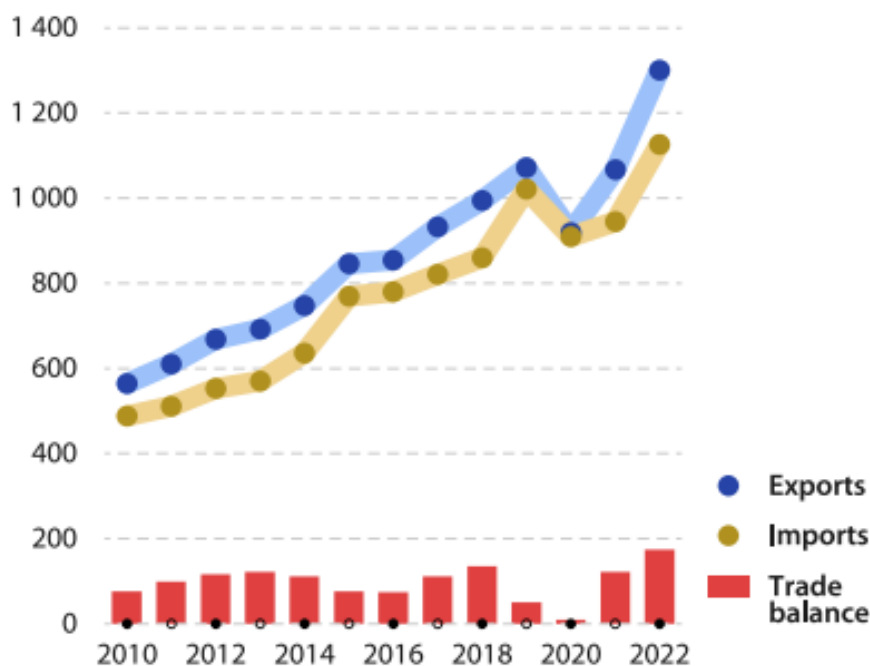


Рисунок 2 – Динаміка міжнародної торгівлі країн Європейського Союзу послугами з країнами, що не входять до ЄС, 2010–2022 роки, млрд євро

Figure 2 – Dynamics of the European Union's international trade in services with non-EU countries, 2010–2022, billions of euros

. У 2021 році провідними торговельними партнерами ЄС у сфері послуг були США та Велика Британія. Приблизно п'ята частина послуг, експортованих з ЄС, призначалася для США (22,3 %) та Великої Британії (19,2 %). Швейцарія була третім за величиною торговим партнером ЄС з експорту послуг (10,8 %). Навпаки, більше однієї третини (34,5 %) послуг, імпортованих до ЄС із країн, що не входять до ЄС, походять із США, за якими йде Велика Британія (18,5 %).

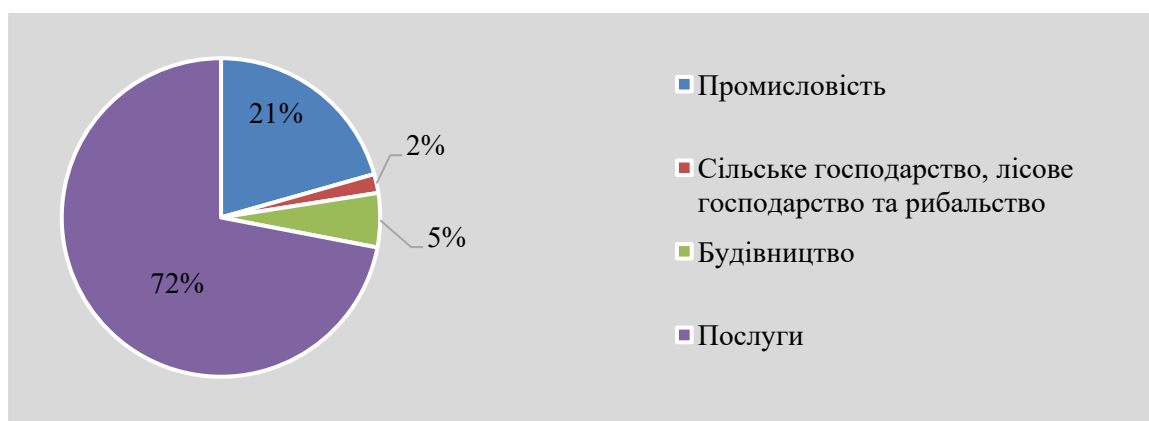


Рисунок 3 – Галузева структура доданої вартості країн Європейського Союзу, 2022 рік

Figure 3 – Sectoral structure of value added in the European Union, 2022

У 2022 році частка послуг у загальній доданій вартості перевищувала 80 % в орієнтованих на туризм економіках Кіпру та Мальти, хоча найвища частка була зафіксована в Люксембурзі – 86,3 % за рахунок великого сектору фінансових послуг. Промисловість складала понад дві п'ятих загальної доданої вартості в Ірландії (41,2 %), а наступна за величиною частка – в Чехії (28,1 %). Найбільший відносний внесок від будівництва (7,8 %) спостерігався в Австрії, тоді як найбільший внесок від сільського господарства, лісового господарства та рибальства (5,8 %) було зафіксовано в Латвії.

Важливість послуг в економіці ЄС була майже такою ж як для зайнятості, так і для доданої вартості. У 2022 році послуги забезпечували роботу 73,5 % людей, зайнятих у ЄС. Важливість усіх інших секторів зменшилася між 2000 і 2022 роками: частка робочої сили ЄС, яка була зайнята в промисловості, впала з 19,9 % до 15,6 %, тоді як частка робочої сили в сільському господарстві, лісовому господарстві та рибальстві скоротилася вдвічі з 8,6 % до 4,3 %, а частка зайнятих у будівництві зменшилася з 6,9 % до 6,7 %. На початку кризи COVID-19 у 2020 році загальна кількість зайнятих у ЄС скоротилася на 1,4 %, а наступного року відбулося порівнянне відновлення (зростання на 1,5 % у 2021 році) (рис. 4) [5].

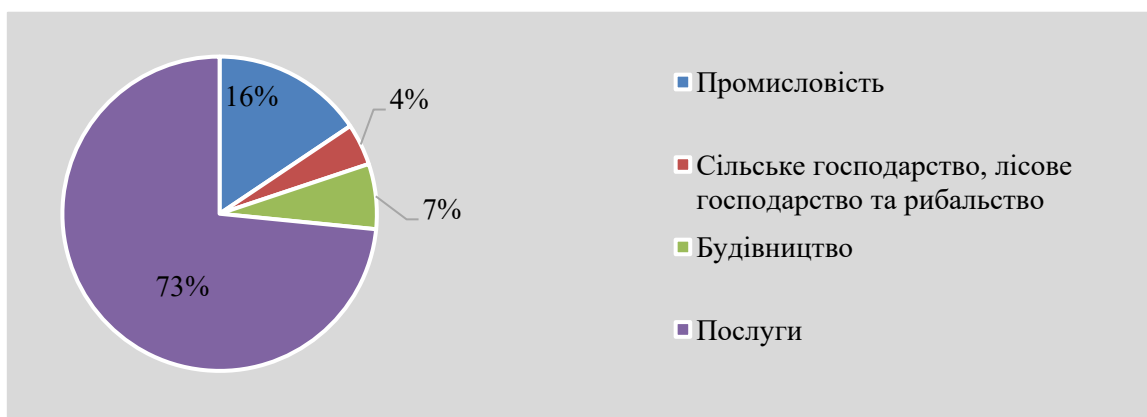


Рисунок 4 – Галузева структура зайнятості в країнах Європейського Союзу, 2022 рік

Figure 4 – Sectoral structure of employment in the European Union, 2022

Серед держав – членів ЄС у 2022 році Румунія мала найнижчу частку (49,5 %) робочої сили, зайнятої у сфері послуг. Натомість послуги забезпечували роботу 83,8 % зайнятих у Нідерландах. Чехія була єдиною державою-членом, яка повідомила, що на промисловість припадає більше чверті (28 %) від загальної робочої сили. Румунія (21,1 %) характеризувалася високою часткою загальної зайнятості в сільському господарстві, лісовому господарстві та рибальстві, тоді як Люксембург був єдиною державою-членом, яка повідомила про значну частку (10,5 %) своєї робочої сили, зайнятої в будівництві.

Варто зауважити, що валовий внутрішній продукт використовується для вимірювання розміру та ефективності економіки, надає інформацію про вартість товарів і послуг, вироблених за певний період. У 2022 році ВВП ЄС оцінювався в 15,8 трлн євро. Німеччина мала найбільшу економіку серед країн-членів ЄС (3,9 трлн євро, або 24,5 % від загального обсягу ЄС), за нею йшли Франція (16,7 %) та Італія (12,1 %). На іншому кінці діапазону Мальта (0,1%) мала найменшу економіку в ЄС.

Динаміка ВВП показує швидкість зміни виробництва без усунення впливу зміни цін (інфляції чи дефляції). Між 2000 і 2008 роками економіка ЄС щороку зростала, ВВП збільшувався на 0,6–3,9 %.

З 2009 по 2013 роки економіка суттєво постраждала від світової фінансової та економічної кризи, коли ВВП впав на 4,3 % у 2009 році. Після цього економіка ЄС поступово відновлювалась із щорічними темпами зростання в діапазоні 1,6–2,8 % у період між 2014 та 2019 роками. У 2020 році на економіку суттєво вплинула криза COVID-19, ВВП знизився на 5,6 %. У 2021 році ВВП зріс на 5,4 %, збільшення продовжилося наступного року ще на 3,5 % (рис. 5) [6].

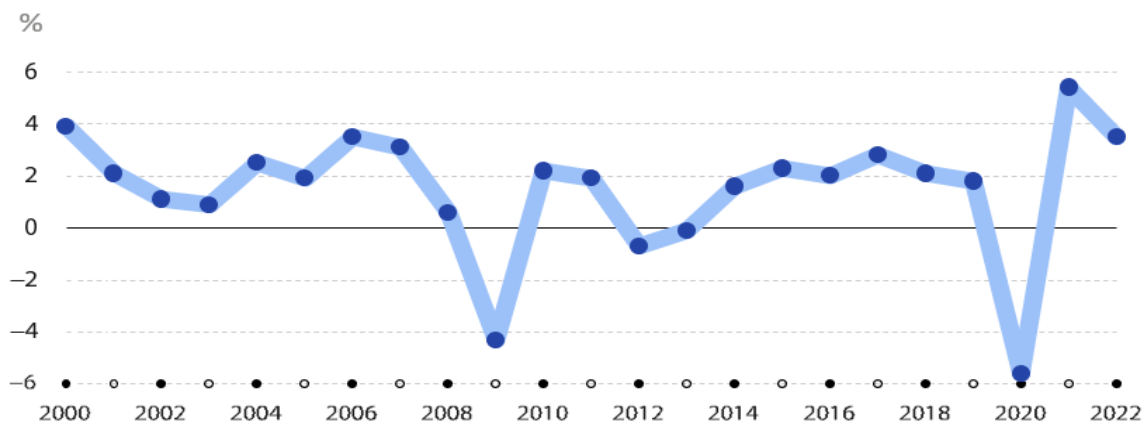


Рисунок 5 – Динаміка рівня ВВП в країнах Європейського Союзу, 2000–2022 роки

Figure 5 – Dynamics of GDP in the European Union, 2000–2022

ВВП на душу населення можна використовувати для порівняння виробництва різних за розміром економік. У межах ЄС цей показник впав з 31310 євро у 2019 році до 30030 євро у 2020 році. Однак у 2021 році ВВП на душу населення відновився, а потім ще більше зріс у 2022 році до 35210 євро. У 2022 році найвище значення було зафіксовано в Люксембурзі, де ВВП на душу населення був у 2,6 рази вищим за середній показник по ЄС. Навпаки, ВВП на душу населення в Болгарії становив близько трьох п'ятих (58,7%) від середнього показника в ЄС.

Ціни в ЄС зросли на 0,7 % у 2020 році, на 2,9 % у 2021 році та на 9,2 % у 2022 році. Суттєве зростання цін спостерігалось у 12 країнах – членах ЄС у 2022 році, при цьому найвища річна інфляція спостерігалась в Естонії – 19,4 %. У 2022 році загальний рівень інфляції в ЄС становив 9,2 %. Протягом 2015–2020 рр. річний рівень інфляції коливався в межах 0,1–1,9 %. У 2022 році ціни на житло, воду та енергію в ЄС зросли на 18 %, ціни на транспорт – на 12,1 %, а ціни на продукти харчування та безалкогольні напої – на 11,9 %. На іншому кінці діапазону зростання цін на освіту, охорону здоров'я, одяг і взуття було відносно помірним (у діапазоні 2–3 %), тоді як відбулося помірне падіння (на 0,1 %) цін на зв'язок.

У січні 2023 року найбільшими категоріями споживчих витрат домогосподарств в ЄС були: продукти харчування та безалкогольні напої; житло, вода та енергія; транспорт. Разом вони становили близько половини (47,1 %) загальних видатків. Усі ці категорії характеризувались високим зростанням цін протягом 2022 року.

Криза COVID-19 вплинула не лише на загальну економічну активність, а й на моделі споживання домогосподарств. У всьому ЄС частка витрат домогосподарств на кілька категорій, які зазвичай пов'язані з харчуванням і життям вдома, зросла в період з січня 2020 року по січень 2021 року. Однак після скасування обмежень, пов'язаних із COVID-19, споживання домогосподарств

повертається до свого попереднього рівня. У період з січня 2022 року по січень 2023 року відбулося відновлення частки витрат на діяльність поза домом.

Ризик бідності, безробіття чи соціальної ізоляції вищий серед людей, які залишають школу у відносно молодому віці. У 2022 році частка тих, хто достроково покинув навчання в ЄС, становила 9,6 %, коливаючись від 15,6 % в Румунії до 2,3 % у Хорватії. Молоді чоловіки (11,1 %) у ЄС частіше, ніж молоді жінки (8 %), рано залишають освіту та навчання. У 2022 році цей гендерний розрив був очевидним у переважній більшості держав – членів ЄС (25 із 27), за винятком лише Болгарії та Греції (з вищою часткою тих, хто раніше покинув навчання серед молодих жінок, ніж серед молодих чоловіків). Найбільша різниця між статями була зафіксована в Естонії, де частка молодих чоловіків, які раніше покинули навчання, була на 6,8 % вищою, ніж серед молодих жінок. Відносно великі гендерні розриви також спостерігалися в Іспанії та Латвії. Навпаки, у Словаччині та Словенії майже не було різниці між статями щодо частки тих, хто раніше покинув навчання.

Слід додати, що близько 61 % учнів старших класів загальної середньої школи в ЄС вивчали дві або більше іноземних мов у 2021 році. Принаймні 99 % усіх учнів старших класів загальної середньої школи в Люксембурзі, Франції та Румунії вивчали дві або більше іноземних мов, порівняно з менш ніж 15 % в Ірландії та Португалії. У 2022 році частка молодих людей віком 15–24 роки, які не працюють та не навчаються, в ЄС становила 9,6 %. Цей показник у Румунії (17,5 %) був більш ніж у шість разів вищий, ніж у Нідерландах (2,8 %) [7].

Після значного впливу кризи COVID-19 на ринок праці ЄС у 2020 році та меншою мірою у 2021 та 2022 роках відбулося помітне повернення до роботи: кількість робочої сили ЄС (для осіб віком 20–64 роки) збільшилась на 1,1 % порівняно з роком раніше. Кількість зайнятих зросла на 2 %, а також збільшилась кількість осіб, які працюють неповний робочий день. Натомість кількість безробітних зменшилась на 12,2 %. У 2022 році основна група людей працездатного віку (віком від 25 до 54 років) становила майже три чверті (72 %) робочої сили ЄС. У 2022 році молодь становила 8,2 % від загальної кількості зайнятих у ЄС, їхня частка зайнятих неповний робочий день (15,2 %) та зайнятості за тимчасовим контрактом (29,6 %) була значно вищою.

Рівень зайнятості в ЄС, який вимірює частку працевлаштованого населення у віці 20–64 років, становив 74,6 % у 2022 році. Було вісім країн – членів ЄС, де щонайменше 80 % дорослих у віці 20–64 років були зайняті: найвищі показники зафіксовано в Нідерландах (82,9 %), Швеції (82,2 %) та Естонії (81,9 %). На іншому кінці діапазону менше 70 % дорослих у віці 20–64 років були зайняті в Хорватії (69,7 %), Іспанії (69,5 %), Румунії (68,5 %), Греції (66,3 %) та Італії (64,8 %). У період з 2021 по 2022 роки рівень зайнятості людей у віці 20–64 років зріс у кожній із держав – членів ЄС. Найбільший річний приріст спостерігався в Греції (на 3,7 %) та Ірландії (3,3 %). Франція і Люксембург були єдиними державами-членами, де рівень зайнятості не зріс принаймні на 1 %.

У 2009 р. рівень безробіття в ЄС серед людей у віці 15–74 роки становив 9,3 %. Унаслідок світової фінансово-економічної кризи рівень безробіття різко зріс, досягнувши піку в 11,6 % у 2013 році. Протягом наступних шести років рівень безробіття щороку знижувався, у 2019 році становив 6,8 %. У 2020 році, оскільки на ринок праці вплинула криза COVID-19, цей показник зріс до 7,2 %. За цим послідувало помірне зниження у 2021 році та більш помітне зниження у 2022 році. У 2022 році рівень безробіття в ЄС становив 6,2 %. Рівень безробіття серед молоді в ЄС (віком 15–24 роки) у 2022 році становив 14,5 %, що в 2,3 рази вище, ніж серед усього населення (віком 15–74 роки), і в 3,2 рази вище, ніж серед осіб старшого віку (віком 55–74 роки) (рис. 6) [8].

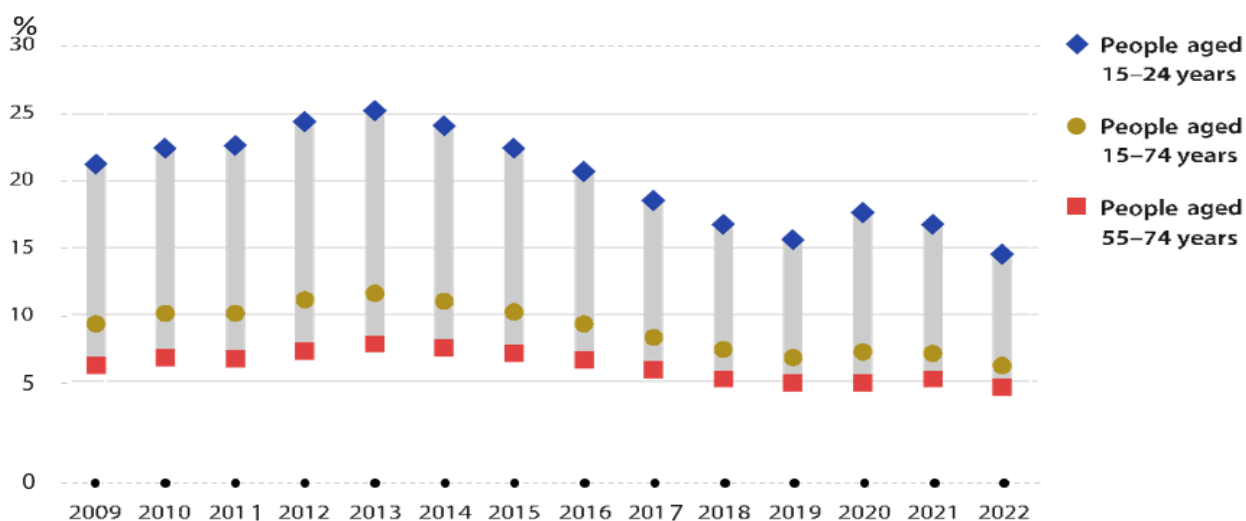


Рисунок 6 – Динаміка рівня безробіття в країнах Європейського Союзу, 2009–2022 роки
Figure 6 – Unemployment rate dynamics in the European Union, 2009–2022

У 2022 році найвищий рівень безробіття у країнах – членах ЄС серед осіб віком 15–74 роки був зафіксований в Іспанії (12,9 %) та Греції (12,5 %); жодна з інших держав-членів не зафіксувала двозначних показників. Відносно низькі рівні безробіття – близько 3 % – були зафіксовані в Німеччині, Мальті та Польщі, тоді як найнижчий рівень спостерігався в Чехії (2,2 %) [9].

Нескоригований гендерний розрив в оплаті праці дає загальну картину відмінностей в оплаті праці чоловіків і жінок, який вимірює різницю в погодинних заробітках між працівниками чоловічої і жіночої статі в промисловості, будівництві та сфері послуг на підприємствах з 10 і більше співробітниками. У 2021 році середня погодинна оплата жінок в ЄС була на 12,7 % нижчою, ніж у чоловіків. Найбільшим був гендерний розрив в оплаті праці зафіксовано в Естонії, де заробітки жінок були на 20,5 % нижчими, ніж заробітки чоловіків. Натомість розрив становив менше 5,0 % у Польщі (4,5 %), Словенії (3,8 %) та Румунії (3,6 %). Інша ситуація спостерігалася в Люксембурзі, оскільки середній заробіток жінок був незначно вищим, ніж у чоловіків (на 0,2 %).

У 2022 році частка населення, якому загрожувала бідність або соціальна ізоляція, була найвищою серед держав – членів ЄС у Румунії (34,4 %) та Болгарії (32,2 %). Принаймні кожен четвертий житель Греції, Іспанії, Латвії та Естонії також перебував під загрозою бідності або соціальної ізоляції. На іншому кінці діапазону менш ніж кожна шоста людина в Нідерландах, Словаччині, Фінляндії, Польщі та Словенії перебуває під загрозою бідності або соціальної ізоляції, а в Чехії цей показник становить 11,8 %.

Мікро-, малі та середні підприємства (МСП) – підприємства з кількістю зайнятих менше 250 осіб – часто називають основою економіки ЄС, що забезпечує робочі місця та можливості для зростання. У 2020 році переважна більшість (93,5 %) підприємств ЄС мали менше 10 зайнятих осіб і тому були класифіковані як мікропідприємства. Натомість лише 0,2 % усіх підприємств у ЄС у 2020 році мали 250 чи більше працівників і були класифіковані як великі підприємства. Економічна вага великих підприємств у ЄС була значно більшою з точки зору зайнятості та доданої вартості, оскільки

вони забезпечували роботою більше однієї третини (35,7 %) робочої сили ЄС у нефінансовому секторі економіки та сприяли формуванню майже половини (47,5 %) його доданої вартості.

У 2020 році в нефінансовому секторі економіки ЄС було 23,4 млн МСП. Разом на цих МСП було зайнято 82,0 млн осіб і створено 3410 млрд євро доданої вартості. Економічний внесок МСП був особливо помітним на Кіпрі, Мальті та Естонії, де МСП створили понад 75 % доданої вартості в нефінансовому секторі економіки. Внесок мікропідприємств (з чисельністю менше 10 осіб) був особливо високим у цих трьох державах – членах ЄС. Навпаки, на великі підприємства (з 250 і більше зайнятих осіб) припадало майже дві третини (65,7 %) доданої вартості в Ірландії та більше половини доданої вартості у Франції, Німеччині та Швеції.

Промислове виробництво ЄС досягло піку у квітні 2008 року на початку світової фінансової та економічної кризи. У 2009 році виробництво впало на 14,3 % порівняно з роком раніше. Подальше зростання закінчилось у 2019 році, оскільки промислове виробництво скоротилося на 0,2 %. У 2020 році, коли відчувався вплив кризи COVID-19, виробництво знизилось ще на 7,3 %. Висхідний розвиток продовжився у 2022 році, коли промислове виробництво зросло ще на 3 %.

У всьому ЄС рівень видобутку вугілля падав щороку протягом 2001–2020 рр.; у 2021 році спостерігалось відновлення, хоча обсяги виробництва залишалися значно нижчими за рівень до пандемії, та подальше швидке зростання у 2022 році. Подібна ситуація спостерігалась між 2018 та 2022 роками щодо виробництва одягу та автомобілів. Навпаки, рівень випуску фармацевтичних препаратів збільшувався майже безперервно протягом періоду 2001–2022 років (рис. 7) [10].

Дослідження, розробки та інновації є ключовими для надання наукових і технічних рішень, необхідних для вирішення глобальних суспільних проблем. У 2021 році валові внутрішні витрати ЄС на дослідження та розробки становили 328 млрд євро, що на 5,9 % більше, ніж роком раніше. У 2011 році інтенсивність досліджень і розробок в ЄС вперше піднялася вище 2 % і продовжувала зростати помірними і майже безперервними темпами до 2020 року (2,3 %). Оскільки економічна активність відновила після кризи COVID-19 швидше, ніж зростання витрат на дослідження і розробки, інтенсивність досліджень і розробок в ЄС у 2021 році впала до 2,26 %.

Споживання енергії на транспорті зростало відносно швидкими та безперервними темпами між 1990 і 2019 роками (за винятком періоду глобальної фінансово-економічної кризи), оскільки споживання в цілому зросло на 30,8 %. Навпаки, кінцеве споживання енергії в промисловості впало майже на одну чверть (зменшення на 22,9 %) за той самий період, причому особливо значне зниження споживання відбулося під час глобальної фінансово-економічної кризи у 2009 році (зниження на 13,6 %). Загальний рівень споживання енергії в ЄС впав на 5,6 % у 2020 році порівняно з 2019 роком. У 2021 році приблизно 21,8 % валового кінцевого споживання енергії в ЄС було отримано з відновлюваних джерел енергії, порівняно з 14,5 % десятиліттям раніше. У 2021 році понад три п'ятих (62,6 %) кінцевого споживання енергії в Швеції припадало на відновлювані джерела, тоді як понад дві п'ятих також було зафіксовано у Фінляндії та Латвії.

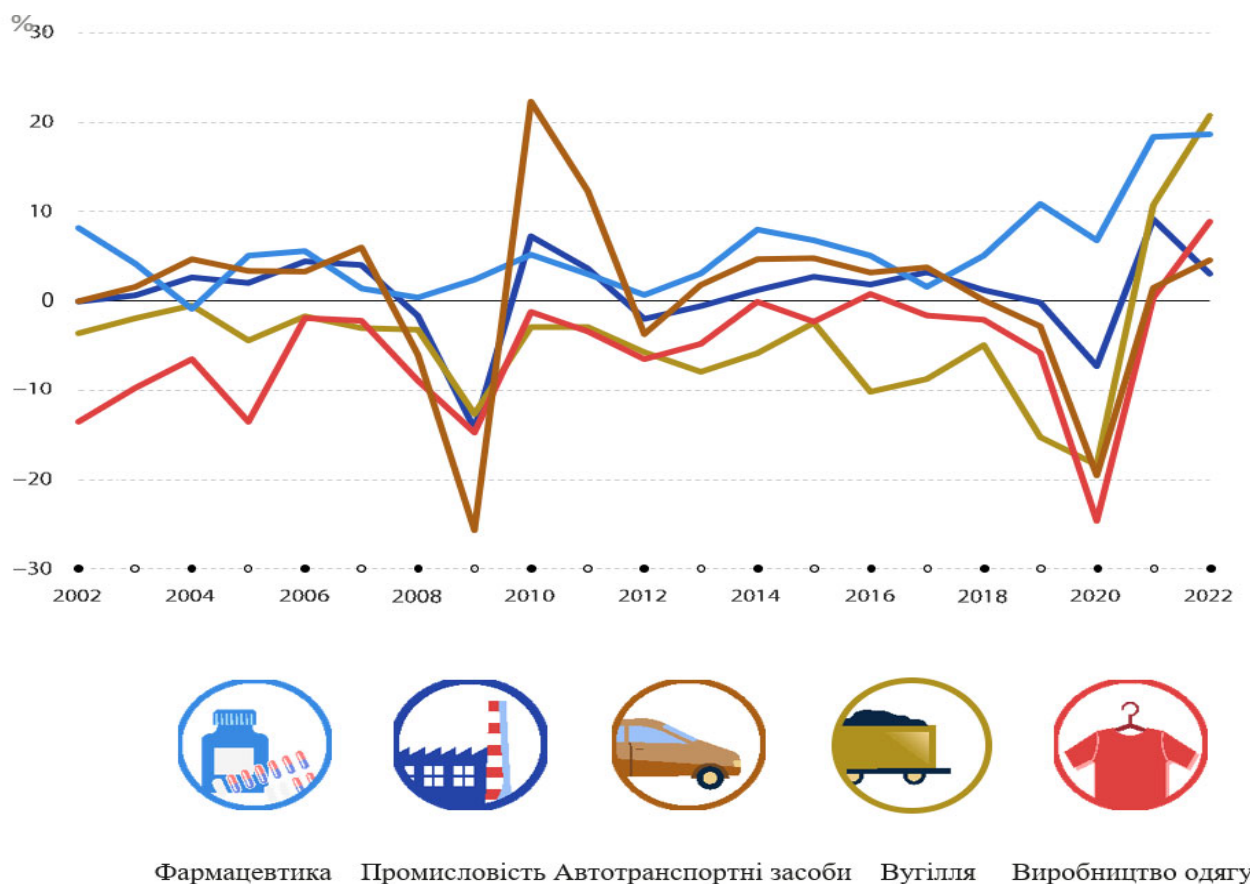


Рисунок 7 – Динаміка обсягів промислового виробництва в країнах Європейського Союзу
Figure 7 – Dynamics of industrial production in the countries of the European Union

Висновки. Таким чином, до основних пріоритетів реалізації стратегії зміцнення економічної безпеки ЄС можна віднести підвищення конкурентоспроможності й інноваційності економіки, розвиток технічної та соціальної інфраструктури, розвиток регіонів і сільських територій, посилення територіальної єдності. При цьому інноваційна діяльність розглядається як основний напрям наднаціонального та міжрегіонального співробітництва в межах Європейського Союзу.

Серед проблемних аспектів розвитку регіональної моделі ЄС визначають такі: переважно екстенсивний розвиток значної частини регіонів ЄС; надання фінансової підтримки структурними фондами насамперед для розвитку інфраструктури в депресивних регіонах без покращення їх технологічного рівня; диференціація ВВП, заробітної плати, рівнів безробіття між регіонами країн – членів ЄС, що призвело до активної міграції населення з депресивних територій країн Центральної та Східної Європи. Вказані проблеми соціально-економічного розвитку регіонів зумовлюють необхідність нових підходів до розробки та реалізації регіональної політики ЄС.

Важливу роль у формуванні нової системи європейської економічної безпеки відіграють міжнародні організації універсального чи регіонального значення. Зважаючи на те, що сучасні загрози можуть походити із зовсім віддалених регіонів, втручання міжнародних організацій є досить ефективним механізмом реагування, який має бути адекватним сучасним реаліям. Міжнародні

організації стали невід’ємною складовою соціально-економічних відносин. Поява нових організацій та розширення сфер їхнього впливу є об’єктивним проявом інтеграційних і глобалізаційних процесів сьогодення.

Покращення соціально-економічних показників розвитку регіонів ЄС та зменшення рівня їх диференціації істотно залежить від ефективної моделі управління регіональним розвитком на національному рівні, яка забезпечує мобілізацію й оптимальний розподіл не лише зовнішніх, але й внутрішніх ресурсів на основі регіонального програмування та державно-приватного партнерства. Створюючи систему національної економічної безпеки, адаптовану до міжнародних вимог, Україна бере активну участь у 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.

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. Козак Л.С., Федорук О.В. «Зелений» тренд структурних змін та бізнес-ініціативи щодо сталого розвитку економіки на глобальному та національному рівнях. Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». 2022. Випуск 111. С. 298—309. URL: <http://doi.org/10.33744/0365-8171-2022-111-298-309>
3. An EU approach to enhance economic security. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_3358/
4. European Security Strategy – Communication. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023JC0020&qid=1687525961309/>.
5. Factsheet on an EU approach to enhance economic security. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/875428/Factsheet%20Economic%20Security%20Strategy_EN.pdf/.
6. The official website of the European Parliament. Retrieved from <https://www.europarl.europa.eu/portal/en/>.
7. Key figures on Europe 2023 edition. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/15216629/17706595/KS-EI-23-001-EN-N.pdf/5df7a393-8461-9270-7eaa-91a4b1c2acc6?t=1707831012194&download=true/>
8. Eurostat An official website of the European Union. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/>.
9. The official website of the European Union. Retrieved from https://commission.europa.eu/index_en/
10. 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/>.

RESEARCH OF KEY INDICATORS OF THE STATE OF ECONOMIC SECURITY OF THE EUROPEAN UNION COUNTRIES IN THE FRAMEWORK OF THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Olesia Fedoruk, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: olesiavfedoruk@gmail.com, tel.: +380977487357, <https://orcid.org/0000-0002-7402-4174>.

Summary. The article examines the basic priorities of the EU economic security strategy. The key indicators of the economic security of the European Union countries are analyzed. The sectoral structure of value added in the EU countries is revealed. The peculiarities of implementing the strategy of strengthening the EU economic security are investigated.

The countries of the European Union are one of the most attractive investment destinations for international companies due to their open economy and secure cross-border cooperation in research and innovation. These elements will remain key drivers of European competitiveness and sustainability. Partners around the world benefit from access to European markets, capital and technology for the transition to a clean and sustainable economy.

The EU's regional policy, aimed at ensuring collective economic security, in particular by strengthening economic cohesion through assistance to the least developed regions and sectors of the EU member states, is an important element of the EU's structural policy, and along with institutional adaptation and economic integration, is considered one of the main means of influencing public welfare. However, the EU's regional policy is also not without contradictions in the distribution of funding between countries, in particular, there is a discrepancy in the receipt of funds for regional development by the new members of this association and the amount of their contributions to the common budget.

Keywords: economic security strategy, global economy, European Union countries, international companies, sustainable development, investment projects, financial and economic crisis, European markets, innovation, competitiveness, cross-border cooperation.

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. Kozak L.S., Fedoruk O.V. «Zelenyi» trend strukturnykh zmin ta biznes-initsiatyvy shchodo staloho rozvytku ekonomiky na hlobalnomu ta natsionalnomu rivniakh [Green trend of structural changes and business initiatives for the sustainable development of the economy at the global and national levels]. Naukovyi zhurnal «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo» [Scientific and Technical Journal «Automobile Roads and Road Construction»], 2022, issue 111, pp. 298–309. Access mode: <http://doi.org/10.33744/0365-8171-2022-111-298-309>
3. An EU approach to enhance economic security. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_3358/
4. European Security Strategy – Communication. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023JC0020&qid=1687525961309/>
5. Factsheet on an EU approach to enhance economic security. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/875428/Factsheet%20Economic%20Security%20Strategy_EN.pdf/

6. The official website of the European Parliament. Retrieved from <https://www.europarl.europa.eu/portal/en/>
7. Key figures on Europe 2023 edition. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/15216629/17706595/KS-EI-23-001-EN-N.pdf/5df7a393-8461-9270-7eaa-91a4b1c2acc6?t=1707831012194&download=true/>
8. Eurostat An official website of the European Union. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/>.
9. The official website of the European Union. Retrieved from https://commission.europa.eu/index_en/
10. 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/>

ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЧНО-ОРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ ОРГАНІЗАЦІЙ І ОРГАНІЗАЦІЙНИХ МЕРЕЖ В КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ НАУКОВИХ ШКІЛ СТРАТЕГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ**FORMATION OF STRATEGIC-ORIENTED MANAGEMENT OF LOGISTICS ACTIVITIES OF ORGANIZATIONS AND ORGANIZATIONAL NETWORKS IN THE CONTEXT OF THE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC SCHOOLS OF STRATEGIC MANAGEMENT**

Волинець Людмила Миколаївна, кандидат економічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Транспортного права та логістики», e-mail: Volinec_3@ukr.net, тел. +380979022993,

<https://orcid.org/0000-0002-5064-2349>

Анотація. Стаття присвячена формуванню стратегічно-орієнтованого управління логістичною діяльністю організацій і організаційних мереж на сучасному етапі в контексті наукових шкіл стратегічного управління.

У статті проведено дослідження зарубіжних і вітчизняних авторів, яке дозволило узагальнити і систематизувати підходи до стратегічного управління логістичною діяльністю організацій і організаційних мереж.

Проаналізовано сучасні умови функціонування підприємств логістичної діяльності, що сприяли зміні і розробці концептуальних положень в області довгострокового управління, яке стало носити цільовий характер. Тобто ресурси стали позиціонуватися як засіб для досягнення цілей, а стратегія складалася з декількох альтернативних варіантів зміни зовнішнього середовища. Тобто, розглядався комплекс управлінських процедур, спрямованих на формування стратегії управління логістичною діяльністю.

У статті запропоновано систематизацію періодів розвитку стратегічного управління. Розглянуто класифікація наукових шкіл та напрямів становлення та розвитку стратегічного управління. Адаптовано основні характеристики наукових шкіл стратегічного управління. Проаналізовано внесок провідних учених щодо визначення сутності стратегічного управління. Дана характеристика теорій та напрямів розвитку стратегічного управління. Означені шляхи подальшого використання підходів стратегічно-орієнтованого управління логістичною діяльністю організацій і організаційних мереж.

Ключові слова: логістична діяльність, організації, організаційні мережі, підприємства, стратегічне управління, школи стратегічного управління.

Вступ. Використання стратегічного управління логістичною діяльністю в сучасних організаціях і організаційних мережах неможливе без осмислення та аналізу першоджерел витоків в історичному аспекті. Теорія стратегічного управління була розвинута американськими дослідниками бізнесу та консультативними організаціями, що пізніше було використано в якості методів внутрішньо-організаційного планування у всіх розвинених країнах світу [1].

Підприємства логістичної діяльності змушені функціонувати у швидкоплинних умовах нестабільного зовнішнього середовища та найгострішої конкуренції. Ефективність логістичної діяльності підприємств в умовах сучасної економіки залежить від їх можливості досягнення поставлених цілей, здатності до саморозвитку, адаптації до постійно мінливих умов зовнішнього середовища й динамічності кон'юнктури ринків [2].

Тому, важливим є збереження та нарощення потенціалу підприємства логістичної діяльності, виробництво продукції відповідної якості, задоволення потреб споживачів, забезпечення довгострокових конкурентних переваг підприємства на ринку. Це більшою мірою можливе завдяки ефективному стратегічному управлінню розвитком підприємства логістичної діяльності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Великий внесок у становлення і розвиток питань стратегічного управління внесли провідні закордонні науковці Б. Альстренд, Р. Акофф, І. Ансофф, К. Боумен, К. Ендрю, М. Портер, П. Друкер, Дж. Лемпел, А. Мартіне, Х. Мінцберг, М. Мескон, А. Томпсон, Ф. Селзнік, А. Дж. Стрикленд та інші. А також вітчизняні – О. Амоша, В. Василенко, Т. Воркут, А. Геєць, А. Гальчинський, П. Гордиенко, Л. Довгань, Ю. Іванов, І. Ігнат'єва, М. Мартиненко, Б. Мізюк, Г. Осовська, О. Тищенко, А. Чухно, З. Шершнева та інші. Глибоке вивчення та осмислення літературних джерел дає підстави систематизувати низку підходів та головних напрямів, що використовуються в стратегічному управлінні.

Метою статті є дослідження еволюції стратегічного управління і систематизація підходів, які дали поштовх з можливістю подальшої трансформації у становленні та розвитку стратегічного управління логістичною діяльністю в сучасних організаціях і організаційних мережах.

Викладення основного матеріалу. В умовах нестабільності зовнішнього середовища та постійних кризових потрясінь значно ускладнюється функціонування підприємств логістичної діяльності, які змушені знаходити нові методи та механізми для збереження позицій на ринку та отримання прибутку. Запорукою виживання і розвитку є сформована стратегія та її дієве впровадження на підприємстві. Важливість стратегічного управління обумовлюється ще й тим, що частота і масштабність змін в оточуючому середовищі не завжди відповідають своєчасності здійснюваних коригуючих заходів, внаслідок чого підвищується рівень ризикованості діяльності підприємств. Тому, метою стратегічного управління підприємств логістичної діяльності є забезпечення їх життєдіяльності у довгостроковій перспективі шляхом формування заходів, які спрямовані на своєчасну реакцію суб'єкта господарювання на зміни внутрішнього та зовнішнього середовища.

Певні ускладнення використання стратегічного управління в практиці логістичною діяльністю в сучасних організаціях і організаційних мережах відбуваються саме через те, що в переважній більшості підприємстві знайомі лише з його основними поняттями, що є результатом недосконалого вивчення першоджерел витоків та формування методологічних аспектів стратегічного управління.

У теорії управління існують різні концепції, які домінували на різних етапах розвитку теорії та практики управління. Концепція управління – це система ідей, принципів, уявлень, що обумовлюють призначення організації, механізми взаємодії суб'єкта та об'єкта управління, характер відносин між окремими ланками його внутрішньої структури, а також визначають необхідний ступінь урахування впливу зовнішнього середовища на розвиток підприємства [3].

Дослідження еволюції розвитку концепцій стратегічного менеджменту дають підставу говорити про наявність різних підходів до розробки стратегії та багатозначність тлумачення складу елементів системи стратегічного управління.

У стратегічному менеджменті існують різні напрями, які по-різному розставляють дослідні акценти, виділяючи ті чи інші методологічні пріоритети. Такі напрями називаються науковими школами, а в разі теорії стратегічного управління – школами стратегічного управління [4]. Ретельне вчення та дослідження літератури, присвяченої питанням теорії, методології та практики стратегічного управління, дозволяють виокремити низку підходів, наукових шкіл та напрямів стратегічного управління.

Відповідно до сучасних уявлень виокремлення досліджень у сфері стратегічного управління організаціями в самостійну наукову дисципліну пов'язується з роботою У.Г. Ньюмана «Адміністративна діяльність: засоби організації і управління», яка побачила світ на початку 1950-х рр. [5]. Протягом наступних, розглядуваних до сьогодні, років отримали розвиток наукові школи, які суттєво різняться між собою за баченням одного із основних об'єктів дослідження в теорії стратегічного управління організаціями, – процесу формулювання, в термінології однієї групи наукових шкіл, або формування, в термінології іншої групи наукових шкіл, стратегії. Відносно

вищезазначеного бачення різняться підходи до класифікації самих наукових шкіл стратегічного управління.

Популярність шкіл обумовлена зацікавленістю як школи розвиваються, взаємозбагачуючись, узагальнюючи практичний досвід і пропонуючи варіанти стратегічних рішень для підприємств.

Грунтовний аналіз шкіл стратегічного управління розкрито в роботі Г. Мінцберга, Б. Альстренда і Дж. Лемпела [6]. Автори акцентують увагу на десяти наукових школах, які з'явилися в літературі з менеджменту з 60-х років минулого століття. (табл. 1, табл. 2).

Таблиця 1 – Характеристики наукових шкіл, виокремлюваних в стратегічному управлінні за роботою [6]

Table 1– Characteristics of scientific schools distinguished in strategic management by work [6]

Відмінні риси	Період становлення і визнання	Основоположники школи	Реальна ідея	Зміст стратегії	Базовий процес стратегії
1	2	3	4	5	6
Школа дизайну	1950-ті – середина 1960-х рр.	Ф. Селзнік А. Чандлер, К. Ендрюс та ін.	Роздуми (стратегія нічим не відрізняється від вивчення практичних прикладів)	Унікальні, заздалегідь плановані перспективи	Розумовий, простий, неформальний, продуманий (розпорядчий)
Школа планування	Середина 1960-х рр.	І. Ансофф, П. Лоранж, Дж. Штейнер	Програмування (швидше, ніж формулювання)	Плани поділяються на субстратегії та програми	Формальний, розчленування на компоненти, визначений (прескриптивний)
Школа позиціонування	Перша хвиля – 400 рр. до н.е., 1-ша половина XIX ст., друга хвиля – 1970-ті рр., третя хвиля – 1980-ті рр.	Д. Шенделл, К. Хаттен, М. Портер та ін.	Розрахунки (швидше, ніж створення або участь)	Заплановані родові позиції (економічні та конкурентні), хитрі прийоми	Аналітичний, систематичний, продуманий (розпорядчий)
Школа підприємництва	1950-ті рр.	Й. Шумпетер, А. Коул, О. Коллінз, Д. Мур	Централізація	Особистісний, унікальний погляд, пошук ніші	На основі передбачення, інтуїтивний, визначений, описовий
Когнітивна школа	Кінець 1940-х – 1950-ті рр. 1980-ті рр.	Г. Саймон, Дж. Марч	Занепокоєння або уявлення (нездатність впоратися з проблемами в будь-якому з цих випадків)	Інтелектуальний погляд (індивідуальне розуміння)	Інтелектуальний, формується «у процесі» (дескриптивний)
Школа навчання	1950-ті – 1980-ті рр., початок 1990-х рр.	Ч. Ліндблом, Р. Кайєрт, Дж. Марч, Дж. Куїнн	Гра (а не слідування наміченим курсом)	Зразки та схеми дій, унікальна	Формується «у процесі», неформальний, неорганізований (описовий)

Продовження таблиці 1

Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6
Школа влади	1970-ті рр. Кінець 1970-х – початок 1980-х рр.	Г. Аллісон, Дж. Пфеффер, Г. Салансік, Г. Естлі	Таємне володіння (і ні з ким не ділитися)	Політичні та кооперативні зразки, схеми дій, а також таємні та відкриті прийоми і методи	Конфліктний, агресивний, несподіваний (мікро), продуманий (макро)
Школа культури	Кінець 1960-х – 1970-ті рр. 1980-ті – початок 1990-х рр.	С. Фельдман, Дж. Барні, М. Фірсіроту, Ф. Рігер та ін.	Збереження (а не зміна)	Колективна, перспективна, унікальна	Ідеологічний, невільний, колективний, визначений (описовий)
Школа зовнішнього середовища	1970-ті рр. Початок 1990-х рр.	М. Ханан, Дж. Фріман, Д. Пью	«Руки вгору» (ухилення від конфліктів)	Особливі позиції	Пасивний, продиктований ззовні і тому несподіваний (дескриптивний)
Школа конфігурації	Початок 1960-х – кінець 1970-х рр.	А. Чандлер, Г. Мінцберг, Д. Міллер, Р. Майлс, К. Сноу	Класифікація, ігнорує несуттєві відмінності, революції	Будь-який зміст із попередньо розглянутих	Інтеграційний, випадковий, упорядкований

Адаптовано автором із використанням роботи [6]

Таблиця 2 – Характеристики наукових шкіл, виокремлюваних в стратегічному управлінні за роботою [6], (продовження)

Table 2– Characteristics of scientific schools distinguished in strategic management by work [6] (continuation)

Відмінні риси	Дисципліна, яка в основі	Зміни стратегії	Основна дійова особа	Керівництво	Зовнішнє середовище
1	2	3	4	5	6
Школа дизайну	Архітектура як метафора	Рідкісні, істотні	Керівник організації	Домінує, оцінює	Засіб для досягнення мети (джерело загроз або можливостей)
Школа планування	Простежується зв'язок із інженерією, плануванням міст, теорією систем, кібернетикою	Періодичні, поступові	Фахівці з планування	Прихильно сприймає процес	Поступливе

Продовження таблиці 1

Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6
Школа позиціонування	Економікс (теорія організації галузі або теорія галузових ринків), військова історія	Часткові, часті	Аналітики	Прихильно сприймає аналіз	Залежить від вимог конкуренції
Школа підприємництва	Ранні роботи написані представникам и економікс	Рідкісні, помірні, революційні	Лідер	Домінує, інтуїтивне	Кероване, багато ніш
Когнітивна школа	Психологія (когнітивна)	Рідкісні (супроводжуються опором і вибудовуються інтелектуально)	Розум	Джерело пізнання, пасивне або творче	Або нездоланне, або конструйоване
Школа навчання	Простежується віддалений зв'язок із теорією психології в навчанні і теорією хаосу в математиці	Безперервні, поступові або часткові, з рідкісними осяяннями	Той, хто навчається (усі, хто здатний)	Прихильне до навчання	Складне, непередбачуване
Школа влади	Політичні науки	Часті, часткові	Наділені владою (мікро), організація в цілому (макро)	Слабке (мікро), точно не встановлене (макро)	Суперечливе (мікро), поступливе або схильне до переговорів (макро)
Школа культури	Антропологія	Рідкісні (що супроводжуються ідеологічним опором)	Колектив	Символічне	Не істотне
Школа зовнішнього середовища	Біологія, політична соціологія	Рідкісні та істотні	«Оточення»	Безсиле	Ставить високі вимоги
Школа конфігурації	Історія	Рідкісні та революційні	Усе з інших стовпців, за контекстом	Провідник періодичних змін плюс будь-яка з інших колонок	Не істотне

Адаптовано автором із використанням роботи [6]

Ці школи можна згрупувати за характером досліджень у три групи в такій послідовності.

До *першої групи* входять три школи, що мають розпорядчий характер. Їх прихильників більше цікавить те, як мають формуватися стратегії, ніж те, як вони насправді розробляються.

Школа дизайну. Широке поширення отримала в 1960-і роки. Її засновниками є – Ф. Селзник, А. Чандлер, С. Крістенсен, К. Ендрюс. Запропонована модель стратегічного управління передбачає: 1) аналіз зовнішнього середовища за допомогою виявлення можливостей і загроз, а також ключових факторів успіху; 2) аналіз внутрішнього середовища через визначення сильних і слабких сторін підприємства; 3) оцінку і вибір стратегії з урахуванням цінностей і соціальної відповідальності вищого керівництва; 4) вибір найкращого варіанта стратегії; під стратегією авторами розуміється результат творчого розумового процесу. Передбачається, що кожна стратегія є унікальною. Функція розробки стратегії відводиться вищому керівництву. Модель, запропонована основоположниками школи дизайну, має багато прихильників, часто використовується на практиці, проте в ній недостатня увага приділена питанням послідовного розвитку, появи нової стратегії, впливу існуючої структури на стратегію і участі інших осіб у процесі розробки стратегії.

Прихильники школи дизайну прагнуть до спрощення процесу розробки стратегії, що може негативно відбиватися на результатах в разі виникнення непередбачених змін зовнішнього середовища.

Школа планування – максимальний розвиток отримала в 1970-ті роки. Засновниками є І. Ансофф, П. Лоранж, Д. Стейнер, Д. Шендель, С. Хофер, Р. Акофф [7]. Дана школа відрізняється від школи дизайну формалізованим підходом до процесу формування стратегії, і заснована на розробці всіляких процедур, що дозволяють кількісно представити цілі підприємства. Представниками даної школи визначені наступні етапи розробки стратегії: постановка завдань; зовнішній аудит; внутрішній аудит; оцінка стратегії; конкретизація стратегії щодо термінів, вибудовування ієрархії завдань, бюджетів; складання програм реалізації стратегії. В основі моделі розробки стратегії лежить конкретизація кожного кроку за допомогою алгоритмів, таблиць, програмування і розподіл етапів планування в часі. Велика увага приділяється аналітичній роботі. Вибір найкращого варіанта стратегії здійснюється з позиції «формування вартості». Формування стратегії здійснюється професійними плановиками, а керівництво виконує контролюючу роль. Новими підходами в рамках даної школи, широко вживаними на практиці в даний час, є сценарне планування і стратегічний контроль. Сценарне планування передбачає розробку найбільш ймовірних варіантів майбутнього. Стратегічний контроль покликаний концентрувати увагу керівників на виконанні стратегічних завдань. З недоліків розглянутої школи відзначимо зайву формалізацію всіх етапів розробки стратегії, яка веде до зниження активності творчого процесу, і недостатнє залучення керівництва в процес формування стратегії. Такий принцип стратегічного управління популярний серед «професійних» менеджерів, випускників МВА, особливо у Франції та в Америці.

Школа позиціонування з'явилася в 1980-і роки, її засновники М. Портер, Р. Кац, Б. Джеймс, Дж. Куїні. На відміну від шкіл планування і дизайну, школа позиціонування стверджує, що для кожної галузі є обмежене число стратегій, які можуть бути використані в конкретній ситуації [6]. Вибір таких стратегій дозволяє зайняти вигідні ринкові позиції і підвищити конкурентоспроможність. Таким чином, процес формування стратегії, згідно школі позиціонування, полягає в здійсненні вибору певної стратегічної позиції на основі аналітичних розрахунків. Кінцевий вибір стратегії залежить від структури і тенденцій розвитку ринку. Представниками цієї школи розроблені матриці BCG і McKinsey, модель п'яти конкурентних сил Портера, набір конкурентних стратегій, схема ціннісної ланцюжка. Зазначимо, що підхід школи позиціонування перш за все робить акцент на галузевих і конкурентних факторах, і недооцінює використання внутрішніх можливостей підприємства. Такий підхід до стратегічного управління популярний в Америці серед штатних аналітиків і консультантів брокерських фірм.

Другу групу складають шість шкіл, які розглядають специфічні аспекти процесу формулювання стратегії. Їх основні положення стосуються не стільки змісту стратегічної поведінки, скільки опису реальних процесів розробки стратегій.

Школа підприємництва. Представники школи – О. Коллінс, Д. Мур, Б. Берда, Г. Мінцберг, П. Друкер, Д. Макклеланд, Й. Шумпетер. Засновники цієї школи стверджують, що процесом розробки стратегії повинна управляти одна людина – керівник підприємства, яким повинні бути притаманні такі риси як інтуїція, проникливість, досвід. Під стратегією розуміється перспектива, яка асоціюється з ідеєю та інтуїтивним вибором напрямку розвитку, так зване «бачення». Підхід школи підприємництва добре застосовується до нових підприємств, недовго існуючих на ринку. Його сильними сторонами є максимальне застосування творчого підходу, гнучкість. Однак підхід є ризиковим, оскільки правильність вибору стратегії залежить від компетентності керівника підприємства. Цей стиль стратегічного управління поширений в Латинській Америці і серед китайців, що живуть за межами Китаю.

Когнітивна школа. Основоположники – М. Лайлс, Р. К. Рєгер, Е. Хафф, Г. Томас, Г. Саймон, С. Макрідакіс. Підхід даної школи заснований на положеннях когнітивної психології. Процес розробки стратегії досліджується прихильниками школи як пізнавальний процес, всі зусилля спрямовані на розуміння творчих актів, результатами яких є стратегія. В рамках когнітивної школи представлені рекомендації для менеджерів для поліпшення навичок аналізу і структурування інформації. Дана школа не розглядає яким чином стратег повинен узагальнювати великі масиви різної інформації, що може призводити до спотворених результатів в процесі розробки стратегії, не пояснені механізми оптимізації стратегії, необхідності її адаптації до ринкових змін. У той же час, когнітивна школа перша з перерахованих вище зробила акцент на тому, що формування стратегії – це ментальний процес, в ході якого стратеги не просто використовують можливості зовнішнього середовища або вибирають найкращу позицію на ринку, але можуть створювати нову реальність і втілювати її в життя.

Школа навчання. Основоположники – Р. Лапьер, Ч. Ліндблом, Г. Рєпп, С. Уінтер. Розробку стратегії представники цієї школи розглядають як процес безперервного індивідуального або колективного навчання. Стратегія формується в міру розвитку навичок, самонавчання підприємства. Стратегічні ініціативи виходять від тих, хто має можливості для навчання. Підхід школи навчання не передбачає наявності чіткого довгострокового плану розвитку, стратегія формується «на ходу», в залежності від накопиченого досвіду, що може привести до негативних наслідків в разі нестабільності зовнішнього середовища. Розуміння стратегічного управління як безперервного навчання найбільш поширене в Японії і в країнах Скандинавії.

Школа влади. Представники – А. Макміллан, Д. Сарразін, Е. Петтігрю, Дж. Боуер, Й. Доза. Розробка стратегії в рамках даної школи розглядається як процес ведення переговорів між конфліктуючими сторонами як всередині підприємства, так між підприємства і зовнішнім середовищем. Авторами школи описуються способи створення формальних і неформальних альянсів, діяльність яких спрямована на отримання більшого контролю над всілякими ресурсами. Школа влади підкреслює важливість політичних методів для здійснення стратегічних змін в тих випадках, коли доводиться протистояти особам, зацікавленим у збереженні поточного стану підприємства. Проте надмірне захоплення політичними інструментами може призводити до деструктивних змін. Вивчивши основні положення школи влади, зроблено висновок, що в даному підході недостатньо уваги приділяється позитивному лідерству та організаційній культурі. Особливо велике значення політичний ресурс набуває за часів серйозних змін і дестабілізації, так само як і під час застою, а також на великих стійких підприємствах. Даний підхід особливо популярний у Франції.

Школа культури розвивалася в 1980 –1990-і роки. Засновники – Е. Петтігрю, Д. Джонсон, С. Фельдман, Дж. Лорш, Дж. Спендер, К. Рот, Д. Дікс, Ф. Рігер. Згідно з уявленнями даної школи, формування стратегії – це процес соціальної взаємодії, заснований на загальних для членів підприємства переконаннях і розумінні [6]. Підхід, запропонований школою культури, доцільно застосовувати на стадіях росту і зрілості підприємства, коли є необхідність зміцнення організаційної культури. В цілому даний підхід спрямований на встановлення сталості в управлінні, і може протистояти змінам. Як і школа навчання, школа культури має найбільше число прихильників в Японії і країнах Скандинавії.

Школа зовнішнього середовища. Основоположники школи – Д. Міллер, Г. Мінцберг, М. Хананом та Дж. Фріман. Представники школи підкреслюють пріоритетну роль факторів зовнішнього середовища в процесі формування стратегії. Підприємство повинно гнучко реагувати і адаптуватися під зміни зовнішнього оточення, в іншому випадку йому доведеться піти з ринку. При цьому керівництво підприємства грає пасивну роль в стратегічному процесі. Відзначимо абстрактність стратегій, запропонованих школою зовнішнього середовища, підхід даної школи має на увазі лише гнучке реагування на зміну зовнішнього середовища, але не розглядає варіанти розвитку за допомогою внутрішніх ресурсів. Розуміння стратегії як реактивного процесу особливо поширене в англосаксонських країнах серед позитивістів і класифікаторів.

До *третьої групи* належить школа конфігурації. Вона містить підходи, що виходять зі змісту стратегії, процесу їх формування, організаційної структури та зовнішнього середовища, а також послідовності стадій життєвого циклу.

Школа конфігурації. Основні представники школи – Д. Міллер, П. Хандавалл, М. Бір. Основна ідея школи полягає в тому, що будь-яке підприємство в період стабільності являє собою певну конфігурацію організаційних структур, форм, наборів стратегій. В перехідний період відбувається трансформація – квантовий стрибок підприємства в нову конфігурацію. Таким чином, мета планування стратегії полягає в забезпеченні управління процесом переходу і збереження стійкості підприємства. Розробка стратегії може здійснюватися через формальне планування, систематичний аналіз або бачення, індивідуальне або колективне навчання, колективну соціалізацію або реагування на зміну зовнішнього середовища. Те, який вигляд прийме кінцева стратегія (плани, схеми, таблиці, позиції, перспективи або умови), залежить від конкретної ситуації, в якій знаходиться підприємство. Підхід теорії конфігурації найбільш доцільно застосовувати для великих диверсифікованих підприємств, які довгий час пручаються стратегічних змін, так як з допомогою різких трансформацій досягається певний розвиток підприємств. Однак для більшості підприємств зручна модель поступових змін. Школа конфігурації найбільш популярна в Голландії і Німеччині, а ідеї трансформації поширені в США.

Класифікація шкіл стратегій, запропонована Г. Мінцбергом, Б. Альстрендом і Дж. Лемпелом [6], становить певний науковий інтерес. Автори детально аналізують кожну з виділених шкіл, дають їм критичну оцінку, ретельно аргументують класифікацію підходів до процесу вироблення стратегії розвитку підприємства, використовуючи при цьому величезну кількість літературних джерел. Кожна школа акцентує увагу на певних моделях та методах розробки стратегії, однак більш глибокий аналіз змістовних характеристик виділених наукових шкіл доводить багатоаспектність даного питання. По-перше, слід зазначити, що не існує єдиного «ідеального» підходу, а по-друге, правомірним є використання досягнень і результатів кожної зі шкіл в арсеналі засобів стратегічного управління підприємством. Як видно з табл. 1 і табл. 2, існує велика розмаїтість у теоретичних вихідних позиціях, що ще раз підтверджує складність предмета даної наукової сфери.

Висновки. Таким чином, на сучасному етапі в теорії стратегічне управління повинно забезпечувати виживання і розвиток підприємств логістичної діяльності у мінливих умовах зовнішнього середовища за рахунок стратегічного аналізу зовнішнього та внутрішнього середовища, правильного формування місії і встановлення стратегічних цілей, обґрунтованого вибору і ефективної реалізації стратегій їх досягнення. Під час реалізації стратегії підприємства потрібно задіяти всі структурні елементи, які входять до структури підприємства, а саме: управлінський, кадровий, виробничий, фінансовий та інші [6]. Умовою реалізації стратегії буде досягнення конкурентних переваг організацій і організаційних мереж логістичної діяльності на ринку. Орієнтація підприємства логістичної діяльності вирішення проблем довгострокового зростання і розвитку передбачає використання моделей, методів та інструментів стратегічного управління. Об'єднання цих концептуальних підходів дозволить підвищити ефективність роботи організацій і організаційних мереж логістичної діяльності.

Перелік посилань

1. Волинець Л.М., Зачосова Н.В., Халацька І.І., Бичкова Н.Д., Яковенко М.С. Стратегічне управління розвитком персоналу як елемент кадрової політики підприємства. *Вісник Національного транспортного університету*. Серія «Економічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 4 (54).
2. Волинець Л.М., Янішевський А.А. Підвищення ефективності логістичної діяльності в Україні на основі принципів сталого розвитку. Стратегічні орієнтири сталого розвитку в Україні та світі: збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених (м. Чернігів, 21 квітня 2023 р.). – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – 606 с.
3. Шершньова, З. Є. Стратегічне управління : [підручник] (2-ге вид., перероб. і доп.). 2004. Київ: КНЕУ. 699 с.
4. Воркут Т.А., Білоног О.Є., Дмитриченко А.М., Петунін А.В., Срібна Н.В., Третиниченко Ю.О. Портфельно-орієнтоване управління в організаційних мережах. Монографія. Київ: Міленіум, 2021. 226 с.
5. Kaplan, R. S., & Norton, D. P. The Strategy-Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment. Harvard Business Review Press. 2000. 504 с.
6. Mintzberg, H., Lampel J., Ahlstrand B. Strategy Safari: A Guided Tour Through The Wilds of Strategic Management. Free Press. 2001. 416 с
7. Сталінська, О. В. Реалізація принципів сталого розвитку в стратегічному управлінні підприємством: монографія. Донецьк: НАН України, Ін-т економіки пром-сті. 2012. 320 с.

FORMATION OF STRATEGIC-ORIENTED MANAGEMENT OF LOGISTICS ACTIVITIES OF ORGANIZATIONS AND ORGANIZATIONAL NETWORKS IN THE CONTEXT OF THE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC SCHOOLS OF STRATEGIC MANAGEMENT

Lyudmyla Volynets^{*}, PhD, professor, National Transport University, professor of Department of transport Law and Logistics, e-mail: Volynec_3@ukr.net, tel. +380979022993, orcid.org/0000-0002-5064-2349

Summary. The article is devoted to the formation of strategic management of logistics activities of organizations and organizational networks at the current stage in the context of scientific schools of strategic management.

In the article, a study of foreign and domestic authors was carried out, which made it possible to generalize and systematize approaches to strategic management of logistics activities of organizations and organizational networks.

The modern operating conditions of logistics enterprises were analyzed, which contributed to the change and development of conceptual provisions in the field of long-term management, which began to have a target character. That is, resources began to be positioned as a means to achieve goals, and the strategy consisted of several alternative options for changing the external environment. That is, a set of management procedures aimed at forming a logistics activity management strategy was considered.

The article proposes a systematization of the periods of development of strategic management. The classification of scientific schools and directions of formation and development of strategic management is considered. The main characteristics of scientific schools of strategic management have been adapted. The contribution of leading scientists to the definition of the essence of strategic management is analyzed. This is a description of the theories and directions of development of strategic management. Ways of further use of approaches of strategic-oriented management of logistics activities of organizations and organizational networks are identified.

Key words: logistics activity, organizations, organizational networks, enterprises, strategic management, schools of strategic management.

References

1. Volynets, L.M., Zachosova, N.V., Khalatska, I.I., Bychkova, N.D., & Yakovenko, M.S. (2022). Stratehichne upravlinnia rozvytkom personalu yak element kadrovoi polityky pidpriemstva [Strategic management of personnel development as an element of enterprise personnel policy]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya "Ekonomichni nauky". Naukovyi zhurnal. - Bulletin of the National Transport University. Series "Economic Sciences". Scientific journal.* Kyiv: NTU. Issue 4 (54).
2. Volynets L.M., Yanishevskiy A.A. (2023). Pidvyshchennia efektyvnosti lohistychnoi diialnosti v Ukraini na osnovi pryntsyviv staloho rozvytku [Increasing the efficiency of logistics activities in Ukraine based on the principles of sustainable development] Stratehichni oriientyry staloho rozvytku v Ukraini ta sviti: zbirnyk tez dopovidei II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh uchenykh (Chernihiv, April 21, 2023). Chernihiv: NU "Chernihiv Polytechnic"(in Ukrainian).
3. Shershneva, Z.Ye. (2004). Strategic Management: [textbook] (2nd ed., revised and enlarged). Kyiv: KNEU.
4. Vorkut T.A., Bilonoh O.Ye., Dmytrychenko A.M., Petunin A.V., Sribna N.V. Tretynychenko Yu.O. U (2021). Portfelno-oriientovane upravlinnia v orhanizatsiinykh merezhakh [Portfolio-oriented management in organizational networks. Monograph]. Kiev: Millennium. (in Ukrainian).
5. Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2000). The Strategy-Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment. *Harvard Business Review Press*.
6. Mintzberg, H., Lampel, J., & Ahlstrand, B. (2001). Strategy Safari: A Guided Tour Through The Wilds of Strategic Management. *Free Press*.
7. Stalinska, O.V. (2012). Realizatsiia printsypiv staloho rozvytku v stratehichnomu upravlinni pidpriemstvom: monohrafiia. [Implementation of Sustainable Development Principles in Strategic Enterprise Management: Monograph]. Donetsk: NAN Ukrainy, Instytut ekonomiky promyslovosti – Donetsk: National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Industrial Economics.

УДК: 656.1/5

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-208-216

УДК: 656.1/5

**КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ У
СУЧАСНИХ УМОВАХ**

**CONCEPTUAL PRINCIPLES OF THE ORGANIZATION OF TRANSPORT SERVICES IN
MODERN CONDITIONS**



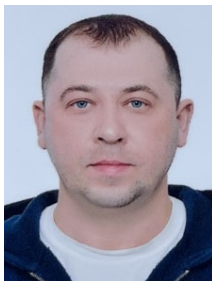
***Коваленко Наталія Василівна**, доктор економічних наук, професор кафедри «Менеджмент». Національний транспортний університет, Київ, Україна, kovalenko-nv@ukr.net,*

<https://orcid.org/0000-0001-8011-1373>



***Малахова Юлія Анатоліївна**, кандидат економічних наук, доцент кафедри «Менеджмент». Національний транспортний університет, Київ, Україна, yu.malakhova@ntu.edu.ua,*

<https://orcid.org/0000-0002-8769-7597>



***Константинов Ярослав Олександрович**, аспірант кафедри менеджменту, Національний транспортний університет, Київ, Україна, y.konstantinov0508@gmail.com*

<https://orcid.org/0009-0002-1003-9075>



***Хміль Сергій Миколайович**, аспірант кафедри менеджменту, Національний транспортний університет, Київ, Україна, melance.77@gmail.com*

<https://orcid.org/0009-0008-7374-6205>

Анотація. Стаття присвячена дослідженню концептуальних засад організації транспортних послуг у сучасних умовах. Для того, щоб в умовах воєнного стану та у післявоєнний період транспортна галузь України ефективно функціонувала та конкурувала, розвивалася, транспортні послуги повинні розглядатися як комерційна діяльність з погляду транспортних підприємств та дія, що призводить до корисного ефекту з погляду споживачів.

У статті всебічно розглядаються дефініції транспортних послуг, що закріплені у законодавчих актах України, та власні точки зору науковців. Проаналізовано обсяги вантажних перевезень та перевезень пасажирів за 2021-2023 рр. Описано головні зовнішні фактори, які стримують розвиток транспортної діяльності в Україні, але вирішення цих проблем може водночас стимулювати інвестиції в транспортну інфраструктуру, сприяти розвитку міжнародних транспортних маршрутів та підвищити конкурентоспроможність країни на світовому ринку. Виокремлено групу факторів, які є необхідними для розвитку галузі та можуть мати свої віддзеркалення в обмеженнях або проблемах у розвитку ринку перевезень, але в той же час їх вирішення або впровадження може сприяти стимулюванню попиту на транспортні послуги та загальному розвитку цього ринку. Фактори, що впливають на розвиток ринку перевезень виокремлено у три групи: перша група факторів визначає вплив на загальну кон'юнктуру економіки держави та соціально-політичний стан; друга група фактори, що впливають на діяльність вантажних перевізників та третя група - фактори, що впливають на пасажирських перевізників. Визначено, що концепція синергічної транспортної послуги сприяє створенню комплексної та оптимізованої транспортної системи, підвищуючи зручність, швидкість та ефективність переміщення, зменшуючи витрати часу та грошей для споживачів. Результати дослідження в подальшому можуть бути використані в управлінні розвитком транспортних підприємств, що сприятиме підвищенню їх економічної ефективності та конкурентоспроможності.

Ключові слова: транспортна послуга, організація, конкурентоспроможність, обсяг перевезень, розвиток транспортного сектору, синергетична транспортна послуга.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Стратегічна мета розвитку транспортних послуг в Україні полягає у створенні конкурентоспроможних транспортних перевезень, орієнтованих на максимальне задоволення потреб суб'єктів транспортно-дорожнього комплексу України. Досягнення поставленої мети вимагає часу, матеріально-технічних, фінансових ресурсів, що, в свою чергу, залежить від макроекономічної та фінансової стабільності, зовнішньої політики та інституційних умов. Тому важливим є вибір правильної тактики дій на найближчі роки. При цьому слід виходити з об'єктивного аналізу реальної економічної ситуації, оцінки наявних тенденцій та прогнозу можливих змін у соціально-економічному становищі країни.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанню аналізу концептуальних засад транспортних послуг присвячено багато наукових досліджень. Аналіз наукових праць щодо організації транспортних послуг вітчизняними науковцями, серед яких Бабич В.П., Дейнека О.Г., Новікова А.М., Пашенко Ю.Є., Скидоненко Н.В., Шинкаренко В.Г. та ін. і зарубіжними науковцями - Є.Майлз, Дж. Сундбо, Ф. Галлуата, М. Міозз, Л. Соет та ін., що концептуальні засади організації транспортних послуг у сучасних умовах потребують подальшого дослідження.

Мета статті. Метою статті є узагальнення концептуальних засад транспортної послуги для подальшого запровадження у контексті управління розвитком транспортних підприємств.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вторгнення Російської Федерації на територію України призвело до надзвичайних втрат для української економіки та населення, війна спричинила руйнівні наслідки для вітчизняної та світової економік, знижуючи темпи росту, пришвидшуючи інфляцію та підвищуючи ціни на продовольство та паливо. Процес економічного розвитку України знаходиться під впливом значної кількості факторів створюючи можливості для інноваційного економічного зростання. Інноваційне економічне зростання базується на розвитку науково-технічного

прогресу, підвищенні національної безпеки України, ухваленні соціально важливих рішень, формулюванні стратегій розвитку галузей.

Відповідно до Розпорядження КМУ від 30 травня 2018 р. № 430-Р «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» транспортна галузь є однією з ключових галузей економіки, яка включає розвинену залізничну мережу, мережу автомобільних доріг, морські порти, річкові термінали, аеропорти та широку мережу авіаційних сполучень, а також вантажні митні термінали, що створює необхідні умови для задоволення потреб користувачів у транспортних послугах та розвитку підприємницької діяльності.

Транспорт є однією з найважливіших галузей суспільного виробництва і покликаний задовольняти потреби населення та суспільного виробництва в перевезеннях [2]. Розвиток і вдосконалення транспортної інфраструктури та транспортних засобів є важливою складовою стратегії розвитку країни. Державні цільові програми встановлюють конкретні завдання, цілі і напрямки розвитку транспорту, а також визначають інвестиційні потреби і механізми їх фінансування. Ці програми розробляються з урахуванням потреб суспільства, економічних та екологічних вимог, а також залучають наукові й технічні знання та досягнення для впровадження сучасних технологій у транспортну сферу.

Поняття транспортних послуг закріплюються у законодавчих актах України, які регулюють діяльність різних видів транспорту. Відповідно до ЗУ «Про транспорт» транспортна послуга - перевезення вантажів та комплекс допоміжних операцій, що пов'язані з доставкою вантажів автомобільним транспортом [2]. Відповідно до Правил перевезення вантажів автомобільним транспортом в Україні» послуга з перевезення пасажирів чи вантажів - перевезення пасажирів чи вантажів транспортними засобами на договірних умовах із замовником послуги за плату [3]. Відповідно до ЗУ «Про міський електричний транспорт» транспортні послуги - перевезення пасажирів та їх багажу міським електричним транспортом, а також надання інших послуг, пов'язаних з таким перевезенням [1].

Вітчизняне законодавство не містить комплексного визначення поняття «транспортна послуга» обмежуючись лише окремими видами транспорту. Ця прогалина надає можливість науковцям формулювати власні точки зору щодо дефініції транспортних послуг, тому проаналізуємо деякі основні трактування (табл. 1).

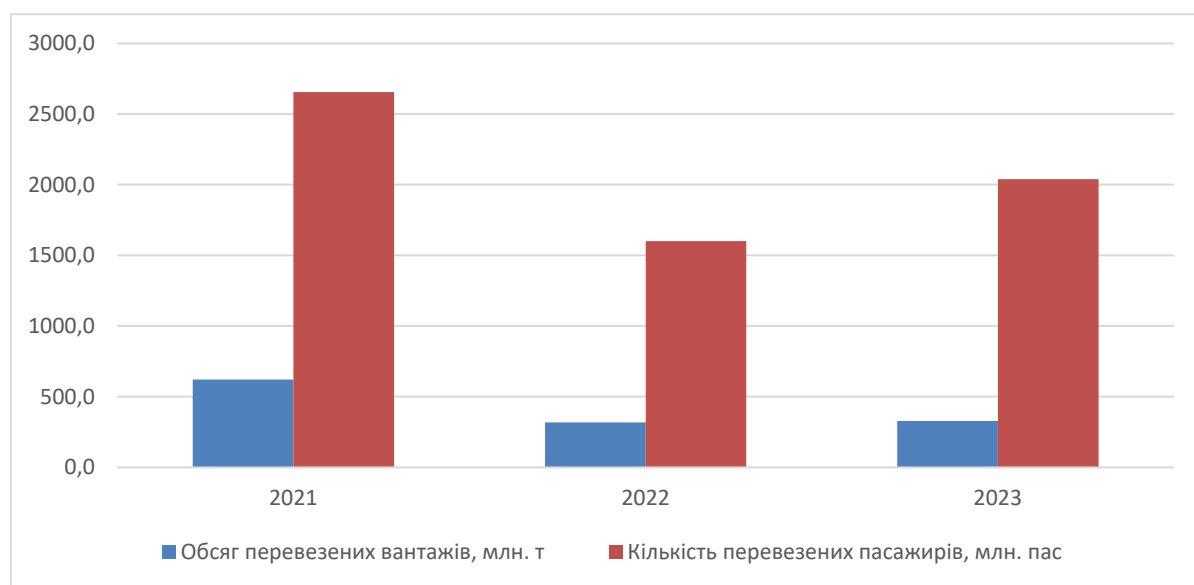
Як видно із вище представленої таблиці, визначення поняття «транспортна послуга» стосується різних підходів до визначення теоретичної складової даного визначення. Проте варто вказати, що всі ці підходи ґрунтуються на виробленні певних дій, направлених на чітко визначений результат для транспортного підприємства та споживача транспортних послуг. Для транспортного підприємства – транспортна послуга розглядається як комерційна діяльність, що пов'язана із переміщенням вантажів і пасажирів. Для споживача – транспортна послуга розглядається як дія, що призводить до корисного ефекту, задовольняючи його потреби у переміщенні.

Після початку повномасштабного вторгнення ситуація на ринку перевезень виявилася практично катастрофічною, з чотирьох традиційних сегментів ринку, а саме авіаційного, морського, залізничного та автомобільного, діяльність перших двох фактично була призупинена, оскільки повітряний простір та більшість морських портів України були закриті після введення режиму воєнного стану. Таким чином, на залізничний та автомобільний транспорт було покладено завдання компенсувати втрачені ресурси галузі.

Таблиця 1 – Трактування поняття «транспортна послуга» Джерело: [4,5,6, 9, 10]**Table 1** – Interpretation of the concept of "transportation service" Source: [4,5,6, 9, 10]

Джерело	Трактування терміна
Бичікова Л.А. [4]	Будь-яка операція, яка хоча і не входить до складу традиційного процесу перевезення, але цілком і повністю пов'язана з його підготовкою і проведенням.
Брайковська А.М. [5]	Процес переміщення вантажів та пасажирів, а також комплексу супутніх операцій та робіт, що пов'язані з його підготовкою та здійсненням.
Власенко Д.О. [6]	Результат транспортної роботи з переміщення вантажів і пасажирів (предмет послуги), а також сукупності супутніх, доповнюючих перевізний процес операцій, які виконуються транспортним підприємством (суб'єкт послуги) за попередньою заявою клієнта (об'єкт послуги).
Матвєєва А.В. [10]	Сукупність зобов'язань, урегульованих нормами права, опосередкованих відповідними договорами, забезпечених господарсько-правовими засобами державного регулювання, та пов'язаних із фізичним переміщенням у просторі пасажирів, багажу, вантажів
Лукашевич-Крутник І. С. [9]	Дія або сукупність дій (діяльність), спрямованих на здійснення перевезення та (або) надання інших допоміжних для здійснення переміщення пасажирів, багажів, вантажів операцій.

Вітчизняний ринок транспортних послуг зазнав значних під впливом змін економічних умов, транспортних маршрутів, соціальних умов. Транспортні компанії та уряд працюють разом для забезпечення безперебійного функціонування транспортної системи та забезпечення потреб населення та економіки (рис. 1).

**Рисунок 1** – Обсяг перевезених вантажів та пасажирів в Україні 2022–2023* рр. Джерело: [7]**Figure 1** – Volume of transported cargo and passengers in Ukraine in 2022–2023* Source: [7]

* Дані наведено без урахування тимчасово окупованих Російською Федерацією територій та частини територій, на яких ведуться (велись) бойові дії.

У 2023 році обсяг перевезень вантажів збільшився на 3,3% у порівнянні з 2022 роком (327,9 млн.т). Проте це на 47,2% менше, ніж у 2021 році, коли обсяг перевезень вантажів 621,3 млн т. Щодо пасажирських перевезень, у 2023 році перевезено близько 2 мільярдів пасажирів, що на 27,4% більше, ніж у 2022 році (1,6 млрд.). Проте це на 23,2% менше, ніж у 2021 році, коли було перевезено близько 2,66 млрд. пасажирів.

У цілому, у порівнянні з 2021 роком, обсяг вантажних перевезень скоротився на 43,6%, а пасажирських - на 37,2%, при цьому, важливо зазначити, що у 2022 році спостерігалось значне скорочення обсягів перевезень: 49% - вантажних та 40% - пасажирських.

Залізничним транспортом протягом 2023 року перевезено 148,4 млн. тон вантажів та 41,26 млн. пасажирів приміськими поїздами, 25 млн пасажирів поїздами далекого сполучення, до країн Європи - 2,1 млн пасажирів. Упродовж 2022 року Україна повністю перенаправила свій експорт до країн ЄС, частка експорту зросла з 40,4% на початку 2022 року до 68,8% у листопаді того ж року. При цьому у III кварталі 2022 року відбулося уповільнення зростання тарифів на автомобільні перевезення в ЄС, а у IV кварталі - падіння цін на перевезення, що викликано уповільненням споживання та промислового виробництва в Європі. Зменшення виробництва призвело до зниження попиту на транспортні послуги, особливо на експортних маршрутах. Незважаючи на зниження попиту, тарифи на перевезення залишалися високими через високу вартість пального, дефіциту водіїв, факторів, що утримують тарифи на високому рівні (екологічні та технологічні вимоги), та запроваджене ембарго на дизельне паливо з Росії. Перевізники встановлюють високі тарифи через обмежені можливості зниження цін у зв'язку з високими витратами та внутрішніми обмеженнями на ринку.

Драйвери перевезень формують фактори, які є основною рушійною силою перевезень, звичайно, що проблеми вітчизняної економіки зачіпають функціонування транспорту в багатьох його аспектах. На даний час об'єктивною реальністю є розвиток автомобільного та залізничного транспорту як основних елементів системи вітчизняного транспорту.

Цінність транспортної послуги – це суб'єктивна характеристика, яка відображає міру значущості послуги з перевезення для кожного конкретного пасажирів. Переважний вплив на споживчу цінність транспортної послуги формує стан транспортних засобів, комфорт, професійність водіїв. Послуга з перевезення коштує стільки, скільки готовий заплатити пасажир, а скільки за нього заплатить пасажир залежить від тієї цінності, яку він очікує отримати від надання транспортної послуги [8].

Взаємодія державних та приватних суб'єктів на ринку транспортних послуг формує глобальну систему, яка визначає ефективність та розвиток економіки країни, а також підприємств, їх співпраця визначається партнерством, що впливає на організацію процесів перевезень пасажирів та вантажів. Одним із ключових факторів для збільшення обсягу перевезень є зниження вартості транспортних послуг. Це досягається шляхом оптимізації виробничих процесів, впровадження інноваційних технологій, співпраці у використанні транспортних мереж, а також шляхом підтримки з боку держави у формі стимулюючих заходів та регулювання ринку. Отже, ефективна взаємодія держави та приватного сектору сприяє зростанню обсягів перевезень, що в свою чергу сприяє розвитку економіки країни та підприємств.

Головними зовнішніми факторами, які стримують розвиток транспортної діяльності в Україні є:

- конфлікти та напружені міжнародні відносини, що призводять до обмежень у міжнародних транспортних зв'язках та ускладнюють експорт та імпорт товарів і послуг;
- економічні обмеження до фінансових ресурсів, ринків, технологій, що ускладнюють розвиток транспортного сектору;
- зміни глобальної економіки, які призводять до коливання валютних курсів, цін на нафту та інші сировинні матеріали та впливають на вартість перевезень та загальну ефективність транспортних компаній;

- укладення та зміна торгівельних угод, що впливає на умови та обсяги міжнародних перевезень та на доступ до ринків інших країн;

- транспортна інфраструктура, що впливає на доступність маршрутів та транспортних вузлів.

В зовнішньому середовищі формуються основні характеристики ринку транспортних послуг: тип, ємність, конкуренти, склад, трудові ресурси тощо. Група факторів передбачає наявність чинників, які є необхідними для розвитку галузі та є найбільш суттєвими для досягнення поставленої мети (табл. 2).

Таблиця 2 – Фактори, що впливають на розвиток вітчизняного ринку перевезень Джерело: запропоновано авторами

Table 2 – Factors affecting the development of the domestic transportation market Source: suggested by the authors

Група факторів	Фактори, що стимулюють зростання попиту на перевезення	Фактори, що стримують попит на перевезення
Фактори, що впливають на загальну кон'юнктуру економіки держави та соціально-політичний стан	Зростання ВВП, розвиток зовнішньоекономічних відносин, зростання доходів громадян, лібералізація ринку, діджиталізація	Спад ВВП, військові дії, девальвація національної валюти, зменшення обсягів експорту та імпорту, блокада спільних з Україною прикордонних переходів
Фактори, що впливають на діяльність вантажних перевізників	Наявність та інвестиції у транспортну інфраструктуру, нові транспортні маршрути, розвиток інтермодальних та мультимодальних перевезень	Наявність компанії-монополіста, нерозвинена інфраструктура, неможливість забезпечити безпеку перевезень
Фактори, що впливають на діяльність пасажирських перевізників	Запровадження нових технологій, модернізація транспортних засобів, розвиток мережі представництв підприємства	Низька ефективність парку транспортних засобів, зростання експлуатаційних витрат, складність залучення інвестицій

Фактори, що впливають на розвиток ринку перевезень виокремлено у три групи. До першої групи відносяться ті, що залежать від економічної та соціально-політичної ситуації у державі загалом. До другої групи доцільно віднести тих, які здійснюють лише вантажні перевезення. До третьої групи необхідно віднести фактори, що впливають на пасажирських перевізників. Отже, для успішного розвитку ринку перевезень необхідним є комплексний підхід до його розвитку. Тільки за умови взаємозв'язку та взаємодії всіх складових транспортного комплексу можна досягти його ефективного розвитку та забезпечення потреб населення та економіки країни.

Транспортний комплекс України складається з різних видів транспорту, які функціонують взаємозалежно і мають взаємозв'язок між собою. Розвиток цього комплексу потребує не лише окремих заходів вдосконалення кожного виду транспорту, але й врахування їх взаємодії та синергії. Наприклад, покращення інфраструктури залізничного транспорту може позитивно вплинути на логістику вантажних перевезень, а розвиток автомобільних шляхів може полегшити доступ до залізничних вокзалів та інших транспортних вузлів. Крім того, комплексний підхід передбачає координацію зусиль між різними галузями влади, приватним сектором, науковими установами та громадськістю для досягнення спільних цілей щодо розвитку транспортного сектору.

Синергетична транспортна послуга - це концепція, за якої різні види транспорту співпрацюють між собою для забезпечення більш ефективного та зручного переміщення пасажирів або вантажів. Сутність послуги полягає в тому, щоб об'єднати різні види транспорту - залізничний, автомобільний,

водний, повітряний та інші - для створення комплексної та оптимізованої транспортної системи, підвищивши зручність, швидкість та ефективність переміщення, зменшивши витрати часу та грошей для споживачів.

Висновки. Отже, розвиток транспортного комплексу України можна розглядати з погляду концепції синергетичної транспортної послуги, що сприяє підвищенню ефективності транспортної системи за рахунок оптимізації використання різних видів транспорту; зростанню конкурентоспроможності за рахунок оптимізації транспортної інфраструктури та покращенню логістичних процесів; зниженню витрат для підприємств за рахунок зменшення витрат на паливо, платіжних витрат тощо; розвитку інфраструктури за рахунок об'єднання зусиль споріднених підприємств та державних інституцій за кластерною моделлю.

Перелік посилань

1. Закон України «Про міський електричний транспорт» від 29 червня 2004 р № 1914 – IV URL : <https://zakon.rada.gov.ua/>
2. Закон України «Про транспорт» від 10.11.1994 № 232/94-ВР. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/>
3. Наказ Міністерства транспорту України від 14.10.97 N 363 «Про затвердження правил перевезення вантажів автомобільним транспортом в Україні» URL : <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0128-98>
4. Бичікова Л. А. Тенденції розвитку сфери транспортних послуг. *Вісник. Хмельницького національного університету*. 2014. № 6. С. 33–36
5. Брайковська А.М. Дослідження особливостей формування ринку транспортних послуг як середовища функціонування підприємств транспорту. *Економіст*. 2012. №9 С. 50-54.
6. Власенко Д. О. Теоретико-методичні підходи до визначення особливостей маркетингу транспортних послуг. 2010. URL : <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/25672/3/market.pdf>
7. Державна служба статистики України. URL : <https://www.ukrstat.gov.ua/>
8. Коваленко Н.В., Малахова Ю.А. Особливості ціноутворення міжнародних транспортних послуг. *Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво»*. 2022. Вип. 112 С. 441-449. DOI: 10.33744/0365-8171-2022-112-441-449
9. Лукасевич-Крутник І. С. Поняття та ознаки транспортних послуг. *Юридичний вісник. Повітряне і космічне право*. 2016. № 2. С. 113-117.
10. Матвеева А.В. Ринок транспортних послуг: поняття, учасники та об'єкти. *Вісник Академії правових наук України*. 2011. Вип. 1 (64) С. 135-143.

CONCEPTUAL PRINCIPLES OF THE ORGANIZATION OF TRANSPORT SERVICES IN MODERN CONDITIONS

Nataliia Kovalenko, Dr. of Economics, Professor of the Department of Management, National Transport University, kovalenko-nv@ukr.net, Kyiv, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko str., 1. <https://orcid.org/0000-0001-8011-1373>

Yuliia Malakhova, Ph.D. Economics, associate professor of the Department of Management, National Transport University, e-mail: yu.malakhova@ntu.edu.ua, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko str., 1. <https://orcid.org/0000-0002-8769-7597>

Yaroslav Konstantinov, graduate student of the Department of Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, y.konstantinov0508@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-1003-9075>

Serhii Khmil, graduate student of the Department of Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, melance.77@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-7374-6205>

Abstract. The article is devoted to the study of the conceptual foundations of the organization of transport services in modern conditions. In order for the transport industry of Ukraine to function effectively, compete and develop in the conditions of martial law and in the post-war period, transport services should be considered as a commercial activity from the point of view of transport companies and an action that leads to a beneficial effect from the point of view of consumers.

The article comprehensively examines the definitions of transport services enshrined in the legislative acts of Ukraine and the scientists' own points of view. The volumes of freight transportation and passenger transportation for 2021-2023 are analyzed. The main external factors that hold back the development of transport activities in Ukraine are described, but solving these problems can simultaneously stimulate investments in transport infrastructure, promote the development of international transport routes and increase the country's competitiveness on the world market. A group of factors is singled out, which are necessary for the development of the industry and may be reflected in restrictions or problems in the development of the transport market, but at the same time their solution or implementation can contribute to stimulating the demand for transport services and the general development of this market. Factors affecting the development of the transportation market are divided into three groups: the first group of factors determines the impact on the general economic situation of the state and the socio-political state; the second group of factors affecting the activity of cargo carriers and the third group - factors affecting passenger carriers. It was determined that the concept of synergistic transport service contributes to the creation of a comprehensive and optimized transport system, increasing the convenience, speed and efficiency of movement, reducing the cost of time and money for consumers. The results of the research can be used in the future in managing the development of transport enterprises, which will contribute to increasing their economic efficiency and competitiveness.

Key words: transport service, organization, competitiveness, volume of transport, development of the transport sector, synergistic transport service.

References

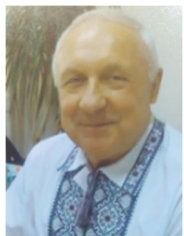
1. Law of Ukraine "On Urban Electric Transport" dated June 29, 2004 No. 1914 – IV. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/>
2. Law of Ukraine "On Transport" dated November 10, 1994 No. 232/94 – VR. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/>
3. Order of the Ministry of Transport of Ukraine dated 14.10.97 N 363 "On approval of the rules for the transportation of goods by road transport in Ukraine". URL : <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0128-98>
4. Bychikova L. A. (2014) Tendentsii rozvytku sfery transportnykh posluh [Trends in the development of the field of transport services]. *Visnyk. Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. № 6. P. 33–36 [in Ukrainian].
5. Braikovska A.M. (2012) Doslidzhennia osoblyvostei formuvannia rynku transportnykh posluh yak seredovyscha funktsionuvannia pidpriemstv transportu [Study of the peculiarities of the formation of the transport services market as an environment for the functioning of transport enterprises]. *Ekonomist*. №9. P. 50-54 [in Ukrainian].

6. Vlasenko D. O. (2010) Teoretyko-metodychni pidkhody do vyznachennia osoblyvostei marketynhu transportnykh posluh. [Theoretical-methodical approaches to determining the peculiarities of marketing of transport services]. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/25672/3/market.pdf> [in Ukrainian].
7. State Statistics Service of Ukraine URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>
8. Kovalenko N.V., Malakhova Yu.A. (2022) Osoblyvosti tsinoutvorennia mizhnarodnykh transportnykh posluh. [Features of the pricing of international transport services] *Naukovyi zhurnal «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo»*. Vyp. 112 S. 441-449. DOI: 10.33744/0365-8171-2022-112-441-449
9. Lukasevych-Krutnyk I. S. (2016) Poniattia ta oznaky transportnykh posluh. [Concepts and signs of transport services]. *Yurydychnyi visnyk. Povitriane i kosmichne pravo*. № 2. S. 113-117. [in Ukrainian].
10. Matvieieva A.V. (2011) Rynok transportnykh posluh: poniattia, uchasnyky ta obiekty. [Transport services market: concepts, participants and objects]. *Visnyk Akademii pravovykh nauk Ukrainy*. Vyp. 1 (64) S. 135-143 [in Ukrainian].

СТРАТЕГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ
ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ СУСПІЛЬСТВАSTRATEGIC MANAGEMENT OF TRANSPORT ENTERPRISES IN THE CONDITIONS
OF DIGITALIZATION OF SOCIETY

Коваленко Наталія Василівна, професор кафедри, доктор економічних наук, професор. Національний транспортний університет, Київ, Україна, kovalenko-nv@ukr.net,

<https://orcid.org/0000-0001-8011-1373>



Смагін Володимир Леонтійович, професор кафедри, доктор економічних наук, професор., Національний транспортний університет, Київ, Україна, smagin.v@email.ua,

<https://orcid.org/0000-0002-9292-6892>



Железняк Катерина Леонідівна, доцент кафедри, кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, Київ, Україна, k.zheleznyak@ntu.edu.ua,

<https://orcid.org/0000-0003-4111-5210>

Анотація. В статті представлені аспекти стратегічного управління. Досліджено наукова думка понятійного апарату «стратегічне управління». Визначено власна думка, щодо стратегічного управління в умовах діджиталізації. Формулювання стратегій, що враховують можливості та виклики цифрової трансформації, включаючи впровадження нових технологій, розвиток цифрових продуктів та послуг, а також зміни в способах взаємодії з клієнтами та партнерами.

В статті досліджені аспекти сучасного інформаційного простору. Визначено вплив діджиталізації на діяльність транспортних підприємств. Транспортну галузь з легкістю можна віднести до одного із напрямів економічної діяльності, що найбільше піддається цифровізації. Доведено, що стратегічне управління транспортними підприємствами в умовах діджиталізації суспільства та війни в Україні може мати значний вплив на їх діяльність та розвиток. На підставі цього було запропоновано модель стратегічного управління розвитком транспортних підприємств в умовах діджиталізації. Ця модель дозволить транспортним підприємствам ефективно використовувати цифрові технології для оптимізації процесів, покращення обслуговування клієнтів та забезпечення конкурентоспроможності.

Ключові слова: стратегічне управління, транспортні підприємства, діджиталізація, цифровізація, Інтернет-простор.

Постановка проблеми. Освоєння інтернет-простору є важливим стратегічним кроком для підприємств сьогодення. Так за рік, як показують дослідження Інформаційного порталу електронної комерції та за даними Statista [14], поточний відсоток роздрібних продажів в електронній комерції складає близько 15%. Це число зростає з кожним роком, і Statista прогнозує, що воно досягне 17,5% в 2021 році і 22% в 2023 році. З огляду на те, що чверть населення світу в даний час здійснює покупки через Інтернет мережу, ці прогнози здаються обґрунтованими і навіть трохи консервативними[4].

Транспортну галузь з легкістю можна віднести до одного із напрямів економічної діяльності, що найбільше піддається цифровізації. Тут звичайно можна виділити очевидні та поверхневі зміни сфері, а також зміни, які відбуваються безпосередньо в транспортній галузі. Для прикладу, інтелектуальні транспортні системи є основним трендом технологічного розвитку. У другому ж випадку цифровізація транспортної сфери має на увазі зміну самих техніко-економічних основ виробництва[15]. Розвиток цифрових технологій та діджиталізація суспільства роблять стратегічне управління незамінним інструментом для транспортних підприємств. Вони повинні адаптуватися до швидкозмінюваного технологічного ландшафту для забезпечення конкурентоспроможності та ефективності. Зростання популярності цифрових платформ для пошуку та бронювання транспортних послуг створює додатковий тиск на традиційні транспортні підприємства. Вони повинні знайти способи конкурувати з цими платформами та привертати клієнтів.

Споживачі очікують більшої зручності, швидкості та персоналізації в обслуговуванні, що ставить перед транспортними підприємствами завдання адаптації їх стратегій до цих нових вимог. З появою цифрових технологій споживачі очікують більшої зручності, швидкості та персоналізації в обслуговуванні з боку транспортних підприємств. Це ставить перед ними завдання адаптації своїх стратегій до нових вимог ринку.

Відкритість ринку та зростання конкуренції, включаючи нових гравців з сектора діджиталізації, ставлять підприємствам тиск на забезпечення ефективності та інноваційності. Для ефективної діджиталізації транспортні підприємства повинні інвестувати в нові технології, такі як Інтернет речей, штучний інтелект, аналітика даних тощо. Виникає проблема вибору та впровадження оптимальних рішень.

Наразі воєнний конфлікт України з РФ може змінити стратегічні пріоритети транспортних підприємств і вимагати перегляду їх стратегій розвитку. Стратегічне управління дозволяє підприємствам аналізувати ситуацію на ринку та розробляти стратегії, які забезпечують їхню стійкість та успіх у майбутньому. Тому тема в сьогоденних умовах війни є досить актуальною і потребує постійного додаткового огляду в сучасних умовах війни.

Аналіз і огляд останніх досліджень. Питанням дослідження стратегічного управління присвячені праці таких вчених – науковців, а саме: Антонюк І[1], Василенко В. [12], Джонсон Г. [12], Железняк К. [3], Ігнат'єва І. [13], Ільченко В. [1], Мартиненко М. [13], Медведева А. [1], Ткаченко Т. [12], Хаттен К. [9], Хіггенс Дж[8], Шендел Д. [6], Шершньова З. [11] та інші. Авторами розглядаються загальноприйняті методи стратегічного управління яке базується на розвитку підприємств в умовах стабільної економіки.

Питання, пов'язані з дослідженням теоретичних основ розвитку транспортних підприємств в Україні, в т.ч економіки, у випадках, коли діджеталізація дуже миттєво заповнила суспільство, їй присвячено багато роботи авторів: Амельін А.[5], Гончар Т. [2], Городецький М.Я[1,2,4], Компанець К. [1-4], Лаврик Я. [5], Литвишко Л.[4], Матюшко В. [5], Фіщук В. [5], Чернів Є. [5], Юрчак О. [5], та ін. У цих роботах наголошується узагальнення політики, пов'язаної з економічним розвитком у бізнес-

секторах, цифровізації транспорту, електронне урядування. Водночас потрібні рішучі нові основні стратегії керівні принципи цифровізації транспортної галузі, які стануть основним фокусом забезпечення ефективності їх економічного розвитку, і це потребує узагальнення існуючої теорії про природу кількісно-якісних змінних і розрізнення змісту процесів цифрової трансформації в галузі.

Метою дослідження є: узагальнення методичних та теоретичних положень щодо стратегічне управління транспортних підприємств в умовах діджиталізації суспільства.

Основна частина. Згідно з оцінками, частка цифрової економіки у ВВП найбільших країн світу у 2030 році за умови реалізації форсованого сценарію розвитку досягне 50–60 %. В Україні цей показник, на думку експертів, може бути ще вищим і становити 65 % ВВП. У стратегії розвитку країн до 2030 року планується запровадження ряду технологій, які змінять світ, зокрема, Big data (BD) і хмарні технології, промисловий інтернет речей (IIoT), штучний інтелект (AI), роботизація, дрони, кібернетизація людини, нейроінтерфейси, віртуальна реальність (VR), доповнена реальність (AR), змішана реальність (MR), гейміфікація, 3D-друк, біоінженерія, генно-модифіковані бактерії, нанотехнології, блокчейн, кібербезпека, значна частина яких і використовуватиметься в транспортній (автопілот, безпілотні автомобілі, керування транспортним потоком: камери спостереження, системи контролю трафіку; каршеринг) та логістичній (управління постачанням і автопарком, контроль за витратою палива, автоматизовані склади й інвентаризація, автоматизація доправлення вантажів, хмарні сервіси для автоматизації логістики) сферах [5].

Дослідники-вчені бізнес-школи IMD (Швейцарія) застосовують термін «цифровий вихор» (Digital Vortex), щоб показати, як на перший погляд невеликі, а й іноді зовсім непомітні зміни, набираючи «вихрову» швидкість, перетворюються на величезні світові трансформації [6]. Такі зміни відкривають нові можливості, з'являються нові знання та інформація, навіть раніше немислимі бізнес-моделі. Світ навколо нього і життя людини змінюються. Сьогоднішні ініціативи щодо впровадження цифрових технологій – це лише початок, переможуть ті, хто не боїться змін і мислить масштабно.

Тому діджитал стратегія є основою сучасної діяльності, основою стратегічного управління та рушійною силою економічного зростання будь-якої компанії.

Для розуміння внутрішнього середовища стратегічного управління в просторі діджиталізованого суспільства, було досліджено думки науковців. Так у фундаментальних працях багатьох вчених існує значна кількість конструктивних підходів до визначення поняття «стратегічне управління», сформованих зарубіжними та вітчизняними науковцями (табл. 1.)

Дослідження підходів до визначення стратегії вказує на ототожнення понять “стратегія” і “стратегічне управління”, оскільки, посилаючись на розглянуті вище погляди авторів, вони визначають стратегію як комплексний план, правила, прийоми, процедури, що є основою реалізації стратегії, тобто процесом управління з досягнення стратегічних цілей у будь-якій сфері діяльності господарюючого суб'єкта.

Отже, стратегічне управління - це прогнозування, пов'язане з розробкою і концептуалізацією уявлень про те, куди прямує організація. Стратегічне управління - це процес прийняття рішень та формування планів дій на найвищому рівні управління організацією з метою досягнення стратегічних цілей та успішного розвитку в довгостроковій перспективі.

Стратегічне управління в діджиталізованому світі - це процес управління, спрямований на досягнення стратегічних цілей та успішний розвиток організації в умовах цифрової трансформації та швидко змінюючогося технологічного ландшафту. Основні характеристики стратегічного управління в діджиталізованому світі включають такі концептуальні рішення, які представлені в табл. 2

Таблиця 1 – Трактування поняття «стратегічне управління»
Table 1 – Interpretation of the concept of "strategic management"

Автор теорії	Характеристика теорії
Д. Шендел К.Хаттен	Стратегічне управління – процес визначення і встановлення зв'язку організації (фірми) з її оточенням, що полягає в реалізації вибраних цілей і в намаганнях досягнути бажаного стану взаємовідносин з оточенням за допомогою розподілу ресурсів, що дозволяє ефективно і результативно діяти організації і її підрозділам. [7, с.99-102]
Дж. Хіггенс	Стратегічне управління – це процес управління з метою здійснення місії організації з допомогою управління взаємодією фірми з її оточенням.[8, с.34]
С. Хаттен	Стратегічне управління – процес визначення та встановлення взаємозв'язків організації з навколишнім середовищем, що полягає в досягненні вибраних цілей і бажаного стану взаємовідносин з ним шляхом розподілу ресурсів, що дає можливість організації та її підрозділам діяти ефективно та результативно. [9, с.41]
Г. Джонсон К. Склуз	Стратегічне управління – це аналіз поточної діяльності фірми в конкурентному середовищі; розробка, оцінка та вибір альтернатив, реалізація вибраної стратегії.[10, с.10]
Шершньова З.Є.	Стратегічне управління – це реалізація концепції, в якій поєднуються цільовий, системний, ситуаційний та інтегральний підходи до діяльності підприємства, що дає змогу встановлювати цілі розвитку, порівнювати їх з наявними можливостями підприємства та приводити їх у відповідність з останніми, розробляючи та реалізуючи систему стратегій. [11, с. 19]
Василенко В.О. Ткаченко Т.І.	Стратегічне управління – це не тільки сукупність концепцій, підходів і методів, це складна система, що являє собою динамічний процес аналізу, вибору стратегій, планування, забезпечення і реалізацію розроблених планів організацією, що полягає в повторюваному циклі розв'язання п'яти основних завдань (етапів). [12, с. 22]
Мартиненко М.М. Ігнат'єва І.А.	Стратегічне управління з точки зору загального менеджменту можна розглядати як сукупність специфічних процесів прийняття управлінських рішень щодо формування мети та визначення цілей організації. Вибору стратегій її діяльності та використання ресурсів у ринковому середовищі, що забезпечують реалізацію цих стратегій [13, с.10]

Джерело: сформовано авторами

Узагальнюючи, стратегічне управління в діджиталізованому світі вимагає комплексного підходу, який поєднує в собі традиційні принципи стратегічного управління з новими можливостями та викликами, що випливають з цифрової трансформації.

Тобто діджиталізація призводить до удосконалення та розвитку управлінських процесів транспортного підприємства. Сформуємо модель стратегічного управління транспортного підприємства з урахуванням діджиталізованого простору (рис. 1).

Основою запропонованої моделі є детальний аналіз діяльності компанії, а саме: спроможності компанії щодо аналізу її ролей та стратегії. Обов'язковим є врахування факторів зовнішнього середовища, вплив яких на діяльність підприємства є мінливим і нестабільним. Вибір і аналіз показників ефективності є критично важливими. Їх прогноз дозволить розумно підійти до варіантів стратегії розвитку компанії. Категорія стратегій розвитку компанії формує «стратегічну категорію», багатостратегічну структуру, яка відображає унікальні характеристики діяльності та розвитку

транспортних підприємств, а також рівень її конкуренції на ринку. На нашу думку, «набір стратегій» фірми включає: по-перше, навички, пов'язані з ключовими підсистемами бізнесу; по-друге, специфічні типи стратегій діяльності; по-третє, набір стратегій управління змінами.

Таблиця 2 – Характеристики стратегічного управління в умовах діджиталізованого суспільства
Table 2 – Characteristics of strategic management in the digitalized society

Елементи стратегічного управління в діджиталізованому просторі	Характеристика
Цифрова стратегія	Формулювання стратегій, що враховують можливості та виклики цифрової трансформації, включаючи впровадження нових технологій, розвиток цифрових продуктів та послуг, а також зміни в способах взаємодії з клієнтами та партнерами
Аналіз даних та аналітика	Використання аналізу даних та штучного інтелекту для здійснення обґрунтованих стратегічних рішень, виявлення нових можливостей та прогнозування майбутніх тенденцій.
Гнучкість та адаптивність	Стратегічне управління в діджиталізованому світі передбачає гнучкість та здатність швидко адаптуватися до змін в технологічному середовищі, ринкових умов та вимог споживачів
Контроль та оцінка результатів	Постійний моніторинг та оцінка результатів виконання стратегій, з метою ідентифікації досягнень, виявлення проблем та внесення коректив в стратегічні плани
Інновації та експерименти	Стратегічне управління в діджиталізованому світі сприяє стимулюванню інновацій та проведенню експериментів, що дозволяє організаціям швидко тестувати нові ідеї та продукти на ринку
Цифрова культура	Розвиток організаційної культури, що сприяє використанню цифрових технологій, інноваційному мисленню та навчанню, щоб забезпечити успішну реалізацію стратегій в діджиталізованому світі.

Джерело: сформовано авторами

Модель стратегічного управління транспортним підприємством в умовах діджиталізації суспільства включає наступні етапи та компоненти:

1. Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища:

- Оцінка технологічних та інноваційних трендів в транспортній галузі.
- Аналіз конкурентної ситуації на ринку та визначення ключових гравців.
- Оцінка потреб та очікувань клієнтів в умовах цифрової трансформації.

2. Визначення стратегії:

- Формулювання цілей та завдань, що враховують впровадження цифрових технологій та інновацій.
- Визначення стратегічних напрямків розвитку, таких як підвищення ефективності операцій, покращення обслуговування клієнтів, оптимізація логістичних процесів тощо.

3. Планування та реалізація:

- Розробка планів дій для впровадження стратегій.
- Впровадження цифрових технологій та інновацій у різних сферах діяльності підприємства, таких як логістика, обслуговування клієнтів, маркетинг, управління флотом тощо.

4. Моніторинг та оцінка:

- Систематичний аналіз результатів виконання стратегій та впровадження ініціатив.
- Визначення ключових показників ефективності та виявлення можливих проблем та недоліків.

5. Коригування та оптимізація:

- Внесення коректив в стратегічні плани на основі отриманих результатів та змін у зовнішньому середовищі.

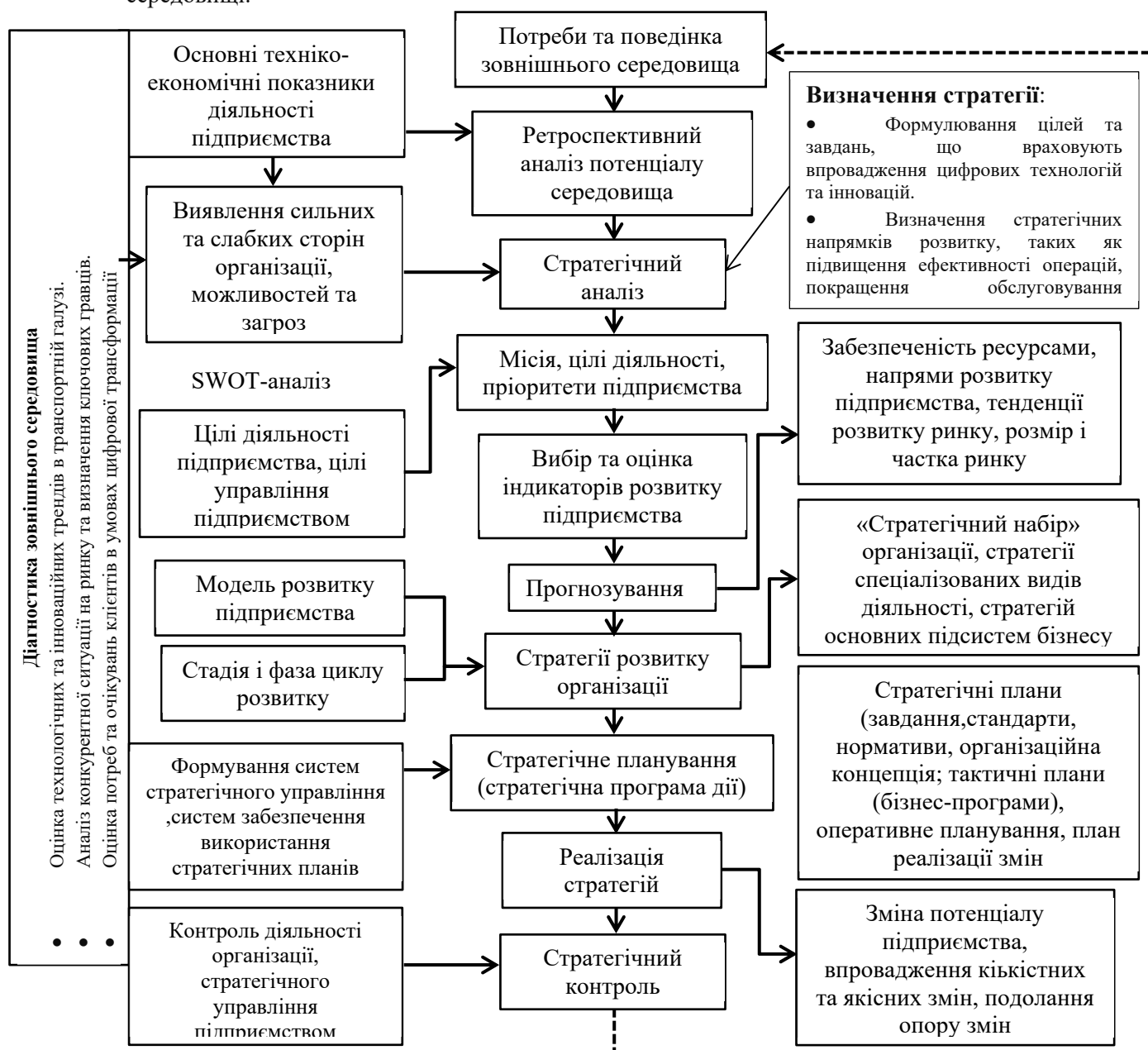


Рисунок 1 – Модель стратегічного управління розвитком підприємства в умовах діджиталізації суспільства

Figure 1 – Model of strategic management of enterprise development in the conditions of digitalization of society

Джерело: удосконалено авторами[7]

Постійне удосконалення стратегій та планів дій для забезпечення максимальної ефективності та конкурентоспроможності.

Ця модель стратегічного управління враховує особливості транспортних підприємств та впровадження цифрових технологій у їхню діяльність в умовах діджиталізації суспільства. Вона спрямована на досягнення стратегічних цілей та забезпечення стабільного розвитку підприємства в довгостроковій перспективі.

При визначенні стратегії підприємства керівництво стикається з трьома основними питаннями, пов'язаними зі становищем підприємства на ринку: який напрям скоротити (скорочення, наприклад лідерство в мінімізації витрат виробництва); який – розвивати (розвиток, наприклад спеціалізація у виробництві продукції); куди перейти (диверсифікація, наприклад фіксація певного сегмента ринку і концентрація зусиль підприємства на обраному ринковому сегменті).

Висновки. Отже, стратегічне управління транспортними підприємствами в умовах діджиталізації суспільства та воєнного конфлікту є ключовим для їхньої успішної адаптації до нових умов та забезпечення стабільності та ефективності в умовах невпевненості. Представлена модель стратегічного управління розвитком транспортних підприємств в умовах діджиталізації дозволить підприємствам швидко реагувати на зміни в технологічному середовищі та ринкові умови, забезпечуючи їхню адаптацію до діджиталізації.

Перелік посилань

1. K. Kompanets, V. Ilchenko, M. Horodetsky, I. Antonyuk · A. Medvedieva, Strategic Prospects for the Development of the Logistics Services Market in Ukraine. Studies in Systems, Decision and Control. Springer Nature Switzerland AG 2024 с. 883–899 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-36895-0> Scopus
2. Компанець К.А., Городецький М.Я., Гончар Т.М. Інформаційний простір: фейки та діпфейки. дизінформація та її вплив на діяльність підприємств в сучасних умовах війни Журнал « Автомобільні дороги і дорожнє будівництво» <http://addb.ntu.edu.ua/pages/contacts.html>
3. Железняк К.Л., Компанець К.А. Маркетингові дослідження – інструмент стратегічного управління конкурентоспроможністю підприємства. Причорноморські економічні студії. 2019. Випуску 46. С. 83-87. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: DOI: <https://doi.org/10.32843/bses.46-14>
4. Компанець К.А., Литвишко Л.О., Городецький М.Я. Діджиталізація суспільства під впливом детермінантів пандемії COVID-19. Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 22–23 квітня 2021 р. Київ. С 259 [URL: http://knukim.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/ZBIRNYK_TEZ_ITKM_2021_CH2_na-sajt.pdf](http://knukim.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/ZBIRNYK_TEZ_ITKM_2021_CH2_na-sajt.pdf)
5. Україна 2030 – країна з розвинутою цифровою економікою. Український інститут майбутнього [Фіщук В., Матюшко В., Чернев Є., Юрчак О., Лаврик Я., Амелін А.], 2019. URL: <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-rozvinutoyu-cifrovoyu-ekonomikoyu.html>
6. Digital Vortex 2021. Digital Disruption in a COVID World. IMD Switzerland, 2021. 24 p.
7. Shendel D.E., Hatten K.J. Business Policy or Strategic Management: A Boader View for an Emerging Discipline // Academy of Management Proccedings. 1972. August. P. 99-102
8. Higgins J.M., Strategic management and organizational policy / Dryden Press; 3rd edition (1986). – P.34. – ISBN-13: 978-0030024184

9. Hatten T.S. Small Business Management: Entrepreneurship and Beyond / Cengage Learning; 6 edition (January 1, 2015). – P.41. – ISBN-13: 978-1285866383
10. Johonson G., Scholes K. Exploring Corporate Strategy / Pearson Education Canada; 9 edition (November 1, 2010). – P. 10. – ISBN-13: 978-0135256350
11. Шершньова З.Є. Стратегічне управління : підруч. для студ. в. н. з. / З.Є. Шершньова. – [2-ге вид., перероб. і доп.] – Київ. : КНЕУ, 2024. – с. 19,299-301
12. Василенко В. О. Стратегічне управління: навч. посіб. / В. О. Василенко, Т. І. Ткаченко. – К. : ЦУЛ, 2023. – с.22,196
13. Мартиненко М.М. Стратегічний менеджмент: підруч. для студ. / Мартиненко М.М., Ігнатська І.А. – Київ: Каравела, 2020 – с. 10,176
14. Інформаційний портал електронної комерції <https://ecomhub.ru/samyj-polnyj-obzor-statistiki-jelektronnoj-torgovli-v-mire-za-2019/>
15. Вікторія П. Я. ОСОБЛИВОСТІ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНИХ КОМПАНІЙ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Економіка і управління», 2023. Вип. 53. <https://em.duit.in.ua/index.php/home>

STRATEGIC MANAGEMENT OF TRANSPORT ENTERPRISES IN THE CONDITIONS OF DIGITALIZATION OF SOCIETY.

Natalia Kovalenko, professor of the department, doctor of economic sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kovalenko-nv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8011-1373>

Volodymyr Smagin, professor of the department, doctor of economic sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, smagin.v@email.ua, <https://orcid.org/0000-0002-9292-6892>

Kateryna Zhelezniak, Associate Professor of the Department, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, k.zhelezniak@ntu.edu.ua, <https://orcid.org/my-orcid/0000-0003-4111-5210>

Abstract. The article presents aspects of strategic management. The scientific opinion of the conceptual apparatus "strategic management" has been studied. Defined own opinion on strategic management in the conditions of digitalization. Formulating strategies that take into account the opportunities and challenges of digital transformation, including the introduction of new technologies, the development of digital products and services, as well as changes in the way of interaction with customers and partners.

The article examines aspects of the modern information space. The impact of digitalization on the activities of transport enterprises is determined. The transport industry can easily be classified as one of the areas of economic activity that is most amenable to digitalization. It has been proven that the strategic management of transport enterprises in the conditions of digitalization of society and the war in Ukraine can have a significant impact on their activity and development. Based on this, a model of strategic management of the development of transport enterprises in the conditions of digitalization was proposed. This model will allow transport enterprises to effectively use digital technologies to optimize processes, improve customer service and ensure competitiveness.

Keywords: strategic management, transport enterprises, digitization, digitalization, Internet space.

References

1. K. Kompanets, V. Ilchenko, M. Horodetskyi, I. Antonyuk • A. Medvedieva, Strategic Prospects for the Development of the Logistics Services Market in Ukraine. Studies in Systems, Decision and Control. Springer Nature Switzerland AG 2024 p. 883–899 [Electronic resource]. – Access mode: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-36895-0> Scopus
2. Kompanets K.A., Horodetskyi M.Ya., Honchar T.M. Information space: fakes and deepfakes. disinformation and its influence on the activities of enterprises in modern conditions of war Journal "Automotive roads and road construction" <http://addb.ntu.edu.ua/pages/contacts.html>
3. Zheleznyak K.L., Kompanets K.A. Marketing research is a tool for strategic management of the company's competitiveness. Black Sea Economic Studies. 2019. Issue 46. P. 83-87. [Electronic resource]. – Mode of access: DOI: <https://doi.org/10.32843/bses.46-14>
4. Kompanets K.A., Litvyshko L.O., Horodetskyi M.Ya. Digitalization of society under the influence of the determinants of the COVID-19 pandemic. Information technologies in culture, art, education, science, economy and business: materials of the International Scientific and Practical Conference, April 22-23, 2021, Kyiv. P. 259 URL: http://knukim.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/ZBIRNYK_TEZ_ITKM_2021_CH2_na-sajt.pdf
5. Ukraine 2030 is a country with a developed digital economy. Ukrainian Institute of the Future [Fischuk V., Matyushko V., Chernev E., Yurchak O., Lavryk Ya., Amelin A.], 2019. URL: <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-forovolotoyu-cifrovoyu-ekonomikoyu.html>
6. Digital Vortex 2021. Digital Disruption in a COVID World. IMD Switzerland, 2021. 24
7. Shendel D.E., Hatten K.J. Business Policy or Strategic Management: A Broader View for an Emerging Discipline // Academy of Management Proceedings. 1972. August. P. 99-102
8. Higgins J.M., Strategic management and organizational policy / Dryden Press; 3rd edition (1986). – P.34. – ISBN-13: 978-0030024184
9. Hatten T.S. Small Business Management: Entrepreneurship and Beyond / Cengage Learning; 6 edition (January 1, 2015). – P.41. – ISBN-13: 978-1285866383
10. Johnson G., Scholes K. Exploring Corporate Strategy / Pearson Education Canada; 9 edition (November 1, 2010). – P. 10. – ISBN-13: 978-0135256350
11. Shershnyova Z.E. Strategic management: assistant. for students in. N. with. / Z.E. Shershnyov. – [2nd ed., revision. and add.] - Kyiv. : KNEU, 2024. - p. 19,299-301
12. Vasylenko V. O. Strategic management: training. manual / V. O. Vasylenko, T. I. Tkachenko. - K.: TsUL, 2023. - p. 22,196
13. Martynenko M.M. Strategic management: tutorial. for students / Martynenko M.M., Ignatieva I.A. – Kyiv: Caravela, 2020 – p. 10,176
14. Information portal of electronic commerce <https://ecomhub.ru/samyj-polnyj-obzor-statistiki-jelektronnoj-torgovli-v-mire-za-2019/>
15. Victoria P. Y. FEATURES OF THE ECONOMIC DEVELOPMENT OF TRANSPORT COMPANIES IN THE CONDITIONS OF DIGITALIZATION. Collection of scientific papers DUIT. Series "Economics and Management", 2023. Bun. 53. <https://em.duit.in.ua/index.php/home>

УДК 3.33.338
UDC 3.33.338

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-226-233

**РОЗВИТОК КОМУНІКАТИВНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНОГО
ПІДПРИЄМСТВА**

**DEVELOPMENT OF COMMUNICATION AND INFORMATION SYSTEMS OF
TRANSPORT ENTERPRISES**



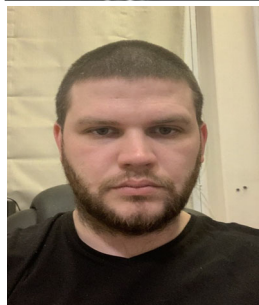
Ложачевська Олена Михайлівна, доктор економічних наук, професор, завідувачка кафедри менеджменту, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: o.lozhachevska@ntu.edu.ua, тел. +380442808438,

<https://orcid.org/0000-0001-8462-925X>



Лаврик Іван федорович, професор кафедри, кандидат технічних наук, доцент. Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: ilavryk@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-5384-3840>



Сєдой П.В., аспірант кафедри менеджменту, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: ket13@i.ua

<https://orcid.org/0009-0009-3273-5937>

Анотація. В статті розкрити головні аспекти розвитку комунікативно-інформаційних систем транспортного підприємства. Досліджено історія створення та етапи формування комунікативно-інформаційних систем (КИС). На підставі аналізу авторських наукових думок було сформовано поняття комунікативно-інформаційних систем і визначено, що воно є досить широким і розуміється науковцями у різних варіаціях. Тому на підставі цього в статті досліджено основні параметри інноваційних комунікативно-інформаційних систем сучасного транспортного підприємства. Головний аспект в подальшому було визначення вплив розумного інтелекту на розвиток новітніх комунікативно-

інформаційних систем сучасного транспортного підприємства. Застосування розумного інтелекту дозволяє автоматизувати багато рутинних операцій та процесів управління на транспортному підприємстві. Наприклад, AI може оптимізувати маршрутизацію транспортних засобів, планувати розклади, управляти запасами, що дозволяє знизити витрати та підвищити ефективність використання ресурсів.

Доведено, що в сучасних воєнних умовах важливо мати можливість швидко реагувати на екстрені ситуації та зміни в обстановці. Розвинуті КІС допомагають забезпечити оперативний обмін інформацією та прийняття рішень для ефективного управління ситуацією.

Ключові слова: комунікації, комунікативно-інформаційні системи, транспортні підприємства, розвиток, управління.

Постановка проблеми. Розвиток комунікативно-інформаційних систем транспортного підприємства є актуальною темою в сучасних умовах, оскільки транспортні підприємства постійно стикаються з необхідністю оптимізації своєї діяльності та підвищення ефективності.

У сучасному світі транспортні підприємства стикаються з рядом викликів, пов'язаних з ефективним управлінням та оптимізацією своєї діяльності. Одним з ключових аспектів є розвиток комунікативно-інформаційних систем, які відіграють важливу роль у забезпеченні ефективної роботи підприємства. Проте, існують ряд проблем, які перешкоджають повному використанню потенціалу таких систем.

Багато транспортних підприємств використовують застарілі або неадаптовані до своїх потреб системи комунікацій та інформації, що обмежує їхні можливості у вирішенні сучасних завдань. Недоліки у системі внутрішньої комунікації можуть викликати затримки у передачі інформації між відділеннями та спричиняти недорозуміння та помилки в роботі. Не всі системи транспортних підприємств забезпечують ефективну інтеграцію з зовнішніми партнерами, що може призводити до затримок та помилок у взаємодії з клієнтами, постачальниками та іншими зацікавленими сторонами. Недостатня захищеність інформації може призвести до витоку конфіденційних даних та порушення правил захисту персональної інформації клієнтів. Інвестування у розвиток та підтримку комунікативно-інформаційних систем може вимагати значних фінансових зусиль, особливо для малих та середніх підприємств.

Впровадження нових комунікативно-інформаційних систем дозволяє оптимізувати логістичні процеси та зменшити час доставки вантажів або пасажирських перевезень. Завдяки вдосконаленій системі комунікації можна забезпечити швидке та якісне обслуговування клієнтів, що сприяє підвищенню їхньої задоволеності та лояльності. Сучасні інформаційні системи допомагають вчасно виявляти ризики та проблеми в роботі транспортного підприємства, а також забезпечують підвищений рівень безпеки для пасажирів та вантажів.

Інформаційні системи забезпечують доступ до даних та аналітичних звітів, що допомагає керівництву приймати обґрунтовані рішення щодо стратегічного розвитку підприємства. Впровадження новітніх комунікативно-інформаційних технологій допомагає транспортним підприємствам залишатися на швидко змінному ринку та конкурувати з іншими гравцями в галузі.

Отже, розвиток комунікативно-інформаційних систем транспортного підприємства є актуальною проблемою, яка потребує уваги та пошуку ефективних рішень для оптимізації роботи та підвищення конкурентоспроможності в умовах сучасного ринку.

Аналіз і огляд останніх досліджень. В науковій літературі наразі приділяється досить висока зацікавленість. Багато досліджень звертають увагу на важливість цифрової трансформації для транспортних підприємств. Впровадження сучасних технологій, таких як штучний інтелект, хмарні рішення, Internet of Things (IoT) та аналітика даних, дозволяє підприємствам оптимізувати процеси та підвищувати ефективність роботи.

Так авторами А. О. Князевич, Л. А. Дяченко, С. О. Крайчук, С. М. Демидюк розкриваються питання застосування інформаційних технологій як ключової складової системи комунікативного менеджменту[1]. Їх дослідження призводить до висновків, що розвиток комунікативно-інформаційних систем є шлях до реструктуризації національної економіки в складних соціально-економічних умовах України ґрунтується на спрямуванні до інноваційного типу розвитку, який передбачає характерне для постіндустріального суспільства прагнення до домінування процесів софтизації, тобто перетворення нематеріальних ресурсів у найважливіший фактор економічного зростання поряд зі збільшенням ролі сфери послуг. Використання інформаційно-комунікативних технологій в управлінні суб'єктами підприємництва формують технологічну базу розвитку туристичної галузі XXI ст[1].

Роль розвитку комунікативно-інформаційних систем транспортних підприємств розглядали в науковій праці автори: Компанець К.А, Городецький М.Я, Гончар Т.М - Інформаційний простір: фейки та діпфейки. дезинформація та її вплив на діяльність підприємств в сучасних умовах війни [2]. Вони встановили, що великими проблемами може бути стратегічні помилки, а саме прийняття рішень на основі неточної інформації може привести до стратегічної помилки. Це може включати невірне визначення цільового ринку, конкурентного середовища чи ефективності певних стратегій. На разі під час війни достовірність інформації є запорукою виживання та розвитку підприємств. Тому вивчення інформаційного простору є важливим завданням в сучасних умовах [2].

Можна відзначити роботи в цьому напрямку таких вчених, як: Железняк К.[4], Сидоренко Т.[3], Федоряк Р.[3], Литвишко Л.О. [5] та інші. Загалом, останні дослідження підкреслюють важливість інноваційних підходів у розвитку комунікативно-інформаційних систем транспортних підприємств для забезпечення їхньої конкурентоспроможності та відповідності сучасним вимогам ринку. В наукових працях висвітлено питання про роль розвитку комунікативно-інформаційних систем, але не розкрити перспективи інноваційного впливу на діяльність транспортних підприємств

Мета дослідження: метою даної наукової статті є розробити систему розвитку комунікативно-інформаційних систем транспортних підприємств

Основна частина: Від військової агресії Російської Федерації постраждали всі сектори економіки країни, зруйнована інфраструктура та окуповано багато міст. Наразі актуальність теми обумовлена зростаючою привабливістю підтримки транспортних підприємств.

За підсумками, Європейською Бізнес Асоціацією на 2023 рік [6], інтегральний показник Інфраструктурного індексу дорівнював 2,76 балів із 5-ти можливих. Тобто це на сьогодні досить низький рівень для здійснення розвитку транспортної галузі в сучасних воєних умовах. Але у зв'язку з зростанням кількості цифрових загроз та витоків даних, дослідження акцентують увагу на необхідності забезпечення високого рівня захисту даних та конфіденційності користувачів. Важливим аспектом є інтеграція різних джерел даних, таких як GPS, системи квиткування, системи відстеження, для забезпечення цілісності та точності інформації.

Історія створення та розвитку комунікативно-інформаційних систем (КИС) є вельми цікавою та динамічною. Початок її можна відстежити до появи перших комп'ютерів та розвитку телекомунікаційних технологій у середині 20 століття. Розглянемо кілька ключових етапів у її історії:

1. **Початковий етап (1950-1970 рр.):** На початку створення КІС, основний акцент був зроблений на автоматизації рутинних операцій, таких як облік, зберігання та обробка інформації. Комп'ютерні системи були в основному використовані для обробки даних, а комунікація здійснювалася за допомогою телефонних ліній та телеграфних систем.

2. **Ера комп'ютерних мереж (1980-1990 рр.):** З появою комп'ютерних мереж збільшилося значення обміну інформацією між різними підрозділами та віддаленими відділеннями підприємств. З'явилися перші електронні поштові системи, файлообмінні протоколи та бази даних для зберігання та обробки інформації.

3. **Епоха Інтернету (з 1990 року):** З появою Інтернету стало можливим створення глобальних комунікаційних мереж, що забезпечило новий рівень доступу до інформації та спілкування. Виникли електронні платформи, електронна комерція та системи онлайн-спілкування.

4. **Ера мобільних технологій (з початку 21 століття):** З поширенням мобільних телефонів та смартфонів, комунікація стала ще більш доступною та мобільною. Виникли мобільні додатки, соціальні медіа та інші засоби комунікації, які можна використовувати будь-де і будь-коли.

5. **Розвиток інтернету речей (IoT):** Сьогодні розвивається новий етап в історії КІС, пов'язаний з впровадженням Інтернету речей, коли різноманітні пристрої та сенсори стають підключеними до мережі, що дозволяє збирати великі обсяги даних та автоматизувати багато процесів.

Історія розвитку комунікативно-інформаційних систем є прикладом неперервного еволюційного процесу, що відображає зміни в технологіях, соціальних уявленнях та бізнес-практиках.

Останні дослідження вказують на те, що розвиток комунікативно-інформаційних систем допомагає покращити якість обслуговування пасажирів та забезпечити їхнє задоволення від подорожі.

В науковій літературі встановлені розкриття понятійного апарату комунікативно-інформаційних систем. Автор С. G. Reddick визначив: комунікативно-інформаційних систем. – це узагальнюючий термін, який включає в себе всі технології для передачі інформації. [6].

Саме поняття комунікативно-інформаційних систем є досить широким і розуміється науковцями у різних варіаціях. Проте найбільш поширеною сентенцією є, зокрема, те, що комунікативні технології є раціонально організованим комплексом дій в інформаційному просторі з цілеспрямованого виробництва і поширення інформації задля впливу на визначену аудиторію. Комунікативні технології – «запланований вплив на цільові групи» [7].

Тобто в широкому розумінні можемо визначити основні параметри інноваційних комунікативно-інформаційних систем сучасного транспортного підприємства. Комунікативно-інформаційні системи транспортного підприємства - це комплекс технологій, процедур та інструментів, що використовуються для збору, обробки, передачі та аналізу інформації в межах транспортного підприємства та взаємодії з клієнтами, партнерами та іншими зацікавленими сторонами. Ці системи мають на меті покращити управління та ефективність діяльності підприємства, а також забезпечити якісне обслуговування клієнтів.

Комунікативно-інформаційні системи транспортного підприємства можуть включати в себе такі компоненти, які представлені в табл. 1.

Ці системи спрямовані на покращення ефективності та якості обслуговування, забезпечення безпеки та комфорту для пасажирів та оптимізацію управління транспортними потоками на різних етапах.

Таблиця 1 – Головні компоненти Комуникативно-інформаційні системи транспортного підприємства

Table 1 – The main components of the communication and information systems of the transport enterprise

№	Компоненти	Характеристика
1	Системи керування та моніторингу руху транспорту	Ці системи дозволяють в реальному часі відстежувати рух транспортних засобів, контролювати їхню швидкість та маршрути
2	Системи електронного квиткування	Забезпечують автоматизований процес продажу та обліку квитків для пасажирських перевезень
3	Системи інформування пасажирів	Включають в себе вивіску розкладу, оголошення в транспортних засобах, мобільні додатки, які надають інформацію про рух транспорту та затримки.
4	Системи взаємодії з клієнтами	Включають в себе колцентри, онлайн-сервіси, соціальні медіа, де клієнти можуть звертатися з питаннями, залишати відгуки та отримувати необхідну інформацію
5	Системи аналізу та управління даними:	Допомагають в обробці та аналізі великих обсягів даних, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо покращення роботи підприємства

Джерело: сформовано авторами

Наразі з появою розумного інтелекту (AI) комуникативно-інформаційні системи (KIC) транспортного підприємства зазнали значних змін, які вплинули на їх функціональність, ефективність та можливості (рис 1).



Рисунок 1 – Розвиток комуникативно-інформаційних систем під впливом розумного інтелекту

Figure 1 – Development of communication and information systems under the influence of intelligent intelligence

Джерело: сформовано авторами

Ось деякі ключові аспекти змін комуникативно-інформаційних систем під впливом розумного інтелекту:

1. **Автоматизація та оптимізація процесів:** Застосування розумного інтелекту дозволяє автоматизувати багато рутинних операцій та процесів управління на транспортному підприємстві. Наприклад, AI може оптимізувати маршрутизацію транспортних засобів, планувати розклади, управляти запасами, що дозволяє знизити витрати та підвищити ефективність використання ресурсів.

2. **Аналітика та прогнозування:** Розумний інтелект дозволяє аналізувати великі обсяги даних та робити точні прогнози щодо попиту, пасажиропотоку, транспортних потреб та інших аспектів діяльності транспортного підприємства. Це допомагає підприємствам приймати обґрунтовані рішення щодо планування та стратегічного розвитку.

3. **Покращення обслуговування клієнтів:** Використання розумного інтелекту дозволяє підприємствам створювати персоналізовані послуги та рішення для клієнтів. AI може аналізувати поведінку та потреби клієнтів, що дозволяє надавати індивідуальні рекомендації, оптимізувати розклади та покращувати загальний досвід користувачів.

4. **Підвищення рівня безпеки:** Розумний інтелект може використовуватися для виявлення аномальних подій, відмов або потенційних загроз у реальному часі. Це дозволяє підприємствам оперативно реагувати на потенційні проблеми та забезпечувати безпеку як для пасажирів, так і для перевезень вантажів.

5. **Розвиток автономних транспортних засобів:** Розумний інтелект є ключовим елементом в розвитку автономних транспортних систем. AI використовується для управління та навігації автономних автомобілів, дронів та інших транспортних засобів, що в майбутньому може значно змінити транспортний ландшафт.

Отже, розумний інтелект значно трансформує КІС транспортних підприємств, дозволяючи їм оптимізувати процеси, підвищувати ефективність та надавати більш якісні послуги для клієнтів.

Висновки. Розвиток комунікативно-інформаційних систем (КІС) транспортного підприємства є важливим у сучасних умовах, включаючи воєнний контекст. По-перше: Воєнні операції часто вимагають швидкої та ефективної мобілізації ресурсів, включаючи транспортні засоби та логістичну інфраструктуру. Розвинуті КІС дозволяють краще використовувати наявні ресурси, реагувати на зміни в реальному часі та забезпечувати ефективну логістику. По-друге: Воєнні операції вимагають точної координації між різними військовими підрозділами та військовими підрозділами різних країн. Розвинуті КІС допомагають в управлінні комунікацією та обміні інформацією між різними підрозділами для забезпечення спільної дії та стратегічного планування. По-третє: У воєнних умовах важливо мати можливість швидко реагувати на екстрені ситуації та зміни в обстановці. Розвинуті КІС допомагають забезпечити оперативний обмін інформацією та прийняття рішень для ефективного управління ситуацією. Четверте: У воєнних умовах логістика відіграє важливу роль у забезпеченні військових операцій. Розвинуті КІС допомагають оптимізувати логістичні процеси, включаючи постачання, складування та транспортування, що підвищує загальну ефективність військових операцій.

Отже, розвиток комунікативно-інформаційних систем транспортного підприємства є ключовим у сучасних воєнних умовах для забезпечення ефективності, координації та безпеки воєнних операцій.

Перелік посилань

1. Князевич А. О., Дяченко Л. А., Крайчук С. О., Демидюк С. М.. Інформаційні технології як ключова складова системи комунікативного менеджменту підприємств туристичної галузі. Електронне фахове видання «Ефективна економіка». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: DOI: 10.32702/2307-2105-2021.9.4

2. Компанець К.А., Городецький М.Я, Гончар Т.М. Інформаційний простір: фейки та діпфейки. дезинформація та її вплив на діяльність підприємств в сучасних умовах війни Журнал « Автомобільні дороги і дорожнє будівництво» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://addb.ntu.edu.ua/pages/contacts.html>
3. Компанець К.А., Федоряк Р.М., Сидоренко Т.М.. Формування та практичне застосування маркетингових досліджень в діяльності підприємств готельно-ресторанного бізнесу. V Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні тенденції розвитку фінансових та інноваційно-інвестиційних процесів в Україні» Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця 25 лютого 2022 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/fiip/fiip2022/schedConf/presentations>
4. Железняк К.Л., Компанець К.А. Маркетингові дослідження – інструмент стратегічного управління конкурентоспроможністю підприємства. Причорноморські економічні студії. 2019. Випуску 46. С. 83-87. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: DOI: <https://doi.org/10.32843/bses.46-14>
5. Компанець К.А., Литвишко Л.О., Городецький М.Я. Діджиталізація суспільства під впливом детермінантів пандемії COVID-19. Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 22–23 квітня 2021 р. Київ. С 259 [URL: http://knukim.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/ZBIRNYK_TEZ_ITKM_2021_CH2_na-sajt.pdf](http://knukim.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/ZBIRNYK_TEZ_ITKM_2021_CH2_na-sajt.pdf)
6. Європейська Бізнес Асоціація. <https://eba.com.ua/research/doslidzhennya-ta-analytika/>, last accessed 2023/02/05
7. C. G. Reddick Handbook of Research on Strategies for Local E-government Adoption and Implementation / C. G. Reddick. – IGI Global, 2019. – 1106 p. 7.
8. Климаська Л.Д. Комунікативні технології моделювання політичного простору в демократичному суспільстві [Електронний ресурс] / Л.Д.Климаська. – Режим доступу: www.democracy.kiev.ua/publications/collections/conference_2021

DEVELOPMENT OF COMMUNICATION AND INFORMATION SYSTEMS OF TRANSPORT ENTERPRISES

Elena Lozhachevska, Doctor of Economics, Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: o.lozhachevska@ntu.edu.ua, тел.+380442808438, <https://orcid.org/0000-0001-8462-925X>

Ivan Lavryk, professor of the department, candidate of technical sciences, associate professor. National Transport University, Kyiv, Ukraine, ilavryk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5384-3840>

P. Sedoy, graduate student of the Department of Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ket13@i.ua, <https://orcid.org/0009-0009-3273-5937>

Abstract. The article reveals the main aspects of the development of communication and information systems of the transport enterprise. The history of creation and stages of formation of communication and information systems (CIS) are studied. Based on the analysis of the author's scientific opinions, the concept of communication and information systems was formed and it was determined that it is quite broad and is understood by scientists in various variations. Therefore, on the basis of this, the main parameters of innovative communication and information systems of a modern transport enterprise are investigated in the article. The main aspect in the future was to determine the influence of intelligent intelligence on the development of the

latest communication and information systems of a modern transport enterprise. The application of smart intelligence allows you to automate many routine operations and management processes at a transport enterprise. For example, AI can optimize vehicle routing, schedule planning, inventory management, which can reduce costs and improve resource efficiency.

It has been proven that in modern military conditions it is important to be able to quickly react to emergency situations and changes in the situation. Developed CSIs help ensure prompt exchange of information and decision-making for effective situation management.

Keywords: communications, communication and information systems, transport enterprises, development, management.

References

1. Knyazevich A. O., Dyachenko L. A., Kraychuk S. O., Demidyuk S. M.. Information technologies as a key component of the communicative management system of enterprises in the tourism industry. Electronic specialist publication "Efficient Economy". [Electronic resource]. – Access mode: DOI: 10.32702/2307-2105-2021.9.4
2. Kompanets K.A., Horodetskyi M.Ya., Honchar T.M. Information space: fakes and deepfakes. disinformation and its influence on the activities of enterprises in modern conditions of war Journal "Automotive roads and road construction" [Electronic resource]. - Access mode: <http://addb.ntu.edu.ua/pages/contacts.html>
3. Kompanets K.A., Fedoryak R.M., Sydorenko T.M.. Formation and practical application of marketing research in the activities of hotel and restaurant business enterprises. V International scientific and practical conference "Modern trends in the development of financial and innovation-investment processes in Ukraine" Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia February 25, 2022 [Electronic resource]. – Access mode: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/fiip/fiip2022/schedConf/presentations>
4. Zheleznyak K.L., Kompanets K.A. Marketing research is a tool for strategic management of the company's competitiveness. Black Sea Economic Studies. 2019. Issue 46. P. 83-87. [Electronic resource]. – Mode of access: DOI: <https://doi.org/10.32843/bses.46-14>
5. Kompanets K.A., Litvyshko L.O., Horodetskyi M.Ya. Digitalization of society under the influence of the determinants of the COVID-19 pandemic. Information technologies in culture, art, education, science, economy and business: materials of the International Scientific and Practical Conference, April 22-23, 2021, Kyiv. P. 259 URL: http://knukim.edu.ua/wp-content/uploads/2021/12/ZBIRNYK_TEZ_ITKM_2021_CH2_na-sajt.pdf
6. European Business Association. <https://eba.com.ua/research/doslidzhennya-ta-analityka/>, last accessed 2023/02/05.
7. C. G. Reddick Handbook of Research on Strategies for Local E-government Adoption and Implementation / C. G. Reddick. - IGI Global, 2019. - 1106 p. 7.
8. Klymanska L.D. Communicative technologies for modeling political space in a democratic society [Electronic resource] / L.D. Klymanska. – Access mode: www.democracy.kiev.ua/publications/collections/conference_2021.

УДК 659.4.011
UDC 659.4.011

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-234-246

**РОЛЬ ТЕХНОЛОГІЙ У СУЧАСНОМУ МАРКЕТИНГОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ: ТЕНДЕНЦІЇ
ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ В ЕПОХУ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ**

**THE ROLE OF TECHNOLOGY IN THE MODERN MARKETING ENVIRONMENT: TRENDS
AND RESEARCH METHODS IN THE ERA OF DIGITAL TRANSFORMATION**



Дяченко Тетяна Олексіївна, доцент кафедри, кандидат економічних наук, доцент. Національний транспортний університет, Київ, Україна, mart_09@i.ua,

<https://orcid.org/0000-0002-3774-2396>



Гончар Тетяна Миколаївна, старший викладач кафедри менеджменту, Національний транспортний університет, Київ, Україна, tetgonchar@ukr.net,

<https://orcid.org/0000-0002-3724-3490>



Артемчук Валентина Олександрівна, старший викладач кафедри менеджменту, Національний транспортний університет, Київ, Україна, artemchuk@ntu.edu.ua,

<https://orcid.org/my-orcid/0000-0001-7326-1373>



Пархоменко Олексій Сергійович, старший викладач кафедри менеджменту, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.parokhnenko@ntu.edu.ua,

<https://orcid.org/my-orcid/0000-0002-4369-43273>

Анотація. В статті розкрито сутність сучасного маркетингового середовища в сучасному середовищі цифралізації. Авторами надається літературна думка понятійного апарату визначень: «ринку», «середовище маркетингу», «маркетингове середовище», «макросередовище ринку» та «маркетингове мікросередовище». Визначено головні ознаки сучасного маркетингового середовища.

У статті досліджується вплив науково-технічного прогресу, що характеризується технологічними змінами, які глибоко впливають на спосіб життя, потреби та вподобання споживача. Вони впливають на всі аспекти бізнесу, але найголовніше, що це помітно в сфері інновацій. Проведено аналіз перешкод і можливостей, з якими стикаються підприємства під час впровадження цифрових

технологій у маркетинг, і стратегії для подолання цих викликів. Огляд сучасних методів та інструментів для збору, аналізу та інтерпретації даних у маркетингових дослідженнях. Проведення маркетингових досліджень залежить від подальшого вибору стратегічного напрямку компанії, що дозволяє створити стратегічний план маркетингу

Розкрити питання застосування методів аналізу даних для отримання інсайтів про поведінку споживачів, ефективності маркетингових заходів та ідентифікації нових можливостей на ринку. Всі питання, що розкриті в статті є актуальними і несуть інформаційну базу для подальшого дослідження.

Ключові слова: маркетингове середовище, методи маркетингових досліджень, інформаційні технології, цифрова трансформація, маркетинг.

Постановка проблеми. Останні роки стали важливими для України. Через ізоляційні обмеження, запроваджені пандемією Covid19, та чинним воєнним станом в Україні постраждали всі галузі економіки. В даний час все більше уваги приділяється питанню співвідношення маркетингу і планування в стратегічній сфері. Отже, теоретично стратегія, яка використовується для управління логістичним процесом компанії, має бізнес-ціль, тоді як операційний підхід узгоджується з концепцією логістики. При цьому зберігання, складування та доставка не можуть бути окремими видами розподілу. Це суперечить інтеграції продажів як практики. Таким чином, розуміння ролі маркетингу та логістики в продажах і розробка маркетингових стратегій дистрибуції та дистрибуції повинні розглядатися через зміст стратегічної реалізації збутової діяльності компанії.

Від військової агресії Російської Федерації постраждали всі сектори економіки країни, зруйнована інфраструктура та окуповано багато міст. Наразі актуальність теми обумовлена зростаючою привабливістю підтримки логістичного сектору, тому що саме він є каталізатором та провідником, що забезпечує всім необхідним збройні сили України та населення. Завдяки логістичним компаніям в країні не зупинилась робота багатьох інфраструктурних та господарських об'єктів[1].

Сучасна ринкова економіка – це складний організм, що складається з різноманітних виробничих, торговельних, фінансових та інформаційних систем, які функціонують на основі величезного масиву правових норм, об'єднаних лише одним поняттям – ринком. Створення конкурентного середовища та боротьба з монополізмом сьогодні є одним із найважливіших напрямків економічної реформи в Україні. Конкуренція змушує всі типи фірм-власників постійно стежити за змінами попиту та пропозиції, цін на матеріали, знижувати собівартість продукції, пропонувати свої товари та послуги на ринку кращої якості, підвищувати свою конкурентоспроможність. У минулому багато компаній могли успішно працювати, зосереджуючись на повсякденній діяльності, внутрішніх проблемах, пов'язаних із найкращим використанням ресурсів у існуючій діяльності. В даний час завдання раціонального використання потужностей в існуючих операціях залишається незмінним, але важливим власником стає питання забезпечення бізнес-стратегії систем інвентаризації, яка дозволяє компанії адаптуватися до мінливого середовища.

Аналіз і огляд останніх досліджень. Питанням дослідження маркетингових стратегій в управління підприємствами присвячені праці таких вчених – науковців, а саме: Городецький М., Гребельник М, Дикань В., Зубенко В., Ільченко В., Компанець К., Литвишко Л., Маковоз О., Сорока М., Хобта М., Шраменко І. та інші. Авторами розглядаються загальноприйняті методи стратегічного управління яке базується на маркетинговій політиці підприємства. Вони визначають, що маркетинг є економічна категорія яка має досить широкий зміст. Але незважаючи на такий великий досвід в формуванні маркетингових стратегій управління підприємствами залишаються не розкритими питання

методів їх дослідження та ефективного застосуванню в складській логістиці.

Ділове середовище та конкуренція змінюються настільки швидко, що традиційних каналів збуту вже недостатньо для продажу вашого продукту. Немає чітких бізнес-керівництв, яких необхідно дотримуватися, щоб отримати бажані результати. Але кожна діяльність у сфері фінансів, підприємницької діяльності потребує постійного вдосконалення та диверсифікації та подальших напрямків.

Дослідженню маркетингових стратегій у корпоративному управлінні присвячені роботи таких науковців – вчених: Н. Буреннікова [4], А. Вінтоняк [2], М. Городецький [1,6], В. Ільченко В. [1,6], К. Компанець [1, 5,6], Н. Косар [2], Литвішко Л. [5], І. Пилипенко, [4] та ін. Автори розглянули загальноприйняті практики стратегічного управління, засновані на ринковій політиці компанії. Вони визначають, що ринок є економічною категорією з досить широким визначенням.

Основна частина. Проблема створення комплексу маркетингу компанії є дуже важливою, оскільки під тактичною діяльністю маркетингу розуміється повсякденне реальне управління компанією. У розробці концепції складності бізнесу долучилися такі вчені: Дж. Кулітен, Ніл Борден, Джером Маккарті, Філіп Котлер, Джон Гейл, Крістофер Лавлок, Стенлі Паливода, Ван Вотершут і ван ден Булт, В.І. Черенков та ін.

Автори вважають, що успішна господарська діяльність компанії можлива лише за допомогою якісної інформації, постійного моніторингу ділової ситуації. Зібрана та проаналізована інформація дозволяє керівництву приймати обґрунтовані рішення щодо кожного продукту та розробляти бізнес-плани. На цьому етапі розробляється детальний план для кожного продукту, підрозділу або продукту компанії. Річний бізнес-план закладає основу для організації всіх видів діяльності: виробництва, маркетингу, фінансів, створює діловий імідж організації.

Найпоширенішим визначенням «маркетингового середовища фірми» є визначення, запропоноване Ф. Котлером[2]: маркетингове середовище — це сукупність факторів, які впливають на здатність фірми розвивати та підтримувати відносини з цільовим ринком. Ринкове середовище постійно змінюється: ринкові можливості та загрози виникають, змінюються та зникають, тому для організації дуже важливо вчасно визначити ринкові можливості та загрози, щоб розвинути можливості та усунути загрози.

Н.В.Куденко [2] розрізняє ринкове макросередовище та мікросередовище, а також керовані та неконтрольовані фактори ринкового середовища.

Слово «ринок» утворено від англійського «market» — торгівля, продаж, продаж, яке в свою чергу походить від «market», що означає ринок, базар, а в широкому сучасному розумінні — ринкова діяльність.[2]

Ділові мікрорегіони - це середовище, в якому організація працює безпосередньо в бізнес-діяльності. Екологічні зацікавлені сторони в мікросередовищі включають саму організацію, постачальників, підприємства, споживачів, конкурентів і громадськість.

Макроринкове середовище складається з тих факторів, які не можуть безпосередньо контролюватися компанією, але впливають на активність ринку. Сфера макроринку включає економічний сценарій, демографію, політичний сценарій, НТП (науково-технічний прогрес), культуру та природне середовище.

Контрольовані фактори - це фактори, які безпосередньо контролюються організацією, тобто створюються, змінюються та контролюються. Вони включають елементи бізнес-інтеграції (продукт,

ринок, збут, просування) і фактори, пов'язані з системою управління бізнесом (система управління бізнесом, структура організації маркетингу, персонал).

Неконтрольовані фактори – це фактори, які знаходяться поза прямим контролем компанії. Вони включають такі фактори, як економічні, політичні, законодавчі, демографічні, культурні, технологічні, екологічні[3].

Теоретичне бачення понятійного апарату «маркетингове середовище» розглянемо в таблиці 1.

Таблиця 1 - Визначення поняття «маркетингове середовище» різних авторів

Table 1 - Definition of the concept of "marketing environment" by different authors

Автори	Визначення поняття
Ф. Котлер	Маркетингове середовище - сукупність діючих за межами підприємства суб'єктів та сил, які впливають на розвиток й підтримку службами маркетингу вигідних взаємовідносин з цільовими клієнтами
В.А. Полторак	Маркетингове середовище – це сукупність активних суб'єктів, різноманітних чинників, що діють за межами підприємства і впливають на її стратегію, можливості ефективно працювати на ринку і не підлягають безпосередньому контролю з боку підприємства
М.І. Белявцев, Л.М. Іваненко	Середовище маркетингу – сукупність активних суб'єктів, сил і факторів, що діють як усередині, так і за межами підприємства й організації, які впливають на можливості керівництва, і служби маркетингу досягати поставлених цілей.
О.М. Азарян	Маркетингове середовище – це сукупність активних суб'єктів і сил, що діють за межами підприємства і впливають на можливості керівництва службою маркетингу встановлювати та підтримувати з цільовими клієнтами відносини успішного співробітництва.
С.В. Скибінський	Маркетингове середовище підприємства – сукупність активних суб'єктів та сил у межах та за межами підприємства, які впливають на можливості керівництва підприємства та служби маркетингу діяти на цільових ринках підприємства
С.С. Гаркавенко	Маркетингове середовище - сукупність суб'єктів, умов та сил, що діють за межами підприємства і здатні вплинути на його маркетингову діяльність

Джерело: сформовано автором [1,4-6]

Ф. Котлер, В.А. Полторак, та О.М. Азарян припускає, що всі фактори маркетингового середовища мають вплив за межами підприємства і не піддаються безпосередньому впливу підприємства. Ми з цим не згодні, тому що маркетингове середовище буває внутрішнім (фактори, які підлягають управлінню на підприємстві і які можна вибирати) і зовнішнім, що включає фактори мікросередовища (на які організація може впливати лише певною мірою: вибрати постачальників, коригувати умови співпраці з ними або за допомогою маркетингових інструментів, поведінку покупців і процес прийняття ними рішення про покупку тощо) і впливати на макросередовище. Таким чином, макрофактори середовища діють лише поза організацією і не піддаються прямому впливу конкретної організації.

На нашу думку, більш точним є таке визначення: «Маркетингове середовище» — це сукупність взаємопов'язаних факторів, речей і сил, які, з одного боку, взаємодіють один з одним, а з іншого —

безпосередньо впливають на організацію та ефективність. Його виступ на обраному ринку, маркетингова діяльність.

Враховуючи політичні, економічні, демографічні умови країни та тенденції споживчого ринку, як в цілому, так і для окремих товарних груп, маркетингове середовище є невизначеним, динамічним і непередбачуваним у деяких сферах. Крім того, існує така особливість, як комплексність маркетингового середовища (рис. 1) [1].



Рисунок 1 - Ознаки маркетингового середовища

Figure 1 - Signs of a marketing environment

Джерело: сформовано автором [1]

Усі ці показники необхідно враховувати при оцінці та аналізі бізнес-середовища. Природні ресурси як фактор у загальній сфері бізнесу останнім часом стають більш важливими через зростання рівня забруднення навколишнього середовища. Концепція соціально-етичного підприємництва виникла в основному через екологічні проблеми. Його суть полягає в тому, що, задовольняючи потреби окремих споживачів, компанії повинні враховувати інтереси суспільства в цілому.

Науково-технічні розробки, технологічні зміни мають величезний вплив на спосіб життя, спосіб життя, потреби та переваги споживача. Вони впливають на всі сторони бізнесу, але найголовніше це проявляється у сфері інноваційної діяльності.

Роль підприємства як елемента підприємницького середовища значною мірою залежить від важливості підприємницького підприємства для загальної структури підприємства, його організаційної структури та його відносин з іншими суб'єктами. Рівень професійної освіти та отриманий бізнес-досвід також відіграють важливу роль як компонент схемотехніки.

Маркетингові посередники - це компанії та організації, які беруть участь у тій чи іншій фазі бізнес-процесу фірми (дослідження ринку, продажі, просування тощо). До них відносяться: бізнес-посередники - вони допомагають товару дійти до кінцевого споживача; Маркетингові агентства - Проведення маркетингових досліджень організацією; Рекламні агентства - виступають суб'єктом маркетингових комунікацій компанії[5].

Роль постачальників як чинника маркетингового мікросередовища визначається тим, що матеріально-технічні ресурси та комплектуючі є входними елементами процесу виробництва товару. У розвиненій ринковій економіці практично немає проблем із забезпеченням ресурсами. Організація може вибирати постачальників за певними критеріями (ціна, рівень обслуговування тощо).

При вивченні поведінки споживачів як фактора маркетингового середовища необхідно вирішувати дві основні проблеми: вивчення факторів, що впливають на поведінку споживачів; рішення споживача придбати товар.

Громадськість - це люди та організації, які мають реальний або потенційний інтерес до організації або впливають на ймовірність досягнення її цілей. Громадськість може допомагати і перешкоджати організації в реалізації її цілей. Наприклад, якщо компанія має негативний імідж у фінансових колах (банки, страхові компанії), їй буде дуже складно реалізувати можливість отримання фінансових ресурсів.

Конкуренція - це боротьба за частку ринку між підприємствами, споживачі яких мають однакові або подібні потреби. Аналіз конкуренції дозволяє виявити ринкову позицію фірми, конкурентоспроможність її продукції [3 - С. 114-121].

Проблемним питанням дослідження маркетингового середовища є неадекватність методичних рекомендацій щодо організації та проведення маркетингових досліджень зовнішнього та внутрішнього середовища фірми. Під час дослідження маркетингового середовища слід керуватися наступними принципами;

- об'єктивність - передбачає адекватне відображення отриманих даних та результатів;
- системність – ретельний аналіз усієї сукупності чинників, суб'єктів та сил маркетингового середовища, виділення структурних складових, визначення ієрархічних зв'язків і взаємопідпорядкованості процесів і явищ;
- комплексність – вивчення явищ і процесів, які відбуваються у маркетинговому середовищі у всій повноті, взаємозв'язку та розвитку;
- точність – дослідження маркетингового середовища повинні ґрунтуватися на певних джерелах інформації (власних, офіційних, зібраних тощо);
- ретельність – використання різноманітних інструментів і методів, проведення необхідних підрахунків;

- регулярність – дослідження чинників маркетингового середовища повинні проводитися систематично для своєчасного виявлення змін та їх урахування під час підготовки та прийняття управлінських рішень.

В науковій літературі визначають загальноприйняті методи дослідження маркетингових стратегій підприємства (рис 3)

На основі бізнес-моделей і формулювання політики вони поділяються на децентралізовані, централізовані та зустрічні. Децентралізована (розроблена «знизу») складається з окремих систем, розроблених корпоративними підрозділами, потім затверджених керівництвом і зведених в єдиний корпоративний бізнес-процес. Централізовані, або «зверху вниз», програми — це системи, коли весь бізнес-процес і окремі його компоненти складаються менеджерами компанії на основі даних аналітичних відділів. Третій, контрфактичний ринковий механізм, відрізняється від перших двох тим, що поєднання централізованих і децентралізованих механізмів створює ринок політики на основі змагального підходу. Менеджери встановлюють загальні цілі та напрямки діяльності, а співробітники розробляють плани реалізації.



Рисунок 3 – Система методів дослідження маркетингової діяльності підприємства

Figure 3 – System of research methods of marketing activity of the enterprise

Джерело: сформовано автором [5].

Для вивчення маркетингового потенціалу компанії можна застосувати весь арсенал маркетингових досліджень. Сьогодні методологічні основи маркетингу включають загальнонаукові, аналітичні та діагностичні методи, а також методологічні прийоми, запозичені з різних галузей знань. Із загальнонаукових методів [5] Для вивчення маркетингового потенціалу організації успішно застосовується системний і комплексний аналіз.

Системний аналіз дозволяє розглядати будь-яку ринкову ситуацію як специфічний об'єкт для дослідження з розгалуженими внутрішніми і зовнішніми причинно-наслідковими зв'язками. Отже, зміни на ринку споживчих товарів можуть бути викликані зовнішніми процесами, змінами в ринковому секторі засобів виробництва, фінансовому ринку, міжнародному ринку - внутрішніми процесами змін у розвитку окремих взаємопов'язаних ринків товарів. [5]. Застосування методів системного аналізу, основою яких є не формальний математичний апарат, а загальні ідеї, оригінальний підхід до розв'язуваної задачі, є своєрідним понятійним апаратом. Однак системний аналіз, заснований на загальній теорії систем, також увібрав багато інших дослідницьких підходів з багатьох суміжних і суміжних наук. Тому в його застосуванні широко використовуються різноманітні методи та математичний апарат (різноманітні наукові засоби) інших наук, особливо кількісні (економічний аналіз, статистичні та морфологічні методи), неформальні (метод сценаріїв, експертних оцінок, методи

діагностики), графічні (теорія графів, мережеве планування, методи графічного відображення зв'язків, пропорцій, структури тощо).

Особливе місце в методологічному арсеналі маркетингу займають методи експертної оцінки. Вони дозволяють оперативно отримати відповідь про можливі процеси розвитку тієї чи іншої події на ринку, виявити сильні та слабкі сторони організації та оцінити ефективність тих чи інших маркетингових дій. На практиці для проведення експертних оцінок найчастіше використовують метод Дельфі, метод мозкового штурму, метод синектики.

Метод Дельфі - це форма опитування експертів, при якій їх анонімні відповіді збираються в кілька турів, а потім шляхом ознайомлення з проміжними результатами виходить групова оцінка досліджуваного процесу.

Метод мозкового штурму передбачає неконтрольоване генерування і спонтанне формування ідей учасниками групового обговорення проблеми. На основі цієї плутанини виникають ланцюжки асоціацій, які призводять до несподіваного вирішення проблеми.

Синектика вважається методом високого творчого потенціалу. Ідея методу полягає в поступовому віддаленні вихідної проблеми шляхом побудови аналогій з іншими галузями знань. Після багатокрокових аналогій він швидко повертається до вихідної проблеми. Таблиця 2 підсумовує основні традиційні методи маркетингових досліджень і коротко їх описує.

Проведення маркетингових досліджень залежить від подальшого вибору стратегічного напрямку компанії, що дозволяє створити стратегічний план маркетингу.

Створення стратегічної маркетингової програми базується на інформації про ресурси компанії, дії та наміри конкурентів і розвиток ринкової ситуації. Представлені методи дають змогу створити стратегічну програму розвитку організації. Для отримання цих даних менеджер володіє багатим арсеналом прийомів дослідження ринку та відгуків споживачів. Однак у діловій та консалтинговій практиці для стратегічного аналізу використовується багато специфічних методів, наприклад, аналіз ринку, потенціалу, конкурентів, можливості - ризик тощо.

Метою сценарного аналізу є аналіз потенціалу організації та обмежень у його реалізації. Весь процес ситуаційного аналізу можна розділити на три напрямки дослідження: аналіз зовнішньої ситуації компанії: покупці, маркетологи, конкуренти, постачальники, бізнес-посередники, бізнес-субрегіони; Аналіз бізнес-процесів: бізнес-процеси з точки зору управління та досягнення цілей: зовнішні умови, завдання, процеси та стратегії бізнес-процесів, аналіз процесів та розподіл ресурсів, планування бізнес-діяльності; Аналіз основних складових бізнесу: продукти, структури ціноутворення, моделі руху товару та організації продажів, реклама, стимулювання збуту.

Що стосується методів, які використовуються в процесі аналізу контексту, їх можна розділити на дві категорії методів дослідження: методи, спрямовані на частину системи, в якій працює підприємство (наприклад, маркетинговий аналіз); методи, які поєднують результати різних підходів (наприклад, аналіз сильних і слабких сторін).

Другий етап розробки бізнес-плану - бізнес-дослідження, включає три основні елементи: постановку цілей (прийняття рішень про розробку та реалізацію нових цілей); розробка системного набору цілей; аналіз цілей (визначення намірів компанії та врахування ідентифікації внутрішніх і зовнішніх можливостей).

Третій етап - стратегічне планування - це встановлення і реалізація цілей і завдань компанії для кожного ринку і кожного продукту протягом певного періоду часу, для виробничої і маркетингової діяльності в повній відповідності з бізнес-середовищем і можливостями компанії.

Ця стратегія охоплює стратегії вибору та розуміння складності розробки бізнес-стратегій. Що стосується процесів планування, то можна виділити: сторінки державного виробника (SGP); постановка бізнес-цілей; аналіз ситуації, стратегія розвитку бізнесу; Моніторинг процесів і результатів.

Таблиця 2 – Характеристика методів маркетингових досліджень

Table 2 – Characteristics of marketing research methods

Метод	Зміст	Переваги та недоліки	Форма проведення
1	2	3	4
Спостереження	Реєстрація реакції (поведінки) споживача	– висока ступінь об'єктивності оцінки – деякі фактори не піддаються спостереженню, великі витрати	Польова або лабораторна. За участю спостерігачів та без нього
Опитування, інтерв'ю	Опитування учасників ринку та експертів	дослідження обставин і факторів, що не проявились у поведінці споживача (мотиви) – необхідність забезпечення репрезентативності вибірки	Письмова та усна. Стандартизована. Різні способи зв'язку з аудиторією
Панельне дослідження	Повторний збір інформації через певний період часу у визначеному місці	– виявлення тенденцій розвитку за визначений період «смертність» панелі	Торгівля, споживацька
Експеримент	Дослідження впливу одного фактору на інший (при одночасному контролю факторів)	– можливість дослідження впливу різних факторів, контроль ситуації великі затрати часу та засобів	Польова, лабораторна
SWOT-аналіз	Широко застосовується у процесі <u>стратегічного планування</u> , що полягає в розділенні чинників і явищ на чотири категорії:	- його побудова базується на методології системно-цільового підходу, де основна увага акцентується на вимірюванні параметрів зовнішнього й внутрішнього середовища в просторі, у часі й з урахуванням інформаційного потенціалу - проведення структуризації факторів зовнішнього й внутрішнього середовища, що є універсальними для будь-якого підприємства. - здійснення синтезу факторів зовнішнього й внутрішнього середовища.	Експертний аналіз

Продовження табл. 2.
Continuation of the table. 2.

1	2	3	4
PEST - аналіз	Описує структуру факторів макросередовища, які використовуються в компоненті сканування середовища <u>стратегічного управління</u>	- політика вивчається, тому що вона регулює владу, яка в свою чергу визначає середовище компанії і отримання ключових ресурсів для її діяльності. - основна причина вивчення економіки — це створення картини розподілу ресурсів на рівні держави, яка є найважливішою умовою діяльності підприємства. - не менш важливі споживчі переваги визначаються за допомогою соціального компонента pest-аналізу. - останнім чинником є технологічний компонент. метою його дослідження прийнято вважати виявлення тенденцій у технологічному розвитку, які часто є причинами змін і втрат ринку, а також появи нових продуктів.	Експертний аналіз

Джерело: удосконалено автором

Крок четвертий. Плани тактичного планування збуту охоплюють усі основні елементи інтегрованого маркетингу, а саме список продуктів, збут і розподіл, рекламу та стимулювання збуту, розробку планів і зміни цін.

Основними етапами маркетингового процесу є тактичне планування;

- Визначення бізнес-можливостей і обмежень (оцінка бізнесу);
- Встановити конкретні та реалістичні бізнес-цілі;
- Створення програм, відповідальних за виконання;
- розробка графіків роботи та контроль розкладу програм;
- Програма з нейладів і програма, подана до прогнозів і бізудів, яка є основою для оцінки інших програм, програм і програм.

Завершальний етап - Контроль маркетингової діяльності - Періодичне всебічне і об'єктивне дослідження маркетингової діяльності фірми і узгодження маркетингової стратегії із зовнішніми умовами, яке здійснюється в установленому порядку.

На основі вищевикладеного можна виділити деякі характеристики плану маркетингу;

- цілеспрямоване мислення;
- координує рішення та дії у сфері маркетингу;
- уникнення бажання досягти найвищого рівня в програмі «Шадан»
- фокусується на внесенні майбутніх змін у зовнішньому середовищі, а не на реагування на зміни, що вже відбулися;

- дозволяє керівництву організації встановлювати розумні пріоритети для розподілу обмежених ресурсів, завжди відносно них;

- подає інформоване повідомлення про цілі та імобілізацію ресурсів і є передумовою для конструктивної критики;

- вмотивовані повідомлення, але дуже онлайн залежить від досягнення особистих цілей (кар'єра, зарплата, престиж);

- забезпечити розробку маркетингових програм на основі;

- передумови для аналізу та контролю взаємозв'язків.

Отже, ієрархічна структура бізнес-процесу включає:

- цільові тенденції розвитку ринку та прогноз, включаючи фактори макро- та мікросфери бізнесу;

- ринкова позиція компанії та наміри вибору та стратегії дій на цільовому ринку;

- команда маркетингу, яка підтверджує розробки продуктів, комунікацій, продажів, ціноутворення та HR-систем;

- джерела фінансування програми та спосіб її управління.

Аудит бізнесу — це систематичний, неупереджений і регулярний всебічний аналіз бізнес-середовища компанії, її проектів, стратегій і операцій з метою виявлення нових проблем і можливостей, а також надання рекомендацій щодо робочого процесу компанії для покращення бізнес-операцій.

Висновки. В епоху цифрової трансформації, технології стають ключовим фактором у впливі на маркетингові практики та стратегії підприємств. Саме дослідження маркетингового середовища з використанням сучасних технологій дасть можливість швидко реагувати на сучасні зміни. Все більше компаній звертаються до використання новітніх технологій, таких як штучний інтелект, аналітика даних, автоматизація маркетингових процесів тощо, для оптимізації своєї діяльності та підвищення конкурентоспроможності. Відповідно, розуміння та дослідження ролі цих технологій у маркетинговому середовищі є критично важливим для пристосування стратегій маркетингу до нових умов і забезпечення успішної конкурентоспроможності підприємств у сучасному світі.

Перелік посилань

1. K. Kompanets, V. Ilchenko, M. Horodetsky, I. Antonyuk · A. Medvedieva, Strategic Prospects for the Development of the Logistics Services Market in Ukraine. Studies in Systems, Decision and Control. Springer Nature Switzerland AG 2024 с. 883–899 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-36895-0> Scopus

2. Н. С. Косар, А. А. Вінтоняк. Вплив факторів маркетингового середовища на розвиток роздрібної торгівлі в Україні. Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку. № 1 (9), 2023. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: science.lpnu.ua

3. Львовская коммерческая академия. 2. Мікросередовище маркетингу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: studfile.net

4. Пилипенко І.О., Буреннікова Н.В. Розробка та управління маркетинговою стратегією підприємства. Вінниця. 2019 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: iq.vntu.edu.ua

5. Компанець К.А., Литвишко Л.О., Артемчук В.О. Маркетингові підходи в бізнес-аналітики як інструмент адміністративного управління логістичним сектором України під час війни. III Всеукраїнській науково-практичній онлайн-конференції «Молодий вчений модерну – фундамент розвитку освіти, науки та бізнесу в Україні», яка відбудеться 22 червня 2022 року

6. Ільченко В.Ю., Компанець К.А., Городецький М.Я. Реалізація бізнес-моделі екологічного маркетингу в автотранспортних підприємствах. Вісник Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. Серія «Економічні науки»: науковий журнал. 2021. № 2(75). С. 19-26. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: DOI : 10.33274/2079-4819-2021-75-2-19-26.

THE ROLE OF TECHNOLOGY IN THE MODERN MARKETING ENVIRONMENT: TRENDS AND RESEARCH METHODS IN THE ERA OF DIGITAL TRANSFORMATION

Tetyana Dyachenko, associate professor of the department, candidate of economic sciences, associate professor. National University of Transport, Kyiv, Ukraine, mart_09@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3774-2396>

Tetyana Gonchar, senior lecturer at the Department of Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, tetgonchar@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3724-3490>

Valentina Artemchuk, senior lecturer at the Department of Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, artemchuk@ntu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7326-1373>

Oleksiy Parokhnenko, senior lecturer at the Department of Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, o.parokhnenko@ntu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4369-43273>

Abstract. The article reveals the essence of the modern marketing environment in the modern digitization environment. The authors provide a literary opinion of the conceptual apparatus of definitions: "market", "marketing environment", "marketing environment", "macroenvironment of the market" and "marketing microenvironment". The main features of the modern marketing environment are defined.

The article examines the impact of scientific and technological progress, characterized by technological changes that deeply affect the way of life, needs and preferences of the consumer. They affect all aspects of business, but most importantly, it is noticeable in the area of innovation. An analysis of the obstacles and opportunities faced by enterprises when implementing digital technologies in marketing and strategies for overcoming these challenges was carried out.

Overview of modern methods and tools of data collection, analysis and interpretation in marketing research. Conducting marketing research depends on the further choice of the company's strategic direction, which allows for the creation of a strategic marketing plan

To reveal the issue of using data analysis methods to obtain insights into consumer behavior, the effectiveness of marketing measures, and the identification of new opportunities on the market. All issues discussed in the article are relevant and provide an information base for further research.

Keywords: marketing environment, marketing research methods, information technologies, digital transformation, marketing.

References

1. K. Kompanets, V. Ilchenko, M. Horodetskyi, I. Antonyuk • A. Medvedieva, Strategic Prospects for the Development of the Logistics Services Market in Ukraine. Studies in Systems, Decision and Control. Springer Nature Switzerland AG 2024 p. 883–899 [Electronic resource]. – Access mode: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-36895-0> Scopus
2. N. S. Kosar, A. A. Vintonyak. The influence of factors of the marketing environment on the development of retail trade in Ukraine. Management and entrepreneurship in Ukraine: stages of formation and problems of development. No. 1 (9), 2023. [Electronic resource]. – Access mode: science.lpnu.ua
3. Lviv Commercial Academy. 2. Microenvironment of marketing [Electronic resource]. – Access mode: studfile.net
4. Pylypenko I.O., Burennikova N.V. Development and management of the enterprise's marketing strategy. Vinnitsa. 2019 [Electronic resource]. – Access mode: iq.vntu.edu.ua
5. Kompanets K.A., Litvyshko L.O., Artemchuk V.O. Marketing approaches in business analytics as a tool of administrative management of the logistics sector of Ukraine during the war. III of the All-Ukrainian scientific and practical online conference "Young modern scientist - the foundation of the development of education, science and business in Ukraine", which will be held on June 22, 2022
6. Ilchenko V.Yu., Kompanets K.A., Horodetskyi M.Ya. Implementation of the business model of ecological marketing in motor vehicle enterprises. Bulletin of the Mykhailo Tugan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade. "Economic Sciences" series: a scientific journal. 2021. No. 2(75). P. 19-26. [Electronic resource]. – Mode of access: DOI : 10.33274/2079-4819-2021-75-2-19-26.

УДК 659.113.3
UDC 659.113.3

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-247-256

**РОЗРОБКА РЕКЛАМНОЇ КАМПАНІЇ ПІДПРИЄМСТВА В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ
СЕРЕДОВИЩІ**

**DEVELOPMENT OF THE ENTERPRISE ADVERTISING CAMPAIGN IN A
TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT**



Ложачевська Олена Михайлівна, доктор економічних наук, професор, завідувачка кафедри менеджменту, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: o.lozhachevska@ntu.edu.ua, тел. +380442808438,

<https://orcid.org/0000-0001-8462-925X>



Литвишко Лілія Олександрівна, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри менеджменту, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: l.lytyyshko@ntu.edu.ua, тел. +380442808438,

<https://orcid.org/0000-0001-9315-046X>



Малахова Юлія Анатоліївна, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри менеджменту, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: yu.malakhova@ntu.edu.ua, тел. +380442808438,

<https://orcid.org/0000-0002-8769-7597>

Анотація: В умовах сучасної конкуренції для ефективного функціонування будь-яка компанія повинна забезпечити ефективне і коректне донесення інформації про себе, продукти, які вона виробляє, або послуги, які надає потенційним споживачам. Тому в умовах сучасної економіки підприємства намагаються активно використовувати рекламні можливості та розвивати вже наявні рекламні стратегії.

Рекламна індустрія в Україні лише нещодавно почала розвиватися, але рекламодавці вже мають достатньо досвіду, щоб покращити свою ефективність підприємства. Професіонали, які розуміють важливість реклами, постійно у пошуках нових вражаючих рекламних ініціатив. Вони знають як інвестувати кошти для проведення успішного промозаходу і щоб про них заговорив світ.

В той же час, деяким керівникам компаній все одно доводиться вкладати кошти на рекламу і це може бути невиправдано дорого, але компанії повинні знайомити потенційних споживачів зі своєю продукцією або послугами. Успішні рекламні кампанії можуть допомогти компаніям збільшити свою пізнаваність на ринку та вирізнити себе в конкурентному середовищі.

В роботі розглядається процес розробки ефективної рекламної кампанії для підприємства. У статті обґрунтовано необхідність проведення рекламної кампанії та висвітлено основні етапи її розробки: аналіз аудиторії, визначення мети та завдань кампанії, вибір каналів реклами, розробка та реалізація творчої концепції.

Детально розглянуто кожен з етапів розробки рекламної кампанії та надано рекомендації щодо їх виконання. Окрема увага приділена вибору ефективних каналів реклами та використанню інтернет-маркетингу.

Ключові слова: рекламна кампанія, маркетинг, підприємство, цільова аудиторія, рекламні канали, бюджет, ефективність, аналіз, стратегія, рекламні ініціативи, технологічне середовище.

Вступ. Розробка ефективної рекламної кампанії є ключовим елементом стратегії маркетингу підприємства в сучасному світі. У зв'язку зі зростанням конкуренції, швидкими змінами у поведінці споживачів та зростанням ролі інтернет-маркетингу, розробка ефективної рекламної кампанії стає все складнішою та вимагає більш ретельного підходу. Дослідження процесу розробки рекламної кампанії допоможе підприємствам зрозуміти як правильно аналізувати свою цільову аудиторію, визначати мету та завдання кампанії, вибирати ефективні канали реклами, розробляти та реалізовувати творчу концепцію. Також дослідження допоможе підприємствам ефективніше використовувати бюджет на рекламу та підвищити її ефективність, що в свою чергу сприятиме збільшенню продажів та прибутку підприємства.

Дослідження, присвячені темі реклами та її різноманітним аспектам, здійснені такими науковцями, як К. Абрамов, А. Бурлаєнко, В. Маяковський, Т. Кьоніг, І. Гольцекер, Д. Беклешова, Ю. Шерковін, О. Кукаркін, М. Мануйлов, О. Феофанов, Р. Сорокіна, К. Воронова, О. Красуліна, К. Павлова, Ю. Дегтярьова, Л. Корнілова, С. Загладіна, Ю. Хачатурова, В. Толстих, Л. Гермогенова та І. Кардашиді. Проте, досі недостатньо досліджено особливості реклами та розробки рекламних кампаній для українських підприємств.

Одним із актуальних напрямів досліджень є вивчення специфіки реклами та розробки ефективних рекламних кампаній для українських підприємств. З урахуванням особливостей українського ринку, мови та культури необхідно дослідити ефективність використання різних рекламних каналів, таких як телебачення, радіо, преса, зовнішня реклама та інтернет-маркетинг. Крім того, потрібно розглянути вплив новітніх технологій, таких як мобільний маркетинг, соціальні мережі та відеореклама на результативність рекламних кампаній. Результати такого дослідження можуть стати корисними для розвитку ефективних стратегій реклами для українських підприємств та покращення їхнього ринкового позиціонування.

Матеріали та методи. Методологічною основою виступають такі традиційні загальнонаукові та спеціальні методи: системного, логічного підходів, індукції та дедукції, систематизації і класифікації, групування, описовий та порівняльний методи, метод синтезу та аналізу, статистичний метод обробки даних, табличний метод. Джерелами дослідження є статистичні та аналітичні дані обсягів рекламно-комунікаційного ринку України за 2022-2023 роки.

Метою роботи є аналіз обсягів рекламно-комунікаційного ринку України за 2022-2023 рр. та розробка ефективної рекламної кампанії для підприємства для збільшення продажів та підвищення бренду в очах цільової аудиторії.

Виклад основного матеріалу. Реклама є частиною цілого набору способів стимулювання

збуту поряд з індивідуальною реалізацією, стимулюванням продажів і зв'язками з громадськістю (інформаційно-пропагандистська діяльність), кожний з яких може застосовуватися або для збуту, або для залучення клієнтури на продукцію, послуги чи ідеї підприємства [2].

В науковій літературі термін «реклама» розглядають по-різному. Наведемо найбільш розповсюджені підходи до визначення реклами. Реклама – це заходи щодо привертання уваги до товару, послуги конкретного виробника, продавця, посередника і поширення за їх рахунок і під їх маркою пропозицій, закликів, порад, рекомендацій щодо купівлі товару або послуг [3].

Рекламу визначають як «будь-яку платну форму неособистісної пропозиції і уявлення людей, товарів і послуг від імені відомого спонсора. За допомогою реклами формується визначення уявлення споживача про набуті якості товару. Реклама здійснюється для забезпечення головного економічного інтересу виробника чи посередника, що визначається її ціллю» [8].

Реклама являє собою обов'язкову умову успішного функціонування економіки. Вона виконує стимуляційний вплив на розвиток економічних процесів, пожвавлення ринків, збільшення виробництва і споживання та, як наслідок, зниження собівартості одиниці продукції. Адже реклама здійснюється з метою просування продукції, збільшення обсягів її реалізації і, тим самим, для забезпечення зменшення витрат на одиницю продукції, навіть при додаткових (оптимальних) витратах на рекламу. Обмеження рекламних заходів стримуватиме реалізацію продукції та, відповідно, її виробництво і визначатиме вищі витрати на одиницю продукції [9].

Провівши аналіз наукових праць зарубіжних учених, таких як А. Дейана, Ф. Котлера, Ф. Джефкінса та вітчизняних вчених – Т. О. Примака, Б. А. Обритько, С. С. Гаркавенко можна дійти висновку про те, що стандартне визначення реклами містить такі позиції: реклама носить безособовий характер; реклама це – платна форма діяльності; реклама багатофункціональна; реклама ідентифікує спонсора; має масовий характер; реклама має інформативну сутність.

Основне завдання реклами – вплив на цільову аудиторію відповідно до поставлених комунікаційних цілей. Сутність реклами можна пояснити, розкриваючи ролі, які вона відіграє в бізнесі та суспільстві [2].

Отже, реклама є найпереконливішим способом поінформувати потенційних споживачів про певний товар або певну послугу.

Сутність реклами можна пояснити, розкриваючи ролі, які вона відіграє в бізнесі та суспільстві. Існує достатньо велика кількість видів реклами, які можна класифікувати залежно від застосування тих або інших методологічних підходів. Зростання ТВ-ринку на 10% в 2022 році пояснюється, головним чином, запланованої продавцями ТВ-реклами медіаінфляцією.

Також можна відмітити, що реклама в друкованих засобах масової інформації втрачає свою популярність з все більшим розповсюдженням Інтернет-технологій. Так, обсяги рекламування в газетах скоротились на 9,3%, в журналах на 0,9% (табл. 1).

Відбулося зростання обсягів зовнішньої реклами: обсяги витрат компаній на щитову рекламу зросли на 4%, рекламу на транспорті – на 4%.

Значне зростання відбувається в секторі Indoor реклама (реклама в торгових центрах).

Також значне зростання відбувається на ринку радіо-реклами та реклами в кінотеатрах. Однак, найбільше зростання відмічається саме на ринку Інтернет-реклами за 2023 рік [6].

При цьому, види інтернет-реклами в Україні представлено на рис. 1, до складу якої відноситься: пошукова реклама, банерна реклама, нестандартні рішення, спонсорство, in-page відео, in-stream відео.

Вирішуючи питання про те, який чи які засоби реклами використовувати в рекламній кампанії, необхідно звернути увагу на два важливі питання:

1. Пріоритетні напрями використання засобів реклами.
2. Врахування недоліків та переваг кожного із засобів реклами.

Рекламна кампанія є важливим інструментом для підвищення продажів та популяризації бренду підприємства. У сучасних умовах конкурентних ринків розробка та проведення ефективної рекламної кампанії стає однією з ключових задач, що стоять перед менеджментом підприємства [3].

Розробка ефективної рекламної кампанії є важливим етапом у розвитку будь-якого підприємства. Від успіху рекламної кампанії залежить його популярність серед клієнтів, збільшення продажів, конкурентоспроможність на ринку та загальний успіх бізнесу.

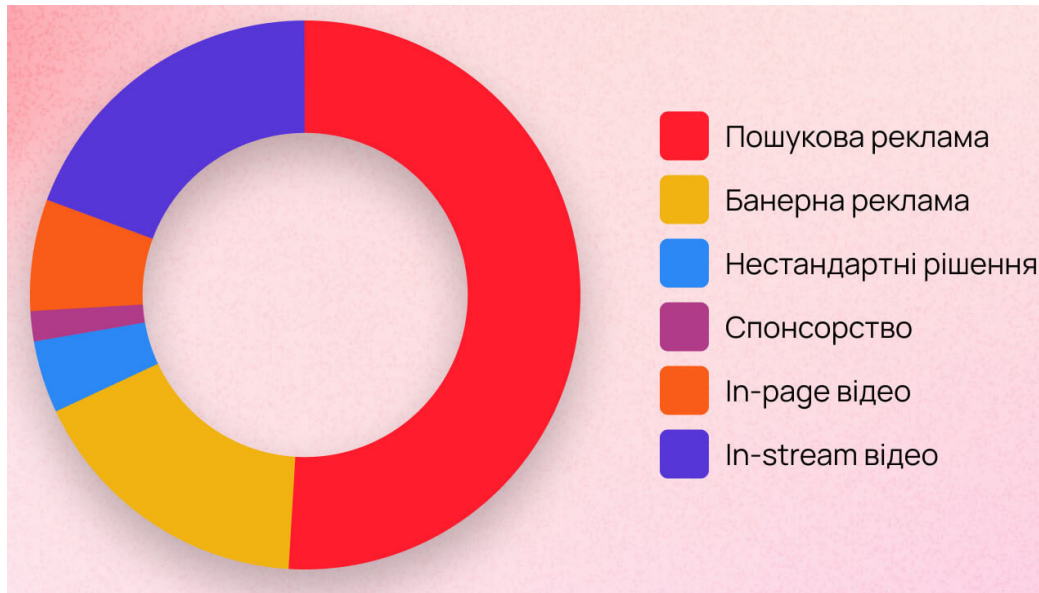


Рисунок 1 – Види інтернет-реклами в Україні
Figure 1 – Types of Internet advertising in Ukraine

Процес розробки рекламної кампанії складається з кількох етапів, включаючи аналіз ринку та цільової аудиторії, визначення меседжу та пропозиції бренду, вибір каналів реклами та оцінку результативності кампанії.

При розробці рекламної кампанії важливо враховувати специфіку бізнесу та цільової аудиторії. Наприклад, рекламна кампанія для споживачів молодшої вікової групи може виглядати інакше, ніж для клієнтів старшого віку. Також, необхідно звернути увагу на те, який ефект від рекламної кампанії підприємство очікує: збільшення продажів, підвищення уваги до бренду, привертання нових клієнтів тощо.

Для досягнення максимальної ефективності рекламної кампанії необхідно вибрати найбільш ефективні канали реклами, які відповідатимуть специфіці бізнесу та цільової аудиторії. Наприклад, для підприємства, що спеціалізується на продажі товарів для дому, ефективними каналами можуть бути реклама у журналах про дизайн інтер'єру, рекламні банери на сайтах з тематичним контентом тощо.

Оцінка результативності рекламної кампанії є важливим етапом у процесі розробки рекламної стратегії. Вона дозволяє визначити ефективність витрат на рекламу та розуміти, наскільки успішно було досягнуто поставленої мети. Оцінка результативності може бути як кількісною (за допомогою метрик, таких як кількість переглядів, кліків, конверсій), так і якісною (аналіз емоційної реакції цільової аудиторії).

Першим кроком у процесі оцінки результативності рекламної кампанії є визначення цілей кампанії та ключових показників ефективності (KPI). Наприклад, якщо ціллю кампанії є збільшення продажів, KPI може включати кількість продажів, середній чек, ROI (return on investment) тощо.

Далі слід зібрати дані про кампанію, такі як кількість переглядів реклами, кліків, конверсій, витрати на рекламу та інші метрики [1]. Ці дані можна отримати за допомогою різноманітних інструментів аналізу даних, таких як Google Analytics, Facebook Insights тощо.

Після збору даних слід проаналізувати їх та зробити висновки про ефективність кампанії. Наприклад, якщо витрати на рекламу перевищують доходи, кампанію можна вважати неефективною. У такому випадку слід розглянути можливість зміни стратегії реклами.

Таблиця 1 – Обсяг рекламно-комунікаційного ринку України за 2022-2023 рр., млн грн [6]

Table 1 – The volume of the advertising and communication market of Ukraine for 2022-2023, UAH million [6]

	Підсумки 2022, млн грн.	Відсоток зміни 2022 до 2021, %	Прогноз 2023, млн грн.	Відсоток зміни 2023 до 2022, %	Прогноз 2024, млн грн.	Відсоток зміни 2024 до 2023, %
Реклама, всього	2 604	-81%	3 870	49%	6 100	58%
Пряма реклама	2 370	-80%	3 500	48%	5 600	60%
Спонсорство	234	-87%	370	58%	500	35%
Digital ТБ	n/a	n/a	450	n/a	750	67%
Реклама в пресі, всього	342	-79%	357	4%	375	5%
Національна преса	221	-77%	235	6%	247	5%
<i>в т.ч. спонсорство</i>	<i>56</i>	<i>-77%</i>	<i>56</i>	<i>0%</i>	<i>59</i>	<i>5%</i>
Регіональна преса	51	-81%	51	0%	54	5%
Спеціалізована преса	70	-81%	71	1%	75	5%
ООН Media, всього	1 756	-57%	3 244	85%	4 605	42%
Зовнішня реклама	1 363	-56%	2 081	53%	3 009	45%
Транзитна реклама	90	-77%	617	n/a	740	20%
DOOH	273	-47%	504	85%	805	60%
Indoor реклама	30	-67%	42	39%	51	24%
Радіо реклама, всього	333	-61%	865	160%	1035	20%
Національне	240	-60%	550	129%	680	24%
Регіональне	33	-59%	75	127%	85	13%
Спонсорство	60	-65%	240	300%	270	13%
Digital (Internet) Media реклама	7 190	-42%	12 810	78%	14 732	15%
Всього рекламний медіа ринок	12 225	-63%	21 596	77%	27 597	28%

Нарешті, на основі отриманих даних та висновків можна розробити план подальших дій та внести необхідні зміни до рекламної стратегії.

Рекламна кампанія є необхідним елементом успішної бізнес-стратегії для багатьох компаній. Узагальнемо декілька причин, чому проведення рекламної кампанії може бути важливим:

- Залучення уваги потенційних клієнтів: Рекламна кампанія дозволяє привернути увагу людей до продукту або послуги, яку пропонує компанія. Це особливо важливо в тих галузях, де конкуренція велика.

- Підвищення свідомості про бренд: Реклама допомагає підвищити рівень узнаваності бренду серед споживачів. Чим більше людей знають про бренд, тим більше шансів, що вони звернуться до цього бренду під час придбання продукту або послуги.

- Збільшення продажів: Реклама може привести до збільшення продажів, оскільки вона стимулює попит на продукт або послугу. Це може бути особливо важливим для бізнесів, що знаходяться на початковій стадії, коли не встигли отримати велику базу клієнтів.

- Встановлення авторитету: Рекламна кампанія може допомогти компанії встановити себе як авторитет у своїй галузі. Це може бути досягнуто шляхом розміщення реклами в престижних виданнях, участі у виставках та конференціях, спонсорства подій тощо.

- Збільшення лояльності клієнтів: Реклама може допомогти компанії збільшити лояльність своїх клієнтів. Якщо людина вважає, що продукт або послуга, яку вона придбала, є відмінною, вона може рекомендувати його своїм друзям та знайомим або навіть стати постійним клієнтом компанії. Це може позитивно вплинути на дохід компанії в майбутньому.

- Аналіз ефективності: Проведення рекламної кампанії дозволяє компанії аналізувати її ефективність та вносити необхідні зміни. Рекламні кампанії можуть бути налаштовані таким чином, щоб збирати дані про те, які рекламні засоби найбільше привертають увагу клієнтів, які засоби приводять до більшої кількості продажів тощо [5].

Отже, проведення рекламної кампанії може допомогти компанії підвищити узнаваність свого бренду, залучити увагу клієнтів, збільшити продажі, встановити авторитет, збільшити лояльність клієнтів та аналізувати ефективність кампанії. Враховуючи ці фактори, проведення рекламної кампанії може бути необхідним для успішної бізнес-стратегії компанії.

Детально розглянемо кожен з етапів розробки рекламної кампанії (табл. 2):

1. Аналіз аудиторії: цей етап передбачає детальне вивчення цільової аудиторії - хто вони є, які їх потреби та які мотивації впливають на їхні рішення покупок. Аналіз має включати дослідження демографічних характеристик та інших факторів, що впливають на сприйняття реклами та купівлю товарів.

2. Визначення мети та завдань кампанії: на цьому етапі формулюється мета та конкретні завдання рекламної кампанії. Мета повинна відображати головну ідею кампанії, тоді як завдання - це конкретні результати, які потрібно досягти. Завдання можуть бути різними: збільшення обізнаності про бренд, збільшення продажів, просування нового продукту тощо.

3. Вибір каналів реклами: на цьому етапі вирішується, які канали комунікації будуть використані для просування продукту або бренду. Це можуть бути телебачення, радіо, інтернет-реклама, соціальні мережі, зовнішня реклама, пряма пошта тощо. Вибір каналів повинен відповідати характеристикам аудиторії та меті кампанії.

4. Розробка та реалізація творчої концепції: на цьому етапі створюється творча концепція, яка буде використовуватися в усіх матеріалах рекламної кампанії. Вона повинна бути чіткою та відповідати меті та завданням кампанії. Творча концепція повинна бути унікальною та привабливою, щоб привернути увагу аудиторії та викликати позитивні емоції. Вона може включати такі елементи як слогани, дизайн, фотографії, відео, інфографіку та інші [5].

Після розробки творчої концепції починається реалізація кампанії. На цьому етапі створюються рекламні матеріали, такі як банери, відео, рекламні текстові повідомлення, які будуть використовуватися на різних каналах комунікації.

Крім того, на цьому етапі необхідно встановити метрики успішності кампанії, щоб зрозуміти, наскільки вона виконала свої завдання. Метрики можуть бути різними, в залежності від мети кампанії, і можуть включати такі показники, як кількість переглядів, конверсій, клікабельності, відвідуваності сайту тощо.

Отже, розробка рекламної кампанії - це складний та багатоетапний процес, який потребує ретельної підготовки та аналізу. Кожен етап є важливим та необхідним для успішної реалізації кампанії, адже тільки відповідальний підхід до кожного з них дозволить досягти мети та отримати бажаний результат.

Таблиця 2 – Основні етапи розробки рекламної кампанії

Table 2 – The main stages of developing an advertising campaign

Етап розробки	Опис
Аналіз аудиторії	Дослідження та аналіз характеристик та потреб цільової аудиторії, таких як вік, стать, соціальний статус, освіта, інтереси тощо.
Визначення мети та завдань кампанії	Формулювання конкретної мети та завдань, які повинні бути досягнені за допомогою рекламної кампанії, наприклад, збільшення продажів, підвищення уваги до бренду, залучення нових клієнтів тощо.
Вибір каналів реклами	Визначення оптимального способу досягнення цільової аудиторії, включаючи вибір різних каналів реклами, таких як телебачення, радіо, інтернет, преса, зовнішня реклама тощо.
Розробка та реалізація творчої концепції	Розробка креативної та ефективної концепції, яка максимально відповідає меті та завданням кампанії, інтегрування її в різні канали реклами та реалізація кампанії.

Вибір ефективних каналів реклами є одним з найважливіших етапів розробки рекламної кампанії. Залежно від цільової аудиторії та мети кампанії, можна використовувати різні канали комунікації, такі як телебачення, радіо, преса, зовнішня реклама, інтернет, соціальні мережі тощо.

Одним із найбільш ефективних та популярних каналів реклами сьогодні є інтернет-маркетинг. Це пов'язано зі зростанням кількості користувачів Інтернету та зменшенням вартості реклами в мережі порівняно з традиційними каналами комунікації [7, 12].

Інтернет-маркетинг включає в себе такі канали комунікації, як контекстна реклама, банерна реклама, соціальні мережі, email-маркетинг, SEO-інструменти тощо. Кожен з цих каналів має свої переваги та недоліки, тому важливо добре розуміти їх та використовувати з урахуванням особливостей конкретної кампанії.

Наприклад, контекстна реклама може бути ефективною для досягнення конкретних цілей, таких як збільшення продажів чи залучення нових клієнтів. Соціальні мережі можуть бути корисними для побудови бренду та взаємодії з аудиторією, а SEO-інструменти можуть допомогти збільшити видимість сайту в пошукових системах.

Вибір ефективних каналів реклами та правильне використання інтернет-маркетингу можуть значно підвищити ефективність рекламної кампанії і забезпечити більшу кількість контактів з потенційними клієнтами. Однак, варто пам'ятати, що успішність кампанії залежить не тільки від вибору каналів реклами, але і від їх правильної комбінації, а також від творчого підходу до розробки рекламної стратегії.

Наприклад, якщо компанія має більш традиційну аудиторію, то можуть бути ефективними канали реклами, такі як телебачення, преса, зовнішня реклама, але варто розглянути можливості та переваги їх комбінації з інтернет-маркетингом. Якщо ж цільова аудиторія - молоді люди, то соціальні мережі можуть бути одним з найефективніших каналів реклами. Важливо також враховувати тенденції розвитку реклами та використовувати нові можливості, які надає розвиток технологій. Наприклад, на сьогоднішній день велика увага приділяється відеореklamі, яка може бути ефективнішою за текстову рекламу [10, 11]. Залучення зовнішнього споживача за рахунок використання новітніх маркетингових

технологій дозволить підвищити якість їх обслуговування, що дасть можливість підприємствам в динамічному середовищі досягнути не тільки своїх маркетингових цілей, але й цілей розвитку підприємства загалом [4].

Отже, вибір ефективних каналів реклами та використання інтернет-маркетингу є важливим етапом формування рекламної кампанії. Правильний вибір та комбінація каналів, а також творчий підхід до розробки рекламної стратегії можуть значно збільшити ефективність кампанії та забезпечити більшу кількість контактів з потенційними клієнтами.

Висновки. У сучасних умовах реклама стала невід'ємною складовою успішної діяльності будь-якого підприємства. Розробка ефективної рекламної кампанії дозволяє досягти поставлених цілей, залучити нових клієнтів, збільшити продажі та збільшити обізнаність про бренд.

Етапи розробки рекламної кампанії включають аналіз аудиторії, визначення мети та завдань кампанії, вибір ефективних каналів реклами, розробку творчої концепції та її реалізацію. Кожен з цих етапів має свої особливості та вимагає відповідної уваги та підходу.

Важливо також враховувати тенденції розвитку реклами та використовувати нові можливості, які надає розвиток технологій. Наприклад, інтернет-маркетинг та відеореклама можуть бути ефективними каналами реклами в сучасному світі.

Розробка рекламної кампанії є важливою задачею для будь-якого підприємства. Від її успішності залежить відомість бренду, кількість клієнтів та продажів. Отже, правильний вибір каналів реклами та творчий підхід до розробки стратегії можуть значно збільшити ефективність кампанії та забезпечити більшу кількість контактів з потенційними клієнтами.

Перелік посилань

1. Близнюк В. М. Метрики в цифровому маркетингу підприємств торгівлі. *Електронний журнал «Маркетинг і цифрові технології»*. 2021. Том 5 № 2. С. 36–47.
2. Божкова В. В. Реклама та стимулювання збуту : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2017. 200 с.
3. Виноградова О. В. Сучасні види маркетингу: навч. посібн. Київ: ДУТ, 2019. 265 с.
4. Компанець К. А., Литвишко Л. О., Гурч Л. М. Інформаційна система стратегічного маркетингу підприємства сфери послуг. *Інфраструктура ринку*. 2019. № 28/2019. С. 113–119. URL: <http://surl.li/pzazt>
5. Нижник Л. С. Ефективність рекламної кампанії як складової оцінювання комплексної маркетингової діяльності підприємства. *Вісник Нац. ун-ту «Львів. політехніка»*. 2017. Вип. 875. С. 77–82
6. Об'єм рекламно-комунікаційного ринку України 2023 і прогноз об'ємів ринку 2024. Електронний ресурс. URL: <http://surl.li/pzbkz>
7. Райко Д. В., Цейтлін Л. М., Зацаринний В. М. Концептуальний підхід до підготовки та проведення рекламної кампанії. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2017. № 4. С. 75–88.
8. Скриньковський Р. М. Діагностика ефективності реклами в діяльності підприємства. *Бізнес Інформ*. 2016. № 6. С. 240–244
9. Фірсова С. Г. Маркетинг нововведень: практикум : Навчальний посібник. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. 2017. 150 с.
10. Хамініч С. Ю. Інтернет-реклама як основний чинник просування товару в сучасних умовах. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2015. № 7. С. 504–507.
11. Lozhachevska, O., Taranenko, A., Raikovska, I., Pleskach, O., Kupchyshyna O., Shatskaya, Z., & Puzyryova, P. (2023). Financial strategy of management for marketing and communication design in smart economy conditions. *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*, 45(4), p. 314–333.
12. Ложачевська О., Дяченко Т., Артемчук В. Формування комунікаційних каналів дистрибуції автотранспортних послуг на міжнародному ринку. *Наукові інновації та передові технології*. No 2(4), 2022. С. 199–207.

DEVELOPMENT OF THE ENTERPRISE ADVERTISING CAMPAIGN IN A TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT

Olena Lozhachevska, Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: o.lozhachevska@ntu.edu.ua, tel.+380442808438, <https://orcid.org/0000-0001-8462-925X>

Liliia Lytvyshko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: l.lytvyshko@ntu.edu.ua, tel.+380442808438, <https://orcid.org/0000-0001-9315-046X>

Yuliia Malakhova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: yu.malakhova@ntu.edu.ua, tel.+380442808438, <https://orcid.org/0000-0002-8769-7597>

Summary. In the conditions of modern competition, for effective functioning, any company must provide effective and correct information about itself, the products it produces, or the services it provides to potential consumers. Therefore, in the conditions of a market economy, enterprises try to actively use advertising opportunities and develop existing advertising strategies.

The advertising industry in Ukraine has only recently begun to develop, but advertisers already have enough experience to improve their enterprise efficiency. Professionals who understand the importance of advertising are constantly on the lookout for new and impressive advertising initiatives. They know how to invest funds to hold a successful promotional event and get the world talking about them.

At the same time, some company managers still have to spend money on advertising and it can be unreasonably expensive, but companies must familiarize potential consumers with their products or services. Successful advertising campaigns can help companies increase their visibility in the market and differentiate themselves in a competitive environment.

The paper considers the process of developing an effective advertising campaign for the enterprise. The article substantiates the necessity of conducting an advertising campaign and highlights the main stages of its development: audience analysis, determination of the campaign's goals and objectives, selection of advertising channels, development and implementation of a creative concept.

Each of the stages of the development of an advertising campaign is considered in detail and recommendations for their implementation are provided. Special attention is paid to the selection of effective advertising channels and the use of Internet marketing.

Keywords: advertising campaign, marketing, company, target audience, advertising channels, budget, effectiveness, analysis, strategy, advertising initiatives, technological environment.

References

1. Bliznyuk V. M. Metrics in digital marketing of trade enterprises. Electronic magazine "Marketing and digital technologies". 2021. Volume 5 No. 2. P. 36–47.
2. Bozhkova V. V. Advertising and sales promotion: training. manual Kyiv: Center for Educational Literature, 2017. 200 p.
3. Vynogradova O. V. Modern types of marketing: education. manual Kyiv: DUT, 2019. 265 p.
4. Kompanets K. A., Lytvyshko L. O., Gurch L. M. Information system of strategic marketing of a service sector enterprise. Market infrastructure. 2019. No. 28/2019. P. 113–119. URL: <http://surl.li/pzazt>
5. Nyzhnyk L. S. Effectiveness of an advertising campaign as a component of evaluating the complex marketing activity of an enterprise. Bulletin of the National Lviv University. polytechnic". 2017. Issue 875. P. 77-82
6. The volume of the advertising and communication market of Ukraine in 2023 and the forecast of market volumes in 2024. Electronic resource. URL: <http://surl.li/pzbkz>

7. Raiko D. V., Tzeitlin L. M., Zatsarynny V. M. Conceptual approach to preparation and implementation of an advertising campaign. *Marketing and innovation management*. 2017. No. 4. P. 75–88.
8. Skrynkovskyi R. M. Diagnostics of advertising effectiveness in enterprise activity. *Business Inform.* 2016. No. 6. P. 240-244
9. Firsova S. G. Marketing of innovations: workshop: Training manual. Kyiv National University named after Taras Shevchenko. 2017. 150 с.
10. Haminich S. Yu. Internet advertising as the main factor of product promotion in modern conditions. *Global and national economic problems*. 2015. No. 7. P. 504–507.
11. Lozhachevska, O., Taranenko, A., Raikovska, I., Pleskach, O., Kupchyshyna O., Shatskaya, Z., & Puzyryova, P. (2023). Financial strategy of management for marketing and communication design in smart economy conditions. *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*, 45(4), p. 314–333.
12. Lozhachevska O., Dyachenko T., Artemchuk V. Formation of communication channels for the distribution of motor transport services on the international market. *Scientific innovations and advanced technologies*. No 2(4), 2022. C. 199-207.

УДК 336.226
UDC 336.226

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-257-266

СВІТОВИЙ ДОСВІД ОПОДАТКУВАННЯ КРИПТОВАЛЮТ

GLOBAL EXPERIENCE IN CRYPTOCURRENCY TAXATION



Горобінська Ірина Владиславівна, кандидат економічних наук, доцент кафедри фінансів, обліку і аудиту, Національний транспортний університет, e-mail: irynavladuslavivna@gmail.com, +380677822674, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 424.

<https://orcid.org/0000-0001-9670-7198>



Теслюк Наталія Петрівна, кандидат економічних наук, доцент кафедри фінансів, обліку і аудиту, Національний транспортний університет, e-mail: natalitesluk@gmail.com, +380679205826, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 424.

<https://orcid.org/0000-0002-0338-9088>



Шатський Євгеній Олександрович, студент факультету менеджменту логістики і туризму, Національний транспортний університет, e-mail: shatskij.80@gmail.com, +380684929578, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1.

<https://orcid.org/0009-0005-9614-1274>

Анотація. Стаття присвячена аналізу світового досвіду щодо оподаткування криптовалют та розробці ефективних механізмів податкового адміністрування. Об'єкт дослідження – механізм оподаткування країн світу, що легалізували криптовалюту. Мета роботи – вивчення та аналіз світового досвіду оподаткування криптовалют та можливості запровадження дієвих механізмів податкового адміністрування в Україні. Метод дослідження – теоретичне та аналітичне обґрунтування процесів функціонування ринку криптовалют в певних країнах та механізми їх оподаткування.

Необхідність розробки ефективних і дієвих механізмів податкового адміністрування та забезпечення стабільності податкового законодавства є об'єктивною передумовою забезпечення прозорості та справедливості оподаткування криптовалют. У науковій статті розглянуто особливості світового досвіду оподаткування криптовалют, що відіграють суттєву роль у процесах міжнародного руху капіталів, формуючи відповідні фінансові потоки, та сприяють капіталізації ресурсів. Питання оподаткування криптовалют є актуальними на шляху інтеграції країни у світову спільноту, недостатньо розглянутими в сучасних умовах та такими, що потребують поглибленого дослідження та удосконалення. В ході дослідження узагальнено досвід оподаткування криптовалют у певних країнах та виокремлено можливості, що відкриваються завдяки запровадженню різних інструментів оподаткування криптовалюти. Питання розробки дієвих механізмів податкового адміністрування з метою забезпечення ефективності оподаткування криптовалют та зростання бюджетних доходів на сьогодні залишається невирішеним і актуальним.

Висновки – розробка ефективних механізмів податкового адміністрування є важливим завданням для забезпечення прозорості та справедливості оподаткування криптовалюти. Це може включати в себе розробку чітких правил оподаткування, створення систем моніторингу та звітності для відстеження операцій з криптовалютою, а також співпрацю з міжнародними партнерами для вирішення перехідних аспектів та гармонізації податкових політик.

Ключові слова: криптовалюта, оподаткування, фінансовий ринок, ринок криптовалюти, податок на прибуток, податок на приріст капіталу, механізми податкового адміністрування.

Постановка проблеми. У сучасному світі функціонування криптовалют є звичайним явищем. Ринок криптовалют є однією зі сфер на глобальному фінансовому ринку. Останнім часом криптовалюта суттєво впливає та структурно змінює світовий ринок. Ці дії розповсюджується не тільки на сам ринок криптовалют, його капіталізацію та торговельні процеси, а й на взаємозв'язок між різними інституційними органами у світі. Зростаюча кількість інвесторів, що включають криптовалюту до своїх портфелів є потенційними платниками податків. Перед державними регуляторами існує непроста задача щодо впровадження оподаткування на крипторинку, враховуючи певні недоліки, які існують на цьому ринку. Однак реалізація цього завдання виявляється складною через децентралізований та анонімний характер криптовалют. Більшість моніторингових органів у багатьох країнах утримуються від рішучих дій у цьому напрямку, оскільки ефективне впровадження регуляторних та контролюючих заходів вимагає значних зусиль й може призвести до відтоку суб'єктів крипторинку з країни.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Питання оподаткування прибутку від торгівлі криптовалютою є актуальним й знаходиться на стадії обговорення в Україні. Загальні аспекти обігу криптовалют досліджували у своїх наукових працях такі фахівці-економісти: О. Галицький, Є. Галушка, О. Григоревська, А. Колдовський, О. Мороз, Е. Молчанова, А. Полчанова, М. Ребрик, Ю. Солодковський, К. Чернега. В юридичній науці правовий режим криптовалют вивчали: С. Верланов, А. Гаркуша, І. Доронін, Л. Нікітіна, А. Проценко та інші вчені [5]. Незважаючи на велику кількість досліджень, це питання не достатньо висвітлено і потребує поглибленого аналізу з урахуванням світового досвіду країн, що забезпечили можливість реєстрації криптовалютних компаній, надали їм правовий статус та запровадили певні важелі щодо їх оподаткування.

Метою роботи є вивчення та аналіз світового досвіду оподаткування криптовалют та можливості запровадження ефективних механізмів податкового адміністрування в Україні.

Постановка завдання. Згідно з глобальним рейтингом впровадження криптовалют від аналітичної компанії Chainalysis (таблиця 1), Україна знаходиться в п'ятірці лідерів. Замикає топ-10 Таїланд. Рейтинг складається з 5 основних показників, а саме: рейтинг отриманих значень централізованих сервісів, рейтинг отриманих значень роздрібних централізованих сервісів, рейтинг обсягу торгівлі на P2P біржах, рейтинг отриманих значень DeFi, рейтинг отриманих значень DeFi для роздрібного сегменту.[5]

Рейтинг отриманих значень централізованих сервісів – це показник, який визначає, яка частка від загальної вартості послуг отримана від централізованих сервісів. Це може включати централізовані біржі, платіжні системи, криптовалютні банки тощо.[5]

Рейтинг отриманих значень роздрібних централізованих сервісів – це подібний до попереднього показник, але він фокусується на централізованих сервісах, призначених для роздрібного споживача. Може включати мобільні додатки, онлайн-платформи для купівлі та продажу криптовалют тощо.[5]

Рейтинг обсягу торгівлі на P2P біржах – це оцінка обсягів торгівлі, що відбуваються на платформах peer-to-peer (P2P), де користувачі можуть торгувати напряму один з одним без посередництва централізованої біржі. Високі значення цього показника можуть свідчити про популярність такого типу торгівлі серед користувачів.[5]

Рейтинг отриманих значень DeFi – визначає, яка частина від загальної вартості послуг отримана від децентралізованих фінансів (DeFi). Це включає в себе різноманітні децентралізовані платформи для кредитування, обміну, страхування тощо.[5]

Рейтинг отриманих значень DeFi для роздрібного сегменту – аналогічно до попереднього показника, але зосереджено на DeFi-сервісах, спрямованих на роздрібних користувачів. Це можуть бути, наприклад, децентралізовані додатки для мікрокредитів, фінансових консультацій тощо.[5]

Розглянувши абсолютний показник – кількість власників криптовалют, що наведена у таблиці 2, варто зазначити, що Україна займає 9 місце з кількістю власників криптовалют 5,6 млн. осіб. Це значний показник, що повинен стимулювати податкові органи до впровадження законодавства стосовно оподаткування та регуляції правових відносин в середині країни.

У більшості країн оподаткування прибутку від торгівлі криптовалютою залежить від терміну володіння активами та обсягів угод. Деякі країни ліберальні в питаннях оподаткування криптовалют, інші ж консервативні. Так чи інакше, довгостроковим інвесторам необхідно орієнтуватися в питаннях оподаткування криптовалюти – важливо розуміти, як і скільки податків потрібно сплатити. Проаналізуємо досвід країн, що запровадили оподаткування у себе в економіці з точки зору важелів та інструментів оподаткування.

Оподаткування криптовалют в США. Оподаткування криптовалюти в США залежить від різних чинників, включно з характером операцій з криптовалютою і терміном її володіння. У США під час продажу або обміну криптовалюти інвестор зобов'язаний сплатити податок на приріст капіталу. Податкова ставка залежить від терміну володіння криптовалютою:

- якщо криптовалютою володіли менше ніж рік, застосовується ставка короткострокового капітального податку, яка відповідає ставці звичайного податку на дохід (у межах 37%);
- якщо криптовалютою володіли понад рік, застосовується податкова ставка на довгострокові капітальні прибутки (у межах 20%).

Крім того, криптоентузіасти зобов'язані сплачувати податки на прибуток у разі: отримання криптовалюти як оплати за товари або послуги, отримання криптовалюти за майнінг і стейкінг.

Таблиця 1 – Глобальний рейтинг впровадження криптовалют
Table 1 – Global ranking of cryptocurrency adoption

Країна	Загальний індекс рейтингу	Рейтинг отриманих значень централізованих сервісів	Рейтинг отриманих значень роздрібних централізованих сервісів (Retail)	Рейтинг обсягу торгівлі на P2P біржах	Рейтинг отриманих значень DeFi	Рейтинг отриманих значень DeFi для роздрібного сегменту
Індія	1	1	1	5	1	1
Нігерія	2	3	2	1	4	4
В'єтнам	3	4	4	2	3	3
США	4	2	8	12	2	2
Україна	5	5	3	11	10	10
Філіппіни	6	6	6	19	7	7
Індонезія	7	13	13	14	5	5
Пакистан	8	7	7	9	20	20
Бразилія	9	9	9	15	11	11
Таїланд	10	8	15	44	6	6

Джерело: складено авторами на основі [5]

Таблиця 2 – Кількість власників криптовалют у країнах світу (Топ-10)
Table 2 – Number of cryptocurrency owners in countries around the world (Top-10)

№	Країна	Кількість власників, млн. осіб
1	Індія	100,7
2	США	27,5
3	росія	17,4
4	Нігерія	13
5	Бразилія	10,4
6	Пакистан	9,1
7	Індонезія	7,3
8	В'єтнам	6
9	Україна	5,6
10	Кенія	4,6

Джерело: складено авторами на основі [4]

Оподаткування криптовалют в Австралії. Криптовалюти легалізовано, і вони розцінюються як особиста власність, тому криптовалюта обкладається податком на приріст капіталу. Австралійське податкове управління розділяє трейдерів і довгострокових інвесторів (ті, хто зберігає криптовалюту понад рік). Як і у випадку з США, майнерам треба платити податки, оскільки їхня діяльність

вважається підприємницькою.[1] В Австралії є поріг неоподаткованого доходу — \$18 200 на рік, а в разі, якщо сума доходу більша, потрібно буде сплатити податок на дохід:

- 19% для сум від \$18 200 до \$45 000;
- 32,5% для сум від \$45 000 до \$120 000;
- 37% для сум від \$120 000 до \$180 000;
- 45 % для сум понад \$180 000.

Не обкладаються податком на приріст капіталу:

- дохід від продажу особисто створених NFT;
- нагороди від airdrop-кампаній і реферальні винагороди;
- дохід від стейкінгу.

Крім того, якщо людина зберігає криптовалюту понад рік, вона отримає право на 50% знижку для податку на приріст капіталу.

Оподаткування криптовалют у Канаді. У Канаді немає ставок податку на приріст капіталу в короткостроковій або довгостроковій перспективі. Приріст капіталу від криптовалют у Канаді оподатковується за тією самою ставкою, що й федеральний прибутковий податок і прибутковий податок провінцій. Якщо просто володіти криптовалютою, потрібно платити податок тільки з 50% від загальної суми приросту капіталу. Криптовалютні біржі зобов'язані повідомляти в Податкове управління Канади (CRA) про транзакції, що перевищують \$10 000. На 2022 рік федеральна базова особиста сума, що не оподатковується, становила \$14 398 (для платників податків із чистим доходом \$155 625 або менше). У 2023 році федеральна базова сума збільшилася до \$15 000 (для платників податків із чистим доходом \$165 430 або менше).[1]

Оподаткування криптовалют у Німеччині. У Німеччині криптовалюти вважають окремим класом активів і на них не поширюються закони оподаткування доходів на капітал (Kapitalertragssteuer/Abgeltungssteuer). Якщо володіти криптовалютою понад 1 рік, то не доведеться платити податок. Якщо продати свою криптовалюту раніше, ніж за рік, то це вважатиметься спекуляцією, і в цьому випадку доведеться сплатити податок (ставка податку визначається індивідуально на основі загального річного доходу платника податків, ця ставка може варіюватися від 0% до 45%, залежно від сукупного доходу). Варто зауважити, що є податкова пільга — Freigrenze 600 євро. Однак, якщо зберігати криптовалюту менше одного року, і її прибутковість перевищила 600 євро, то доведеться платити повний податок на весь дохід, а пільга в 600 євро «згорає», а не вираховується з доходу. Важливо додати, що якщо дохід від майнінгу або стейкінгу перевищить 600 євро, доведеться також платити податок. Не оподатковуються: довгостроковий прибуток від продажу, обміну або витрачання криптовалют, якою володіли понад один рік, річний дохід менше ніж 600 євро і додатковий дохід менше ніж 256 євро. Крім цього, не потрібно платити податок при купівлі криптовалют, її зберіганні та даруванні.[1]

Оподаткування криптовалют в Індії. В Індії запроваджено 30%-й податок на доходи від криптовалют і NFT. Згідно із законодавством Індії, податок на прибуток стягується у джерела доходу. Це означає, що під час здійснення оподаткованої криптовалютної транзакції користувач буде зобов'язаний відняти від суми платежу податок (TDS), виходячи зі встановленої ставки, і самостійно перевести ці збори на користь держави. Заявлено, що громадяни мають платити 30% податок з продажу криптовалют і 1% на продаж активів сумою понад 50 000 рупій (у деяких випадках 10 000 рупій)

упродовж одного фінансового року. Також варто зазначити, що 1% за користувача може платити біржа, або навпаки додавати 1% до комісій.[1]

Оподаткування криптовалют в Таїланді. Таїланд славився своїм ліберальним ставленням до криптовалют. Однак, починаючи з 1 січня 2024 року всі особи, які проживають у Таїланді понад 180 днів, зобов'язані сплачувати 15% податок на біткоїни, отримані з джерел поза країною. Так уряд Таїланду планує закрити лазівку, яку використовували багато нерезидентів і місцевих трейдерів.

Раніше декларування для фізичних осіб було потрібно у разі, якщо кошти були зароблені за кордоном і переведені у Таїланд у рік їх отримання. Тобто, виїхавши з країни впродовж фінансового року, доходи від іноземних інвестицій можна було не декларувати. Також раніше держава звільняла від податків трейдерів, які інвестували в тайські криптостартапи.[1]

Оподаткування криптовалют в Великій Британії. У Великій Британії криптовалюта прирівнюється до акцій і обкладається як податком на приріст капіталу, так і прибутковим податком залежно від транзакції. Якщо характер транзакцій свідчить про регулярне отримання оплат за будь-що, резидент платитиме прибутковий податок. У разі, якщо капітал інвестора зростає, доведеться платити податок на приріст капіталу. Розглянемо обидва варіанти:

- Податок на приріст капіталу. Податкова служба розглядає криптовалюту як капітальний актив. Щоразу, коли продають, обмінюють, витрачають або дарують криптовалюту, потрібно платити податок на приріст капіталу. На 2023–2024 рік неоподатковувана сума скорочена до 6000 фунтів стерлінгів. Якщо приріст капіталу перевищує цю суму, потрібно платити податок у розмірі 10% або 20% залежно від того, під яку ставку підпадає людина (10% - дохід до 50 270 фунтів стерлінгів; 20% - дохід від 50 270 до 150 000 фунтів стерлінгів).

- Прибутковий податок. У Великій Британії криптовалюту оподатковують податком на дохід, якщо її отримано за допомогою стейкінгу, майнінгу, airdrop'у або як зарплату. Ставки прибуткового податку залежать від річного доходу: 0% - до 6000 фунтів стерлінгів; 20% - від 6000 до 50 270 фунтів стерлінгів; 40% - від 50 270 до 125 140 фунтів стерлінгів; 45% - понад 125 140 фунтів стерлінгів.

Не оподатковується купівля криптовалюти за фунти стерлінгів, холдинг (зберігання), передача криптовалюти між своїми гаманцями, пожертвування на благодійність, подарунок криптовалюти чоловікові або дружині.[1]

Оподаткування криптовалют в Україні. На сьогодні в Україні ще не ухвалено закон щодо оподаткування криптовалют, і питання, як легалізувати дохід із криптовалюти в Україні, залишається відкритим. 8 вересня 2021 року Верховна Рада ухвалила закон про обіг криптовалюти в Україні, проте президент ветоував його і зажадав доопрацювати на основі своїх правок. 17 лютого 2022 ухвалили оновлений закон про криптовалюту в Україні. Відповідно до закону, регулювання має здійснювати Нацбанк України (НБУ) і Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку (НКЦПФР). НБУ контролюватиме обіг віртуальних активів, а НКЦПФР віртуальні активи забезпеченими цінними паперами або деривативами. Крім того, Нацкомісія даватиме дозвіл і контролюватиме роботу постачальників послуг, пов'язаних із криптовалютою.

Нацбанк України та Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку (НКЦПФР) готують оновлену версію законодавства про регулювання криптовалютного ринку в Україні. Це впливає з меморандуму, укладеного між українським урядом і Міжнародним валютним фондом (МВФ), який наголошує на необхідності вдосконалення законодавства відповідно до міжнародних стандартів. Передбачається, що новий закон про криптовалюту буде представлено до кінця червня 2024

року. Набрання чинності раніше затвердженого закону «Про віртуальні активи» відкладено до внесення змін до Податкового кодексу.

Проект закону про обіг криптовалюти в Україні пропонує запровадити податкову систему, що ґрунтується на моделях західних країн. Згідно із запропонованою концепцією, оподаткуванню підлягає різниця між ціною купівлі та продажу криптовалюти. Тобто, якщо актив куплено за 10 000 грн, а продано за 11 000 грн, то податок із продажу біткоїнів оподатковується на різницю в 1000 грн. Доходи від криптовалют мають оподатковуватися, так само як і доходи від акцій та інших цінних паперів, тобто криптовалюти в Україні вважаються фінансовими інструментами, і податки з доходів від їхнього продажу або обміну стягуються, так само як з прибутку від інвестицій у звичайні акції.[3]

Згідно з пропозиціями авторів законопроекту, оподаткування має здійснюватися раз на рік. Пропонується стягувати 18% з інвестиційного прибутку та 1,5% військового збору. Учасники ринку також повинні будуть платити внески за регулювання. Однак у криптоспільноті існує невдоволення щодо величини податкової ставки. Є пропозиції знизити їх, наприклад, до 5% для доходів фізичних осіб і до 18% для компаній, з можливістю використання переваг податкового режиму «Дія.City». Крім того, за законопроектом, криптоінвесторам необхідно самостійно підраховувати свої доходи або збитки та відображати цю інформацію в податковій декларації. Але питання про те, як податкові органи відстежуватимуть операції з криптовалютами, є невирішеним.

Отже, Україна розробляла крипторегулювання з метою інтеграції країни в глобальну фінансову систему та адаптації до міжнародних стандартів, зокрема, регламенту ЄС з регулювання віртуальних активів MiCA (Markets in Crypto-assets). Враховуючи вибраний стратегічний напрямок це необхідно для полегшення інтеграції України в європейські та світові економічні системи. Крім того, введення чітких правил і механізмів контролю за криптовалютними операціями допомагає в боротьбі з відмиванням грошей (AML) і фінансуванням тероризму.

А поки Україна чекає змін у законодавчій базі, оподаткування криптовалюти регулюється загальними правилами. Фізичні особи мають сплатити податок на доходи фізичних осіб у розмірі 18% і 1,5% військового збору. Комісії за торгові операції не враховуються.[1,3]

Узагальнені принципи і ставки оподаткування у різних країнах наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Узагальнені принципи і ставки оподаткування у країнах світу

Table 3 – Generalized principles and rates of taxation in the countries of the world

Країна	Принципи і ставки оподаткування
США	При володінні криптовалютою менше року застосовується ставка короткострокового капітального податку, яка відповідає ставці звичайного податку на дохід (у межах 37%). При володінні криптовалютою понад рік, застосовується податкова ставка на довгострокові капітальні прибутки (у межах 20%). Також оподаткуванню підлягає отримання криптовалюти як оплати за товари або послуги та отримання криптовалюти за майнінг і стейкінг.

**ПІДПРИЄМНИЦТВО, ТОРГІВЛЯ ТА БІРЖОВА ДІЯЛЬНІСТЬ /
PIDPRYUMNSTVO, TRADE AND BIRZHOVA ACTIVITY**

Австралія	Поріг неоподаткованого доходу — \$18 200 на рік, а в разі, якщо сума доходу більша, потрібно буде сплатити податок на дохід: 19% для сум від \$18,2тис до \$45тис; 32,5% для сум від \$45тис до \$120тис; 37% для сум від \$120тис до \$180тис; 45 % для сум понад \$180тис. Не обкладаються податком на приріст капіталу: Дохід від продажу особисто створених NFT; Нагороди від airdrop-кампаній і реферальні винагороди; Дохід від стейкінгу. При володінні криптовалютою понад рік, діє 50% знижка для податку на приріст капіталу.
Канада	Податок для власників криптовалюти - 50% від загальної суми приросту капіталу. Криптовалютні біржі повідомляють Податкове управління Канади про транзакції більше \$10 тис. У 2023 році сума, що не оподатковується, складає 15 тис. (для платників податків із чистим доходом \$165 430 або менше).
Німеччина	При володінні криптовалютою > 1 року - податок не сплачується. Якщо продати криптовалюту раніше, доведеться сплатити податок (ставка податку визначається на основі загального річного доходу платника податків від 0% до 45%). Є податкова пільга — Freigrenze 600 євро. Однак, при володінні крипто валютою < 1 року, і її прибутковість перевищила 600 євро, то доведеться платити повний податок на весь дохід. Якщо дохід від майнінгу або стейкінгу перевищить 600 євро, доведеться також платити податок. Неоподатковуються довгостроковий прибуток від продажу, обміну або витрачання криптовалюти, якою володіли >1 року, річний дохід менше ніж 600 євро і додатковий дохід менше ніж 256 євро. Не сплачується податок при купівлі криптовалюти, її зберіганні та даруванні.
Індія	Діє 30%-й податок на доходи від криптовалют і NFT. Податок на прибуток стягується у джерела доходу - під час здійснення оподаткованої криптовалютною транзакції користувач зобов'язаний відняти від суми платежу податок виходячи зі встановленої ставки, і самостійно перевести ці збори на користь держави. Сплачується податок 30% з продажу криптовалюти і 1% на продаж активів сумою понад 50 тис. рупій (у деяких випадках 10 тис. рупій) упродовж одного фінансового року. 1% за користувача може платити біржа, або навпаки додавати 1% до комісій.
Таїланд	з 1 січня 2024 року всі особи, які проживають у Таїланді понад 180 днів, зобов'язані сплачувати 15% податок на біткоїни, отримані з джерел поза країною.
Велика Британія	Два варіанти податків: 1) Податок на приріст капіталу. Податкова служба розглядає криптовалюту як капітальний актив. Щоразу, коли продають, обмінюють, витрачають або дарують криптовалюту, сплачується податок на приріст капіталу. Неоподатковувана сума 6000 фунтів стерлінгів. Якщо приріст капіталу перевищує цю суму, сплачується податок у розмірі 10% або 20% залежно від доходів людини. 2) Прибутковий податок. Якщо криптовалюту отримано за допомогою стейкінгу, майнінгу, airdrop'у або як зарплату, застосовують податок на прибуток. Ставки прибуткового податку залежать від річного доходу: від 0 до 45%. Не оподатковується купівля криптовалюти за фунти стерлінгів, холдинг (зберігання), передача криптовалюти між своїми гаманцями, пожертвування на благодійність, подарунок криптовалюти чоловікові або дружині.
Україна	Спеціального Закону, який би регулював оподаткування криптовалют, поки що немає. Оподаткування криптовалюти регулюється загальними правилами. Фізичні особи мають сплатити податок на доходи фізичних осіб у розмірі 18% і 1,5% військового збору. Комісії за торгові операції не враховуються.

Джерело: складено авторами на основі [1]

Висновки та пропозиції. Виходячи з проведеного дослідження та аналізу, робимо висновок, що оподаткування та легалізація криптовалюти є складними питаннями, які вимагають уважного вивчення та розробки ефективних механізмів податкового адміністрування. Законодавство в цій галузі часто відстає від швидкого розвитку криптовалютних технологій та їх популяризації у світі.

Продаж криптовалюти може мати податкові наслідки, але через невизначеність в податковому статусі криптовалюти та різноманітність міжнародних регуляцій, інвестори та користувачі часто стикаються з відповідною непевністю. Це може створювати складнощі як для самого оподаткування, так і для забезпечення прозорості та справедливості у цьому процесі.

Розробка ефективних механізмів податкового адміністрування є важливим завданням для забезпечення прозорості та справедливості оподаткування криптовалюти. Це може включати в себе розробку чітких правил оподаткування, створення систем моніторингу та звітності для відстеження операцій з криптовалютою, а також співпрацю з міжнародними партнерами для вирішення перехідних аспектів та гармонізації податкових політик.

Перелік посилань

1. Оподаткування криптовалют [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://blog.whitebit.com/uk/crypto-taxes/> (Дата звернення 25.03.2023р.)
2. Криптовалюти та податки: як це влаштовано в світі та чого варто повчитися Україні [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://finance.ua/ua/goodtoknow/kryptovaluty-ta-podatky> (Дата звернення 25.03.2023р.)
3. Податок на криптовалюту: відсоток, хто має сплачувати та особливості [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://fakty.com.ua/ua/ukraine/ekonomika/20231201-podatok-na-kryptovalutyu-vidsotok-hto-maye-splachuvaty-ta-osoblyvosti/> (Дата звернення 25.03.2023р.)
4. Частка власників криптовалюти в Україні найбільша в світі [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.slovoidilo.ua/2021/10/13/infografika/finansy/chastka-vlasnykiv-kryptovaluty-ukrayini-najbilsha-sviti> (Дата звернення 25.03.2023р.)
5. The 2023 Global Crypto Adoption Index: Central & Southern Asia Are Leading the Way in Grassroots Crypto Adoption [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.chainalysis.com/blog/2023-global-crypto-adoption-index/> (Дата звернення 25.03.2023р.)

GLOBAL EXPERIENCE IN CRYPTOCURRENCY TAXATION

Iryna Gorobinska, National Transport University, Ph.D. Economics, Associate Professor of the Department of Finance, Accounting and Audit, Ukraine, 01010, Kyiv, st. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, k. 424, e-mail: irynavladuslavivna@gmail.com, +380677822674, <https://orcid.org/0000-0001-9670-7198>

Nataliia Tesliuk, National Transport University, Ph.D. Economics, Associate Professor of the Department of Finance, Accounting and Audit, Ukraine, 01010, Kyiv, st. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, k. 424, e-mail: natalitesluk@gmail.com, +380679205826, <https://orcid.org/0000-0002-0338-9088>

Yevhenii Shatskyi, National Transport University, Student of the Faculty of Management, Logistics and Tourism, Ukraine, 01010, Kyiv, st. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, e-mail: shatskij.80@gmail.com, +380684929578, <https://orcid.org/0009-0005-9614-1274>

Abstract. The article is devoted to the analysis of global experience in the taxation of cryptocurrencies and the development of effective tax administration mechanisms. The object of the research is the taxation mechanism of the countries of the world that have legalized cryptocurrency. The purpose of the work is to study and analyze the global experience of cryptocurrency taxation and the possibility of introducing effective tax administration mechanisms in Ukraine. The research method is a theoretical and analytical substantiation of the functioning of the cryptocurrency market in certain countries and their taxation mechanisms.

The need to develop efficient and effective tax administration mechanisms and ensure the stability of tax legislation is an objective prerequisite for ensuring the transparency and fairness of taxation of cryptocurrencies. The scientific article examines the peculiarities of the global experience of taxation of cryptocurrencies, which play a significant role in the processes of international movement of capital, forming relevant financial flows, and contributing to the capitalization of resources. The issues of taxation of cryptocurrencies are relevant on the path of the country's integration into the world community, insufficiently considered in modern conditions and requiring in-depth research and improvement. In the course of the study, the experience of cryptocurrency taxation in certain countries was summarized and the opportunities opened up due to the introduction of various cryptocurrency taxation tools were highlighted. The issue of developing effective tax administration mechanisms in order to ensure the effectiveness of cryptocurrency taxation and the growth of budget revenues remains unresolved and relevant today.

Conclusions – the development of effective tax administration mechanisms is an important task to ensure the transparency and fairness of cryptocurrency taxation. This may include the development of clear taxation rules, the creation of monitoring and reporting systems to track cryptocurrency transactions, as well as cooperation with international partners to address transitional aspects and harmonize tax policies.

Keywords: cryptocurrency, taxation, financial market, cryptocurrency market, income tax, capital gains tax, mechanisms of tax administration.

References

1. Opodatkuvannia kryptovaliut [Elektronnyi resurs] - Rezhym dostupu: <https://blog.whitebit.com/uk/crypto-taxes/> (Data zvernennia 25.03.2023r.)
2. Kryptovaliuty ta podatky: yak tse vlashtovano v sviti ta choho varto povchytyisia Ukraini [Elektronnyi resurs] - Rezhym dostupu: <https://finance.ua/ua/goodtoknow/kryptovaluty-ta-podatky> (Data zvernennia 25.03.2023r.)
3. Podatok na kryptovaliutu: vidsotok, khto maie splachuvaty ta osoblyvosti [Elektronnyi resurs] - Rezhym dostupu: <https://fakty.com.ua/ua/ukraine/ekonomika/20231201-podatok-na-kryptovalyutu-vidsotok-hto-maye-splachuvaty-ta-osoblyvosti/> (Data zvernennia 25.03.2023r.)
4. Chastka vlasnykiv kryptovaliuty v Ukraini naibilsha v sviti [Elektronnyi resurs] - Rezhym dostupu: <https://www.slovoidilo.ua/2021/10/13/infografika/finansy/chastka-vlasnykiv-kryptovalyuty-ukrayini-najbilsha-sviti> (Data zvernennia 25.03.2023r.)
5. The 2023 Global Crypto Adoption Index: Central & Southern Asia Are Leading the Way in Grassroots Crypto Adoption [Elektronnyi resurs] - Rezhym dostupu: <https://www.chainalysis.com/blog/2023-global-crypto-adoption-index> / (Data zvernennia 25.03.2023r.)

УДК 624.21

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-267-277

UDC 624.21

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОГОНОВИХ БУДОВ ЗІ СТРУНОБЕТОНУ

STUDY OF THE STRUCTURAL FEATURES OF STRING-CONCRETE SPAN STRUCTURES



Зеленський Богдан Миколайович, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: zelenskyi1501@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9949-3209>

Анотація: Аналіз результатів обстежень та досвід експлуатації транспортних споруд свідчать, що у найгіршому стані знаходяться мости з прогоновими будовами зі струнобетонними балками за типовими проектами «ВТП-16», «ВТП-15». Дротяна попередньо напружена арматура цих балок, яка має малий діаметр 3 мм або 5 мм, з часом втрачає переріз і розривається внаслідок корозії. Це призводить до вичерпання залишкового ресурсу струнобетонних балок на багатьох мостах, що в Україні останніми роками спричинило декілька обрушень таких балок.

Конструктивні особливості струнобетонних балок, зокрема використання дротяної попередньо напруженої арматури малого діаметра, відіграють ключову роль у їхньому тривалому функціонуванні та надійності. Кількість таких споруд на дорогах державного значення України сягає близько 500 одиниць, а строк їх експлуатації складає понад 60 років. Відсутність належного обслуговування може призвести до серйозних економічних та безпекових проблем.

Аналіз технічного стану елементів прогонових будов та виявлення дефектів сприяють підвищенню безпеки руху, подовженню строку служби мостів і зменшенню загальних витрат. Ефективне ремонтування і підсилення мостових споруд забезпечують нормальне функціонування транспортної інфраструктури, що є критично важливим для економічного розвитку та безпеки країни.

Ця стаття досліджує різні аспекти експлуатації мостів із струнобетонними балками прогонових будов. Проводиться аналіз причин виникнення дефектів та надаються пропозиції щодо тимчасового збереження стійкості конструкцій що передують виконанню капітального ремонту чи реконструкції.

Конструктивні особливості мостів зі струнобетонними балками виявляють суттєві недоліки, які з часом призводять до серйозних проблем. Дротяна попередньо напружена арматура малого діаметра схильна до корозії, що зменшує її переріз та призводить до розриву. Це, в свою чергу, може спонукати до повного обвалення прогонової будови мосту.

Ключові слова: міст, прогонова будова, струнобетон, технічний стан, дефекти, рекомендації.

Вступ. Сучасний стан транспортної інфраструктури України є критичним фактором, що впливає на економічний розвиток та безпеку країни. Одним з найважливіших елементів цієї інфраструктури є мости, які забезпечують безперебійний рух транспорту та зв'язок між різними регіонами.

У кінці 50-х та в 60-х роках в Україні широке розповсюдження набуло будівництво автодорожніх мостів з прогоновими будовами із попередньо напружених струнобетонних балок. Дані

конструкції експлуатуються вже протягом 55-60 років. Під дією впливу зовнішнього середовища, а також в умовах збільшення навантаження та інтенсивності транспортних потоків відбувається процес зносу цих балок, у результаті чого знижується довговічність та несна спроможність конструкції. Результати обстежень та досвід експлуатації транспортних споруд вказують на те, що значна частина мостів, зокрема з прогоновими будовами зі струнобетонними балками за типовими проектами «ВТП-16» і «ВТП-15», перебуває у незадовільному стані.

Особливості конструкцій цих мостів, зокрема використання дрітної попередньо напруженої арматури малого діаметра (3 мм або 5 мм), роблять їх вразливими до корозійних процесів. З часом, під дією агресивних факторів зовнішнього середовища, арматура втрачає свій переріз і руйнується, що призводить до суттєвого зниження несної здатності струнобетонних балок. Ці процеси, в свою чергу, обумовлюють швидке вичерпання залишкового ресурсу мостових конструкцій, що останніми роками спричинило декілька обрушень балок на мостах України.

На дорогах державного значення налічується близько 500 мостових споруд з такими конструктивними особливостями, більшість з яких експлуатуються понад 60 років. Належне обслуговування та своєчасний ремонт цих споруд є надзвичайно важливими для виконання умов безпеки руху та уникнення серйозних економічних збитків. Аналіз технічного стану елементів прогонових будов та виявлення дефектів сприяють підвищенню безпеки руху, подовженню строку служби мостів та зменшенню загальних витрат на їх обслуговування.

Матеріали та методи. За основу досліджень взято матеріали обстеження транспортних споруд на території України, що зберігаються в аналітично-експертній системі управління мостами (АЕСУМ). Виконано аналізування літературних джерел за темою досліджень, розглянуто основні вимоги нормативних документів щодо ремонтування залізобетонних конструкцій.

Метою роботи є дослідження конструктивних особливостей прогонових будов зі струнобетону. Виконаний аналіз причин виникнення дефектів та надані пропозиції щодо заходів для тимчасового збереження стійкості конструкцій перед виконанням капітального ремонту або реконструкції. Стаття має на меті підвищення безпеки руху, подовження строку служби мостів та зменшення загальних витрат на обслуговування транспортної інфраструктури.

Виклад основного матеріалу. На основі матеріалів обстеження транспортних споруд на території України, що зберігаються в аналітично-експертній системі управління мостами (АЕСУМ), а також аналізу літературних джерел та нормативних документів щодо ремонту залізобетонних конструкцій, проведено дослідження технічного стану мостів та розроблено класифікацію типових дефектів. Запропоновані заходи щодо тимчасового збереження стійкості конструкцій до проведення капітального ремонту або реконструкції є важливими для забезпечення нормального функціонування транспортної інфраструктури України.

Виконуючи оцінювання впливу наявних дефектів струнобетонних прогонових будов на їх технічний стан потрібно враховувати ряд особливостей:

- напружений стан бетону зберігається аж до втрати міцності перерізу;
- руйнування носить раптовий крихкий характер, водночас можливе лавиноподібне руйнування ряду сусідніх балок;
- у випадку нерівномірного руйнування дротин по ширині плити чи поясу балки з'являється згинальний момент у горизонтальній площині, що додатково є причиною локальному руйнуванню дротин та бетону;
- розрив окремих напружених дротин відбувається у разі корозійного зменшення їх початкового діаметра вдвічі;
- після 20...30 років експлуатації корозія їх армування відбувається навіть за наявності цілісного захисного шару бетону.

У табл. 1 наведено найбільш розповсюджені дефекти струнобетонних балок, які перебувають в різних технічних станах.

Таблиця 1 — Класифікація дефектів струнобетонної прогонової будови за технічним станом
Table 1 — Classification of defects in string-concrete span structures by technical condition

Технічний стан елемента	Перелік дефектів для струнобетонних балок	Ступінь зносу, %
3 – Працездатний	Чисельні сколи у розтягнутій зоні конструкції. Чисельні раковини в розтягнутому бетоні. Сліди вилуговування на поверхні захисного шару бетону. Незначні порушення зв'язків між елементами прогонових будов. Водневий показник — $pH=9$. Одиничне розкриття силових тріщин у похилих перерізах або вздовж арматури у разі достатньої міцності захисного шару бетону. Оголення струн без втрати робочого перерізу араматури.	5 — 14
4 – Обмежено працездатний	Тріщини у розтягнутому бетоні з розкриттям понад 0,2 мм. Похилі силові тріщини в опорних зонах. Температурні тріщини в опорних зонах. Недостатня рухомість опорних частин. Пошкодження опорних частин. Угон опорних частин. Сліди вилуговування бетону на плиті проїзної частини. Сліди вилуговування бетону на ребрах балок. Порушення поперечних зв'язків між елементами. Водневий показник — $pH=8$. Оголення та корозія струн зі зменшенням площі армування до 20 %. Обрив струн у такій кількості, що знижує вантажопідйомність до 25 %.	15 — 33
5 – Непрацездатний	Поздовжні тріщини у стисненому бетоні вздовж струн з відшаруванням захисного шару бетону. Обрив струн у такій кількості, що знижує вантажопідйомність на понад 25 %. Сліди іржі біля тріщин. Порушення спільної роботи елементів прогонової будови. Нерівномірний прогин елементів прогонової будови. Водневий показник — $pH=7$.	>34
Примітка 1. Технічний стан елементів вказано згідно з ДСТУ 8909 та ДСТУ 9181. Примітка 2. За наявності корозійного зносу та/або обриву окремих дротин армування, перед прийняттям рішення щодо подальших ремонтних заходів, потрібно провести розрахування вантажопідйомності даної прогонової будови.		

Світлини характерних дефектів струнобетону наведені на рис. 1 – 7.



Рисунок 1 — Силлові тріщини в тілі балки прогонової будови
Figure 1 — Force cracks in the beam body of a span structure



Рисунок 2 — Тріщини на нижній грані балки прогонової будови, утворені внаслідок корозії арматури
Figure 2 — Cracks on the lower face of a girder beam in a span structure caused by corrosion of reinforcement



Рисунок 3 — Руйнування захисного шару бетону із оголенням та корозією струн
Figure 3 — Failure of the concrete protective layer with exposure and corrosion of the strings



Рисунок 4 — Руйнування захисного шару бетону із оголенням та корозією струн спричинене інтенсивним замоканням бетону та недостатньою товщиною захисного шару бетону
Figure 4 — Failure of the concrete protection layer with exposure and corrosion of the strings caused by intensive wetting of the concrete and insufficient thickness of the concrete protection layer



Рисунок 5 — Характерні відколи бетону утворені внаслідок розриву струн
Figure 5 — Characteristic concrete spalling caused by string breakage



Рисунок 6 — Обрив струн балки
Figure 6 — Breakage of the beam strings

Особливу увагу необхідно приділяти тріщинам на струнобетонних балках, а саме через їх характерні особливості порівняно з прогоновими будовами із звичайного залізобетону. Можна виділити наступні типи тріщин, які є характерними для струнобетонних балок:

- тріщини в зонах обпирання балок, які виникають у зв'язку із конструктивними недоліками опорних вузлів балок;
- горизонтальні тріщини на торцевих ділянках балок, які виникають у зв'язку із дією місцевих напружень під анкерами;
- тріщини від усадки в поверхневих шарах бетону, які зазвичай мають хаотичний характер, невелику довжину та незначне розкриття;
- силові тріщини, які виникають від дії головних розтягуючих напружень. Поява таких тріщин свідчить про порушення роботи конструкції;
- поздовжні тріщини в місцях сполучення плити балки до ребра балки;
- поперечні тріщини в плиті, які виникають у зв'язку із надмірним натягом попередньо напруженої арматури;
- поздовжні тріщини в верхньому поясі балки, що виникають від стискаючих напружень які перевищують міцність бетону;
- поперечні тріщини в нижніх поясах попередньо напружених балок, що виникають від недостатнього натягу арматури;
- поздовжні тріщини в зонах розташування попередньо напруженої арматури, що виникають у результаті надмірного натягу.

Невдалим конструктивним рішенням у цих проектах є влаштування з'єднання балок між собою, а саме — по діафрагмам зварними накладками та по закладним деталям, влаштованим поверху плит балок. Ці з'єднання внаслідок потрапляння води з проїзної частини кородують і руйнуються. Погіршує просторову роботу прогонових будов за типовими проектами ВТП-15 і ВТП-16 те, що відбувається просочування води до закладних деталей та накладок діафрагм з проїзної частини, що призводить до їх корозії і розриву.

Вищевказані недоліки викликають обриви дротів у балках за цими типовими проектами, руйнування з'єднань діафрагм. В Україні зафіксовано ряд обвалів балок прогонових будов за типовими проектами «ВТП-15», «ВТП-16» навіть від власної ваги. Як правило, руйнуються крайні балки прогонів, які зазнають значного замокання під час відведення води з проїзної частини до її країв, де внаслідок недосконалої системи водовідведення і невдалої конструкції тротуарів вода потрапляє на бічні поверхні цих балок. Хлориди, які знаходяться у протиожеледних матеріалах, підвищують хімічну агресивність води.

Негативним фактором в процесі експлуатації мостів із струнобетонними балками є порушення термінів обстеження таких споруд та відсутність періодичних оглядів експлуатуючою організацією. Також варто зауважити, що дані споруди потребують саме обстеження, а не паспортизації, тому що при складанні технічного звіту з обстеження балансоутримувач отримує детальний опис елементів споруди із аналізом зафіксованих дефектів та відповідний розрахунок вантажопідйомності, на основі якого встановлюється пропускна спроможність споруди та режим руху по ній.

Опираючись на досвід проведення ремонтів на мостах із струнобетонними балками можна сказати, що такі балки технологічно складно піддаються відновленню, що підтверджується зафіксованими під час обстежень відшаруванням ремонтних ділянок, тому необхідно ретельно підходити до способу ремонту таких балок та обов'язково розглядати доцільність повної або часткової заміни прогонової будови під час розроблення проектів ремонту.

Рекомендації щодо ремонту пропонуються **виключно як протиаварійні заходи**, для збереження стійкості конструкції до проведення капітального ремонту або реконструкції, при неможливості їх проведення в умовах обмеженого фінансування. Оскільки строк експлуатації струнобетонних прогонових будов перевищує 50 років, рекомендується виконувати їх заміну. У 2023 році було розпочато розроблення методичних рекомендацій (МР В.3.2–37641918–938:202X) з

ремонтуювання автодорожніх мостів зі струнобетонними балками прогонової будови, які взято за основу даної статті.

В даній статті пропонується розглянути наступні види ремонтування та підсилення струнобетонних балок (плит):

- усунення тріщин;
- відновлення пошкодженої поверхні захисного шару бетону;
- підсилення прогонової будови за допомогою композитних матеріалів;
- підсилення прогонової будови за допомогою зовнішньої напруженої арматури;
- відновлення поверхні захисного шару бетону методом просочування вертикальних та похилих поверхонь композиціями на основі метилметакрилату (ММА).

Під час вибору способу посилення потрібно враховувати, наскільки збільшиться постійне навантаження на існуючу конструкцію та можливість появи нових руйнувань від інших силових впливів у разі усунення першого виду руйнування.

Посилення здійснюється за допомогою сталевих елементів, бетону, залізобетону та полімерних композитних матеріалів у найслабших зонах.

Підсилюючий елемент повинен включитися в роботу, крім цього повинна бути забезпечена спільна робота елемента, що підсилюється, і елемента посилення, водночас потрібно враховувати несну здатність елемента, що посилюється, так і посилюючого елемента. Основний бетон і бетон посилення повинні мати, по можливості, однакові механічні характеристики.

Способи посилення струнобетонних балок і плит індивідуальні та мають свою специфіку. Їх класифікують залежно від схеми руйнування:

- 1) посилення розтягнутої зони:
 - приклеювання сталевих пластин;
 - попередня напруга зовнішніми пасмами;
 - приклеювання ламінату з полімерних композитних матеріалів;
- 2) посилення стиснутої зони:
 - збільшення площі поперечного перерізу обіймою, сорочкою;
 - посилення додатковою арматурою у стислій зоні;
 - обмеження поперечних деформацій;
 - встановлення дублюючих елементів;
 - застосування полімербетонних композицій;
- 3) посилення зони зрізу від дії поперечних сил:
 - збільшення площі поперечного перерізу обіймою, сорочкою;
 - встановлення додаткової поперечної арматури у вигляді хомутів, стрижнів, планок тощо;
 - застосування полімербетонних композицій;
 - застосування рулонних композитних матеріалів;
- 4) посилення закручення, місцевого стискання та продавлювання:
 - збільшення площі поперечного перерізу обіймою, сорочкою;
 - встановлення додаткової замкнутої поперечної арматури;
 - поширення площі обпирання;
 - застосування рулонних композитних матеріалів.

Під час розроблення технічних рішень щодо ремонтування орієнтуються на сучасні матеріали і технології, які забезпечують цілісність та роботу конструкції до проведення робіт з капітального ремонтування або реконструювання. Вибір ремонтного матеріалу здійснюється з урахуванням таких чинників:

- ступінь відповідальності елементів конструкції, включаючи залежність несної здатності споруди від їх цілісності;
- глибина руйнувань;

- умови експлуатування, такі як температурний режим, вологість і агресивність середовища, динамічні дії;
- естетичні вимоги;
- положення і доступність конструкції;
- обсяг виконання робіт.

У будь-якому випадку на вибір матеріалів може також вплинути вид проведеного ремонтування: конструкційний або неконструкційний, при яких можливо виконання таких робіт, як:

- усунення дефектів і герметизація тріщин, виявлених у ході спорудження об'єкта;
- косметичне ремонтування залізобетонних конструкцій;
- поточне ремонтування конструкцій, що не вимагає відновлення їх несної здатності;
- ремонтування конструкцій з відновленням їх несної здатності;
- ремонтування конструкцій із збільшенням їх несної здатності по відношенню до несної здатності, закладеної в проєкті споруди.

Рекомендовані методи ремонтування залежно від технічного стану елемента наведені у табл. 2.

Таблиця 2 — Рекомендовані методи ремонтування залежно від технічного стану елемента
Table 2 — Recommended repair methods depending on the technical condition of the element

Технічний стан елемента	Методи ремонтування
3 – Працездатний	– відновлення пошкодженої поверхні захисного шару бетону; – усунення тріщин; – ремонтування діафрагмових з'єднань.
4 – Обмежено працездатний	– підсилення прогонової будови за допомогою композитних матеріалів; – підсилення прогонової будови за допомогою зовнішньої напруженої арматури; – відновлення поверхні захисного шару бетону методом просочування вертикальних та похилих поверхонь композиціями на основі ММА.
5 – Непрацездатний	– заміна пошкоджених балок (плит); – улаштування тимчасових опор-підпірок для запобігання обваленню; – дозволено використання методів підсилення наведених для прогонової будови, що перебуває у 4 технічному стані за умови виконання розрахунку вантажопідйомності та за їх результатами зниження вантажопідйомності окремих балок (плит) не перевищує 30 %.

Усунення тріщин

Вибір методу усунення тріщин у струнбетонних балках прогонових будов транспортних споруд завжди повинен розпочинатись із встановлення причини виникнення тріщини та визначення її характеру. Під час усунення тріщин потрібно дотримуватись наступних принципів:

- зашпарування тріщин проводять лише після їх стабілізації. Щоб переконатись у цьому, за необхідності, на тріщини встановлюють гіпсові або плексигласові маяки і стежать за розвитком тріщин;
- зашпарування є доцільним лише за умови усунення причин виникнення тріщин;
- тріщини, що виникають тільки від рухомого навантаження, доцільно зашпаровувати в момент їх максимального розкриття (для цього на прогонові будови встановлюють тимчасове навантаження);

– особливу увагу потрібно приділяти найбільш небезпечним тріщинам на відкритих зверху поверхнях бетону, у зоні попередньо напруженої арматури, та тріщинам шириною розкриття $> 0,3$ мм.

Ремонтування тріщин залежно від їх кількості, величини розкриття та впливу на міцність і довговічність, може проводитись без поновлення та з поновленням несної здатності.

Якщо поява тріщини не впливає на несну здатність, її ремонтують засобами герметизації, тобто захищають арматуру від корозії. Для поновлення цілісності перерізу і тим самим поновлення несної здатності застосовують глибинне ін'єктування.

Заповнення тріщин полімерцементними розчинами називають герметизацією. Герметизація може бути:

- поверхнева — покриття сітки дрібних тріщин з розкриттям до 0,5 мм захисними плівками;
- глибинна — наповнення в тріщини за допомогою шприців на глибину (2–3) см спеціальними атмосферостійкими та еластичними герметиками.

Ін'єктування тріщин у бетоні — це метод ремонтування, який використовується для відновлення міцності та герметичності бетонних конструкцій.

Відновлення пошкодженої поверхні захисного шару бетону

Якщо конструкція має окремі сколи, раковини та порушення захисного шару, кожний з дефектів ліквідують окремо за допомогою цементних розчинів.

Етапи ремонтування пошкодженої ділянки з оголенням арматури:

1. Підготовлення поверхні.
2. Нанесення антикорозійного захисту арматури.
3. Грунтування поверхні.
4. Ремонтуювання бетону
5. Шпаклювання поверхні.
6. Нанесення захисного шару покриття

Метод підсилення балок композитними матеріалами

Метод підсилення композитними матеріалами є ефективним способом ремонтування пошкоджених поверхонь мостових балок. Цей метод дозволяє підвищити міцність і стійкість конструкції за допомогою застосування композитних матеріалів, таких як скловолокно або вуглецеве волокно, які наклеюють на пошкоджену поверхню.

Основні кроки ремонтування мостових балок методом наклеювання композитних стрічок виконують наступним чином:

1. Підготовлення поверхні.
2. Оброблення поверхні.
3. Вирізання композитних стрічок.
4. Наклеювання композитів.
5. Затвердіння та фіксація.
6. Оброблення та фінішування.

Підсилення балок зовнішньою напруженою арматурою

Метод підсилення мостових балок зовнішньою напруженою арматурою полягає у встановленні арматурних матеріалів, таких як сталь або композити, ззовні балок моста. Це підвищує їх міцність, несну здатність та строк служби без значного втручання в існуючу конструкцію.

Відновлення поверхні захисного шару бетону методом просочування вертикальних і похилих поверхонь композиціями на основі метилметакрилату

Особливістю композицій на основі ММА є низька в'язкість ($1 \div 15$) сантипуаз і велика змочувана здатність, що дозволяє за рахунок капілярного підсосу просочувати пори і заповнювати

тріщини та інші несучільності бетону, навіть за наявності забруднень у вигляді піску, пилу, води і мастила.

Висновки. Аналіз технічного стану мостів зі струнобетонними балками прогонових будов, проведений в рамках даного дослідження, виявив низку критичних проблем, які впливають на їхню надійність та безпечну експлуатацію. Основною причиною дефектів є корозія арматури, що спричиняє зниженню несної здатності струнобетонних балок. Корозійні процеси активізуються через вплив агресивного зовнішнього середовища та недостатню захищеність арматури. Відсутність належного обслуговування та своєчасного ремонту призводить до накопичення дефектів і прискорення деградації конструкцій.

Зниження несної здатності балок через корозію арматури створює серйозні ризики для безпеки руху. Необхідно впроваджувати регулярні обстеження технічного стану струнобетонних балок з метою своєчасного виявлення дефектів та визначення ступеня їхньої критичності.

Запропоновано заходи з тимчасового підсилення конструкцій, включаючи застосування сучасних матеріалів та технологій для запобігання подальшому руйнуванню та забезпеченню стійкості споруди до проведення капітального ремонту чи реконструкції.

Перелік посилань

1. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд.
2. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування.
3. ДСТУ 8814:2018 Транспортні споруди. Мости автодорожні. Терміни та визначення понять.
4. ДСТУ 8908:2019 Автодорожні мости. Класифікація дефектів.
5. ДСТУ 9181:2022 Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів.
6. ДСТУ 9214:2023 Автомобільні дороги. Терміни та визначення понять.
7. МР В.3.2-37641918-938:202X Методичні рекомендації з ремонтування автодорожніх мостів зі струнобетонними балками прогонової будови.

STUDY OF THE STRUCTURAL FEATURES OF STRING-CONCRETE SPAN STRUCTURES

Bohdan Zelenskyi, PhD student, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: zelenskyi1501@gmail.com, tel.+380985833340, <https://orcid.org/0000-0002-9949-3209>.

Summary. The analysis of inspection results and experience in the operation of transport facilities show that bridges with string-concrete girders according to the standard designs VTP-16 and VTP-15 are in the worst condition. The wire prestressing reinforcement of these beams, which has a small diameter of 3 mm or 5 mm, loses its cross-section over time and breaks due to corrosion. This leads to the exhaustion of the residual service life of string-concrete girders on many bridges, which has caused several collapses in Ukraine in recent years.

The structural features of string-concrete girders, including the use of small-diameter prestressed wire reinforcement, play a key role in their long-term operation and reliability. The number of such structures on Ukrainian roads of national importance reaches about 500 units, and their service life is more than 60 years. Lack of proper maintenance can lead to serious economic and safety problems.

Analysing the technical condition of bridge span elements and identifying defects helps to improve traffic safety, extend the service life of bridges and reduce overall costs. Effective repair and strengthening of bridge structures ensure the normal functioning of the transport infrastructure, which is critical for the economic development and security of the country.

This article investigates various aspects of the operation of bridges with string-concrete girders. The causes of defects are analysed and proposals are made to temporarily preserve the stability of structures prior to major repairs or reconstruction.

The structural features of bridges with string-concrete girders reveal significant shortcomings that eventually lead to serious problems. Small-diameter wire prestressing reinforcement is prone to corrosion, which reduces its cross-section and leads to rupture. This, in turn, can lead to a complete collapse of the bridge span.

Keywords: bridge, span structure, string-concrete, technical condition, defects, recommendations.

References

1. Constitution of Ukraine: Adopted at the fifth session of the Verkhovna Rada of Ukraine on June 28, 1996. Amended by the Law of Ukraine dated December 8, 2004 No. 2222 IVI. As of January 1, 2006. - K., 2006. - 124 p. [in Ukrainian].
1. DBN B.1.2-14:2018 System of ensuring the reliability and safety of construction facilities. General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures [in Ukrainian].
2. DBN B.2.3-6:2009 Transport facilities. Bridges and pipes. Inspection and testing [in Ukrainian].
3. DSTU 8814: 2018 Transport facilities. Road bridges. Terms and definitions of concepts [in Ukrainian].
4. DSTU 8908: 2019 Road bridges. Classification of defects [in Ukrainian].
5. DSTU 9181: 2022 Guidelines for assessment and forecasting of the technical condition of road bridges [in Ukrainian].
6. DSTU 9214: 2023 Roads. Terms and definitions of concepts [in Ukrainian].
7. MR B.3.2-37641918-938:202X Methodical recommendations for the repair of road bridges with string-concrete girders of the span structure [in Ukrainian].

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-278-283

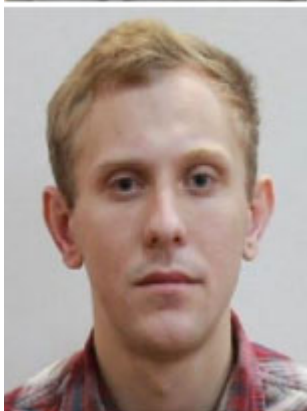
**АНАЛІЗ ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛОШЛАКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТЕПЛОВИХ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В МАТЕРІАЛАХ ДОРОЖНІХ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ
ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛІНГУ**

**ANALYSIS OF THE EXPERIENCE OF USING ASH SLAG MATERIALS OF THERMAL
POWER PLANTS IN ROAD MATERIALS MADE BY COLD RECYCLING TECHNOLOGY**



***Савенко В'ячеслав Якович**, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: svi1310@ukr.net, тел. +380506572008,*

<https://orcid.org/0000-0001-8174-7728>



***Биковець Микола Миколайович**, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету. e-mail: mbykovec@gmail.com, тел. +380662373208.*

<https://orcid.org/0000-0002-7490-7479>

Анотація. У даному науковому тексті розглядаються аналіз вітчизняного та світового досвіду використання золошлакових матеріалів теплових електростанцій в матеріалах дорожніх, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу. Вугілля є важливішим первинним джерелом енергії в Україні. У 2019 році на його частку припадало 28,9% від усіх енергоресурсів. В Україні наявні 15 вугільних паливних електростанцій, сумарна потужність яких становить 30-40% у загальній встановленій потужності енергогенерації в країні. У результаті діяльності теплоелектростанцій (ТЕС) утворюється значна кількість великотонажних відходів – золошлакових матеріалів (ЗШМ). На золовідвалах ТЕС накопичено 360 млн т золошлаків. Щорічно утворюється близько 5-10 млн т золошлаків. Тому постає питання зменшення відвалів ЗШМ, як матеріалів при дорожньому будівництві. В Україні основним способом використання золошлакових матеріалів є їх використання у виробництві цементу. Але при поточному рівні виробництва цементу потенціал використання шлаків у цій галузі вичерпаний. Тому постає питання використання золошлакових матеріалів в інших галузях. Як варіантом є використання ЗШМ в дорожньому будівництві.

Ключові слова: автомобільна дорога , дорожній одяг, золошлакові матеріали, зола гідровидалення, зола-виносу, ресайклінг.

Вступ. У результаті експлуатації теплових електростанцій неминуче утворюються значні обсяги відходів у вигляді золошлакових матеріалів. Завдяки використанню вугілля та іншого палива у процесі генерації електроенергії, ТЕС стають джерелом великогабаритних відходів, які потребують ефективної утилізації. Метою цього дослідження є встановлення можливостей використання золи-винесення, утвореної у процесі спалювання, в поєднанні з мінеральними в'язучими для створення суміші, придатної для улаштування основи дорожнього з матеріалів дорожніх, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу. Такий підхід може відкрити нові перспективи у використанні відходів від ТЕС та сприяти зниженню негативного впливу їхнього накопичення на довкілля. Ця технологія відкриває можливості для подальшого використання відходів від ТЕС, сприяючи їхній ефективній утилізації та зменшенню негативного впливу на довкілля. При цьому необхідно провести подальші дослідження з метою визначення оптимальних співвідношень складових у суміші для досягнення оптимальних результатів.

Виклад основного матеріалу. Золошлакові матеріали - це тверді продукти згоряння вугілля, що складаються в основному з породоутворюючих компонентів. Мінеральна частина вугільного палива на 85-95% складається з глинистих мінералів, аргілітів, алевролітів. Інші 5-15% - сполуки заліза, кальцію та мікроелементів.

Золошлакові відходи є дрібнозернистим матеріалом, у якого майже 30 % зерен має розміри від 1 мм до 5 мм. Характеристики золошлаків різняться в залежності з якої вони ТЕС, оскільки визначаються мінералогічним складом вугілля, підготовкою палива до спалювання, технологією спалювання, системою очищення димових газів від золи і їх транспортування до золовідвалів.

Аналіз закордонного досвіду показує, що однією з найперспективніших сфер їхньої утилізації може бути дорожнє будівництво. У Західній Європі найпрогресивнішою у вирішенні проблеми застосування відходів ТЕС для дорожнього будівництва вважається Франція, де використовується «сухе» видалення відходів. Вироблена зола-виносу, залежно від свого складу та властивостей, застосовується для всіх шарів дорожньої конструкції, і може використовуватися як для верхніх шарів конструкції дорожнього одягу як компонент в'язучого, так і для нижніх шарів як укріплений мінеральний матеріал. Також ЗШМ застосовують у тілі дорожнього насипу як техногенний ґрунт. Наприклад, на півночі Франції, у Ленс-ла-Бассе, траса RN 47 завдовжки 7,5 км побудована з використанням майже 50 000 тонн золи. Дана дорога майже на 70 % складається із золи, і є прикладом ефективної утилізації ЗШМ. Для організації процесу утилізації у Франції існують державні пільги для бізнесу, що використовує золу, та запроваджено заборони на використання інших, більш витратних будівельних матеріалів, таких як ґрунт та пісок. Тому майже сто відсотків золи йде на подальшу переробку та утилізацію.

У Німеччині для продуктивного використання золи на багатьох електростанціях зводять силоси ємністю 40-60 тис. т і обов'язково будують невеликі силоси з добовою та дводобовою ємністю, з яких згодом відбирають проби для лабораторного аналізу золи, і в яких вона за допомогою технологічних методів перемішування за фракційним складом приводиться до необхідних нормативних вимог, після чого зола завантажується в основні силоси-сховища. Побічні продукти ТЕС експортуються до сусідніх країн. Для золи-винесення необхідно наявність сертифіката про пройдені лабораторні випробування, якщо вона йде в будівельну індустрію. Щорічно у Німеччині 3,1 млн. т цементу замінюється ЗШМ. Завдяки цьому економляться ресурси та енергія, необхідна для виробництва цементу, та окупуються витрати на силоси, транспорт та зарплату працівників [2].

У США застосовують для будівництва золу-винесення та золу гідровидалення. Зола-винесення служить для заміни портландцементу в бетонах та цементних розчинах, а також на повнювачем у основах дорожнього одягу та насипах. Використання золи дозволяє покращити деякі характеристики бетонів, у тому числі підвищити їхню міцність і збільшити довговічність готового бетонного виробу. Наприклад, бетон, 50% цементу якого замінили золою-винесення, називається бетоном з високою концентрацією золи (HFC). Даний бетон має низький вихід температури при гідратації, зменшену

усадку після висихання і кращу технологічність. Зола гідровидалення використовується як заповнювач для бетону і холодних асфальтобетонів, а також як структурний заповнювач для насипів і цементних основ автомобільних доріг

Ще в 1983 р. в США були прийняті норми про обов'язкове застосування золошлакових відходів у дорожньому будівництві. Масове використання золи в будівництві доріг почалося з 1986 р. Зараз, щоб стимулювати ширше використання продуктів згоряння вугілля, Федеральне агентство з охорони навколишнього середовища, Міністерство енергетики та Федеральне управління автомобільних доріг, а також Американська асоціація з виробництва золи вугілля та Група з утилізації твердих побутових відходів спільно спонсорують проєкт "Партнерство використання продуктів спалювання вугілля". Проєкт призначений для того, щоб допомогти будівельним організаціям та енергетичним компаніям зрозуміти екологічні переваги та потенційні наслідки вживання продуктів згоряння вугілля, а також стимулювати їх корисне використання [1].

У Південній Африці до золи-виносу додавали різні види цементів і утилізували як стабілізатор ґрунту для дорожнього будівництва. Результати спеціальних досліджень показали, що зола-виносу, збагачена цементом, не є шкідливою для людини та навколишнього середовища. Крім того, доведено, що суміші золи-винесення з інертними матеріалами (пісок, рисове лушпиння і т. д.) досягають від 50 до 70% міцності матеріалів, укріплених цементом. Загалом експлуатація золи-винесення для стабілізації ґрунтів у дорожньому будівництві має технічні переваги при правильному використанні. Сьогодні у ПАР, за фінансової державної підтримки, проводиться експериментальне будівництво доріг із золи-винесення [3].

В Україні основним способом використання золошлакових матеріалів є їх використання у виробництві цементу, що становить 86% від загального обсягу. За інформацією ринкових операторів, виробники цементу використовують золошлакові матеріали у максимально можливій пропорції. Іншими словами, при поточному рівні виробництва цементу потенціал використання шлаків у цьому секторі відсутній. Тому потрібно шукати інші сфери використання золошлакових матеріалів. Вирішення проблеми є використання ЗШМ в дорожньому будівництві.

В залежності від своїх характеристик ЗШМ поділяються на три групи. Суміші золошлакові I групи призначаються для влаштування додаткових шарів основи дорожнього одягу (дренуючих та морозозахисних шарів), а також в якості складової щебеневো-піщаної суміші або ґрунтової суміші. Золошлакові суміші цієї групи, укріплені неорганічними в'язучими, придатні для будівництва основи дорожнього одягу. Суміші золошлакові II групи можуть бути використані для будівництва основ тільки спільно з добавкою не менше 50 % щебеню або після їх укріплення неорганічними в'язучими. Суміші золошлакові III групи можуть бути використані спільно з вапном або цементом для укріплення крупноуламкових сумішей або незв'язних ґрунтів. Суміші золошлакові I-III групи можуть застосовуватись для будівництва насипів земляного полотна [4].

Використання зол-виносу в асфальтобетонній суміші в Україні в своїй науковій сфері досліджував О. Соколов. А дослідження золошлакової суміші укріпленої мінеральним в'язучим це перспективна тема яка ще не була досліджена.

Можливість застосування золошлакових матеріалів гідровидалення, укріплених неорганічними в'язучими матеріалами - цементом або вапном, для влаштування шарів дорожніх одягів вивчалася з кінця 70-х років минулого століття. В результаті було визначено два напрямки використання ЗШМ:

- обробка цементом або вапном та застосування як конструктивних шарів дорожнього одягу;
- як добавка до в'язучих з метою їхньої економії при укріпленні ґрунтів.

Золошлакові суміші, оброблені цементом або вапном, виявляють у процесі твердіння гідравлічну активність. Структурутворення забезпечується взаємодією клінкерних мінералів з водою з утворенням речовини, що цементує. Оксид кальцію, що виділяється при цьому, взаємодіє з кремнеземистою і глиноземною складовими золошлакової суміші і сприяє створенню новоутворень. В результаті підвищуються міцність укріпленого матеріалу у водонасиченому стані та його морозостійкість. Структурутворення протікає досить повільно (в порівнянні з грантами, укріпленими

цементом), тому результати доцільно отримувати не в 28-добовому віці, а ще через 90, 180 і 360 діб твердіння.

Результати обробки золошлакових сумішей цементом або вапном залежать від виду золошлакової суміші, її хімічного та зернового складу.

Застосування золошлакових сумішей гідровидалення в піщаних ґрунтах, що зміцнюються цементом, і гравійно-піщаних сумішах дозволяє знизити витрату в'язучого на 30 %[4].

Для підвищення морозостійкості піщаних ґрунтів, укріплених цементом із добавками золошлакових сумішей гідровидалення, доцільно використовувати добавки хлористого кальцію. Введення 1-3 % (маси золи) хлористого кальцію дозволяє активізувати структуроутворення укріпленого ґрунту та отримувати матеріал, що відповідає вимогам І та ІІ класів міцності. Крім того, це дає можливість обробляти ґрунт при низьких плюсових та мінусових (до мінус 15 ° С) температурах повітря [6].

Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 04 грудня 2019 року № 1420-р. сприяло використанню золошлакових матеріалів в дорожньому будівництві в Україні. Одним з варіантів використання ЗШМ в дорожньому будівництві є матеріал, виготовлений за технологією холодного ресайклінгу з додаванням золи-виносу. Було влаштовано експериментальну ділянку на автомобільній дорозі Т-10-18 Бориспіль – Березань – Яготин, км 3+227 – км 5+227 з шаром дорожнього одягу з матеріалу, виготовленого за технологією холодного ресайклінгу з використанням золошлакових матеріалів.



Рисунок 1 — Процес будівництва на автомобільній дорозі Т-10-18 Бориспіль – Березань – Яготин, км 3+227 – км 5+227

Використання золи-виносу в матеріалі виготовленому за технологією холодного ресайклінгу дозволило збільшити його тріщиностійкість, що дало змогу відступити від вимог пункту 5.10 ГБН В.2.3-37641918-559:2019, в якому йдеться, що для обмеження появи відображених тріщин товщину шарів з матеріалів, що містять органічне в'язуче та укладаються на шар із матеріалів, оброблених неорганічним в'язучим, потрібно приймати не меншою за товщину шару такої основи. Це дозволило таку влаштувати конструкцію дорожнього одягу:

1. АБ.Др.Щ.А.НП.БМКП 60/90-65.ДСТУ 8959:2019 – 5 см;

Підґрунтовка – ЕКШМ-50 згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013 – 0,50 л/м²;

2. МДХР.МВ.Кз.М40.ДСТУ 8976:2020 з додаванням золи-винесення, $h_{\min}$ – 12 см;

Існуючий дорожній одяг після фрезерування.

Використання золи-виносу дало змогу не влаштовувати додатковий шар асфальтобетону, що значно здешевило конструкцію.

Висновки

Золошлакові матеріали (ЗШМ) є твердими продуктами згоряння вугілля, в яких основну частину становлять породоутворюючі компоненти. Характеристики ЗШМ залежать від мінералогічного складу вугілля, технології спалювання, систем очищення димових газів та транспортування відходів.

Закордонний досвід показує, що ЗШМ мають значний потенціал для застосування в дорожньому будівництві. Наприклад, у Франції вони широко використовуються в різних шарах дорожньої конструкції, що сприяє економії природних ресурсів і зниженню витрат.

Використання ЗШМ у будівництві сприяє збереженню природних ресурсів, знижує витрати на виробництво будівельних матеріалів та забезпечує ефективну утилізацію відходів ТЕС. Це також допомагає зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

ЗШМ мають значний потенціал для використання в будівництві, особливо в дорожньому, що підтверджується успішними прикладами з різних країн. Це не лише сприяє економії ресурсів, але й знижує екологічне навантаження. Впровадження подібних практик в Україні може стати ефективним рішенням для утилізації золошлакових відходів.

Перелік посилань

1. Lindon K. A. Properties and use of coal fly ash: Use of fly ash for road construction, runways and similar projects. — London, 2015. — 132 p.
2. Hinweise zur Verwendung von Braunkohlenflugasche aus Kraftwerken mit Kohlenstaubfeuerung im Erdbau// Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen. - 2003. - №.627. - S. 150-153
3. Brooks R. M. Soil stabilization with fly ash and rice husk ash. // International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences. — 2009. — Vol. 1(3). — P. 209–217.
4. Використання золошлакових продуктів і гірничої породи в дорожньому будівництві. Європейський досвід і можливості для України. – Київ, 2021. – 13с.
5. Lahtinen P., Jyrävä H., Suni H. New methods for the renovation of gravel roads. Paper for IRF Regional Conference, European Transport and Roads. 1999. Lahti. 7 pp.
6. Haga N., Ohkawa V., Kawamoto T., Konno M., Mizoguchi J. Utilisation of blast furnace and steel slags in road construction. Nippon Steel Techn. Rept. 1981/N 17.

ANALYSIS OF THE EXPERIENCE OF USING ASH SLAG MATERIALS OF THERMAL POWER PLANTS IN ROAD MATERIALS MADE BY COLD RECYCLING TECHNOLOGY

Vyacheslav Savenko, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: svi1310@ukr.net, tel.+380506572008, <https://orcid.org/0000-0001-8174-7728>

Mykola Bykovets, graduate student of the Department of Transport Construction and Property Management of the National Transport University. , Kyiv, Ukraine, e-mail: mbykovec@gmail.com, tel. +380662373208 <https://orcid.org/0000-0002-7490-7479>

Summary. This scientific text examines the analysis of domestic and world experience of using ash slag materials of thermal power plants in road materials produced by cold recycling technology. Coal is the most important primary source of energy in Ukraine. In 2019, its share accounted for 28.9% of all energy resources. There are 15 coal-fired power plants in Ukraine, the total capacity of which is 30-40% of the total installed power generation capacity in the country. As a result of the operation of thermal power plants (TPP), a significant amount of large-tonnage waste - ash and slag materials (ZShM) is generated. 360 million tons of ash slag are accumulated in TPP ash dumps. About 5-10 million tons of ash and slag are produced annually. Therefore, there is a question of reducing waste materials as materials for road construction. In Ukraine, the main method of using fly ash materials is their use in the production of cement. But at the current level of cement production, the potential of using slag in this industry has been exhausted. Therefore, the question of using ash slag materials in other industries arises. As an option, it is the use of ZSHM in road construction.

Key words: road, road clothing, ash and slag materials, hydroremoval ash, takeaway ash, recycling.

References

1. Lindon K. A. Properties and use of coal fly ash: Use of fly ash for road construction, runways and similar projects. — London, 2015. — 132 p.
2. Hinweise zur Verwendung von Braunkohlenflugasche aus Kraftwerken mit Kohlenstaubfeuerung im Erdbau// Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen. - 2003. - №.627. - S. 150-153
3. Brooks R. M. Soil stabilization with fly ash and rice husk ash. // International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences. — 2009. — Vol. 1(3). — P. 209–217.
4. Use of ash and slag products and mining rock in road construction. European experience and opportunities for Ukraine. — Kyiv, 2021. — 13c.
5. Lahtinen P., Jyrävä H., Suni H. New methods for the renovation of gravel roads. Paper for IRF Regional Conference, European Transport and Roads. 1999. Lahti. 7 pp.
6. Haga N., Ohkawa V., Kawamoto T., Konno M., Mizoguchi J. Utilisation of blast furnace and steel slags in road construction. Nippon Steel Techn. Rept. 1981/N 17.

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-284-291

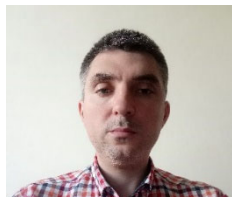
**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ
ПОСИЛЕНИХ ЖОРСТКИМИ БАГАТОВІСНООРІЄНТОВАНИМИ ПОЛІМЕРНИМИ
ГЕОРЕШІТКАМИ**

**EXPERIMENTAL STUDIES ON STRENGTHENING OF ROAD PAVEMENTS WITH
POLYMER RIGID MULTI-AXIAL ORIENTED GEOGRIDS**



Усиченко Олена Юрїївна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: fbbk@ukr.net, тел. +380442803942

<https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>



Харін Павло Леонідович, директор за напрямом проектування та інжинірингу, ТОВ «Уніпром», Київ, Україна, e-mail: kxarin@ukr.net, тел. +380504135950

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



Зарічний Антон Олександрович, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: antohazarich@gmail.com, тел. +380442803942

<https://orcid.org/0009-0004-5723-3443>

Анотація: Авторами статті на основі отриманих результатів проведених експериментальних досліджень на різних типах конструкцій нежорсткого дорожнього одягу розглянуто особливості роботи незв'язного матеріалу посиленого георешіткою. В процесі досліджень виконано серію статичних штампових випробувань і визначені величини модуля деформації традиційних та посилених конструкцій дорожнього одягу. Досліджено вплив георешітки, влаштованої в основі незв'язного шару конструкції дорожнього одягу, на його модуль деформації. Встановлено, що використання георешіток значно підвищує еквівалентний модуль деформації дорожнього одягу, залежно від товщини шару інертного матеріалу та деформаційних характеристик ґрунту основи. Встановлено, що ефективність посилення залежить від співвідношення деформаційних характеристик дорожнього одягу і ґрунтів основи, а також відносної глибини закладення георешітки. Найбільший ефект досягається на слабких ґрунтах при великих деформаціях. Отримані результати мають важливе значення для подальших досліджень і практичного застосування технології посилення дорожніх конструкцій геосинтетичними матеріалами.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожня конструкція, багатовісноорієнтована георешітка, геосинтетичне армування, штампові випробування, деформаційні характеристики, навантаження, коефіцієнт армування, натурний експеримент

Вступ. Недовговічність несних шарів з ґрунтів і кам'яних матеріалів традиційно є однією з найбільш гострих проблем при будівництві. Більш низький термін служби таких основ, в порівнянні з розрахунковим, обумовлений наявністю цілого ряду причин, до числа яких, разом з технологічними, слід віднести і недосконалість розрахункових схем і методів, прийнятих в практиці конструювання.

В першу чергу це відноситься до конструкцій, в яких застосовуються нові матеріали. Адже, як правило, впровадження сучасних конструкцій відбувається за відсутності нормативних документів.

Однією з причин передчасного руйнування дорожнього одягу автомобільних доріг є недостатня міцність і малий термін служби основ, що споруджуються з незв'язних матеріалів (щебеню, щебеневово-піщаних сумішей, гравію тощо). Досить велика товщина шару із незв'язних матеріалів в основі призводить до накопичення залишкових деформацій і як наслідок - утворення колійності на покритті. Одним з найбільш перспективних методів підвищення міцності таких основ є застосування георешіток. В Україні георешітки полімерні жорсткі багатовісноорієнтовані знайшли своє застосування, для посилення конструкції дорожніх одягів. Георешітка полімерна жорстка багатовісноорієнтована – це високоміцна полімерна структура з фіксованими чарунками, які утворені шляхом перфорування листів поліпропілену з додаванням сажі (не менше 2 % за масою), з послідовним витягуванням у декількох напрямках, що забезпечує багатовісну орієнтацію молекулярних зв'язків. Комірка забезпечує оптимальне співвідношення структурної стійкості та ефективного використання матеріалу, а жорстка (ізометрична) структура рівномірно сприймає зусилля розтягу за усіма напрямками на 360 °. Застосування такої технології дозволяє отримати економію витрачених затрат на будівництво конструкції дорожнього одягу.

Виклад основного матеріалу.

Для підтвердження гіпотези про ефективність застосування багатовісноорієнтованої георешітки Tensar TX 160 у якості посилення конструкцій нежорстких дорожніх одягів у листопаді 2020 р. проектною організацією ТОВ «Уніпром» спільно з фахівцями Національного транспортного університету був проведений натурний експеримент. Досліджувались різні конструкції дорожніх одягів, в тому числі з використанням геосинтетичного армування. Дослідження проводились на ділянці автомобільної дороги М-22 Полтава – Олександрія, км 58 в Полтавській області.

Мета досліджень:

- встановити якісну та кількісну картину роботи підсилення дорожнього одягу в умовах штампових навантажень;
- оцінити ефективність посилення георешітками незв'язних шарів нежорстких дорожніх одягів.

Завдання досліджень:

- отримати графічні залежності осідання штампів від величини тиску який прикладається;
- визначити деформаційні характеристики - еквівалентний модуль деформації ($E_{\text{екв}}$) дорожніх одягів, посиленних георешітками;
- встановити вплив георешіток на величину еквівалентного модуля деформації дорожнього одягу;
- встановити оптимальний тип георешітки, з точки зору підвищення міцності дорожнього одягу;
- на основі кореляційно-регресійного аналізу отримати регресійні рівняння залежності $E_{\text{екв. пос.}} / E_{\text{екв}} = f(h_{\text{од}} / D, E_{\text{гр}} / E_{\text{до}})$.

Обладнання, методика і техніка проведення експерименту

Вимірювання модуля деформації проводилися статичним штампом марки Infratest 130 kN із круглим жорстким штампом діаметром 300 мм, рисунок 1. За методикою згідно DIN 18134 виконувалося 6 ступенів навантаження і 3 ступені розвантаження при першому етапі і 5 ступенів навантаження при другому етапі, разом зафіксовано 11 значень повної і 3 значення залишкової деформації.

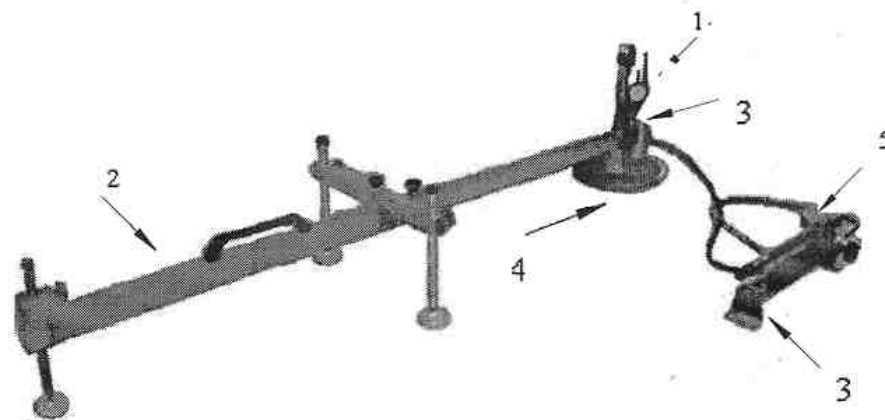


Рисунок 1 – Статичний штамп марки Infratest 130 kN
Figure 1 – Static stamp of the Infratest brand 130 kN

Навантаження на поверхню вимірювальної конструкції передавалась через круглий жорсткий штамп і домкрат, що впирався в раму навантаженого автомобіля. Навантаження на штамп вимірювалось за допомогою механічного динамометра. Вертикальне переміщення штампа фіксувалось прогиноміром важільного типу, вимірювальний стрижень якого був встановлений у центрі штампа. Вертикальне переміщення штампа вимірювалось індикатором годинникового типу. Індикатор надійно закріплювався на твердій реперній балці, опори якої були віддалені на відстань $4D$ від штампа і коліс автомобіля пригруза. Розрахункове переміщення прийняте рівним напівсумі відліків за цими індикаторами.

Навантаження при випробуванні прикладалось рівними до максимального розрахункового значення: $0,5$ МПа на поверхні основи, $0,5 - 1$ МПа.

Відліки на індикаторах знімалися після витримування заданого рівня навантаження, а також після паузи, що слідує за розвантаженням.

За різницею відліків визначено пружну деформацію конструкції. На основі цих даних наведені модулі первинного та вторинного навантаження в таблиці 1 та таблиці 2. Модуль деформації вимірювальної конструкції, дорівнює:

$$E_y = 0,25\pi p D(1 - \mu^2)/l \quad (1)$$

де p – максимальний (розрахунковий) тиск від штампугу;

D – діаметр жорсткого штампугу;

μ – коефіцієнт Пуассона (для ґрунтів земляного полотна $\mu = 0,35$, для матеріалів основ $\mu = 0,25$, а при обчисленні загального модуля пружності $\mu = 0,3$);

l – пружна деформація, що відповідає навантаженню E_y .

Серія експериментів включала випробування трьох типів традиційних (не підсилених) конструкцій дорожніх одягів (рисунок 2) та трьох типів конструкції посилені багатовісними георешітками Tensar TX 160 (рисунок 3). Характеристики ґрунту основи – суглинок легкий та важкий пилуватий, сірий та зеленувато-сірий, м'якопластичний, місцями з карбонатними включеннями, потужністю шару $1,3-2,4$ м. Основа конструкції мала вимірний модуль деформації E_{gr}

$=5$ МПа. В посиленій конструкції на ґрунт основи влаштовувалась георешітка Tensar TX 160 вироблена методом перфорації із цільного листа поліпропілена, стійка до ультрафіолету за рахунок додавання сажі не менше 2%; січний модуль пружності 390 кН/м. Залежно від типу конструкції товщина шару із щебеня фракції 20 – 40 мм змінювалась. поверх якої влаштовувався шар із гранітного щебеня, в залежності від типу конструкції товщина шару із щебеня змінювалась від 10 до 30 см. На досліджуваних конструкціях виконувалися статичні штампові випробування для визначення модуля деформації.

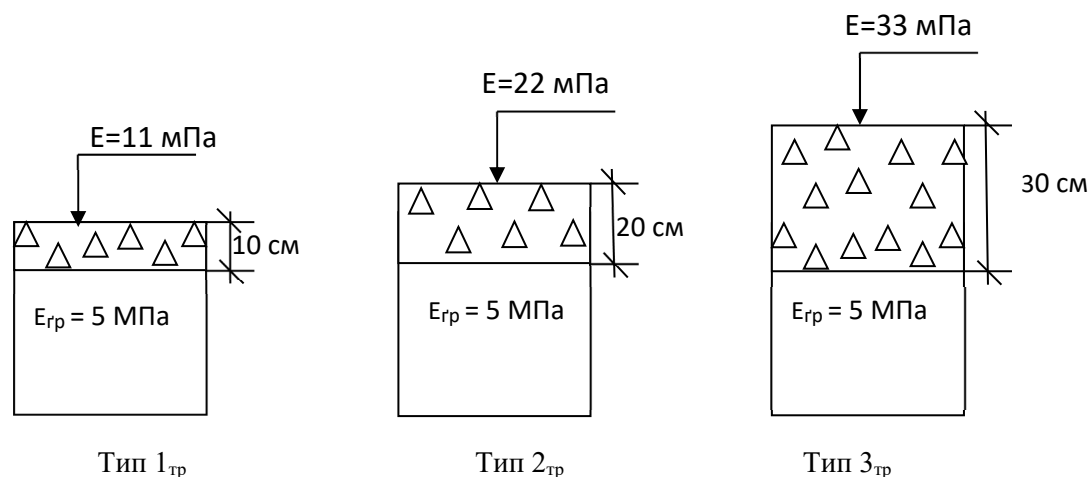


Рисунок 2 – Конструкції традиційних дорожніх одягів
Figure 2 – Designs of traditional road pavements

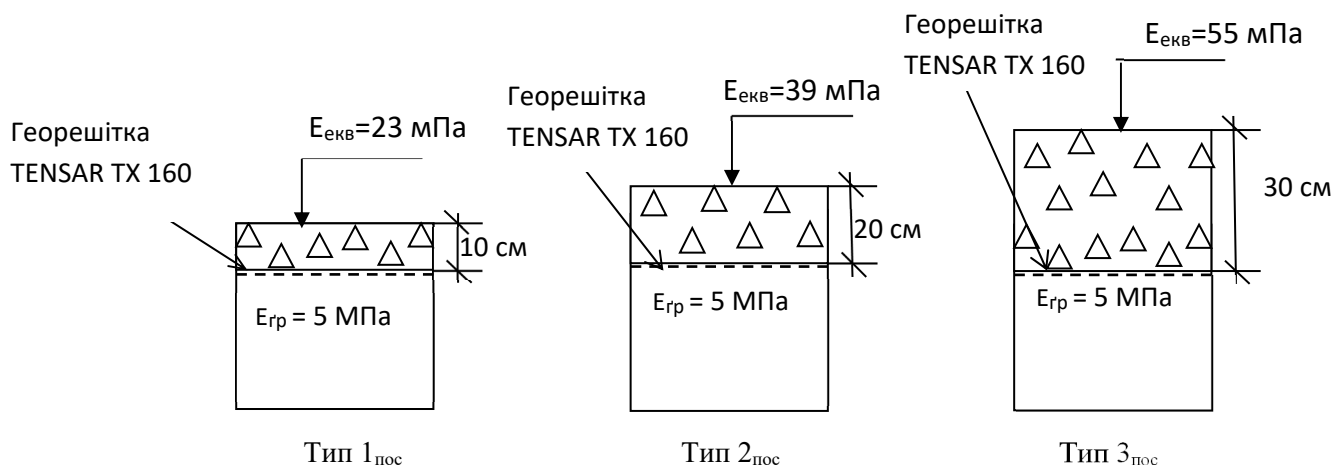


Рисунок 3 – Конструкції дорожніх одягів посилених георешіткою Tensar TX 160
Figure 3 – Structures of reinforced road clothing with Tensar TX 160 geogrid



Рисунок 4 – Улаштування георешітки Tensar та виконання статичних вимірювань
Figure 4 – Laying the Tensar geogrid and performing static measurements

Таблиця 1 – Результати вимірювання модуля деформації конструкції традиційних дорожніх одягів

Table 1 – Results of measuring deformation modulus the construction of traditional road

Випробування статичним навантаженням на штамп			
Серія випробувань	$E_{v1}, \text{МН/м}^2$	$E_{v2}, \text{МН/м}^2$	E_{v2}/E_{v1}
Тип 1 _{тр}	5,1	10,8	2,11
Тип 2 _{тр}	7,6	21,9	2,88
Тип 3 _{тр}	11,2	33,4	2,97

Таблиця 2 – Результати вимірювання модуля деформації конструкції посиленого дорожнього одягу георешіткою Tensar TX 160

Table 2 – Results of measurement deformation modulus of the construction of reinforced road clothing with the Tensar TX 160 geogrid

Випробування статичним навантаженням на штамп			
Серія випробувань	$E_{v1}, \text{МН/м}^2$	$E_{v2}, \text{МН/м}^2$	E_{v2}/E_{v1}
Тип 1 _{пос}	10,4	23,2	2,23
Тип 2 _{пос}	18,5	38,9	2,10
Тип 3 _{пос}	21,9	55,3	2,52

Аналіз проведених випробувань посилених конструкцій дорожніх одягів

Результати дослідів порівнювали за двома критеріями:

- за величиною, яка характеризує збільшення еквівалентного модуля деформації конструкції дорожнього одягу (K_n – коефіцієнт посилення).

$$K_n = \frac{E_{\text{екв.пос}}}{E_{\text{екв}}}, \quad (2)$$

де $E_{\text{екв.пос}}$ – модуль деформації посиленої конструкції дорожнього одягу;

$E_{\text{екв}}$ – модуль деформації традиційної (непосиленої) конструкції дорожнього одягу.

– за величиною відносної несної здатності конструкції дорожнього одягу ($\bar{P}$)

$$\bar{P} = \frac{P_a}{P_o}, \quad (3)$$

де P_a – питомий тиск при якому зберігається лінійна залежність між тиском і осадкою (посилена конструкція дорожнього одягу);

P_o – питомий тиск при якому зберігається лінійна залежність між тиском і осадкою (без посилення).

При посиленні конструкцій георешітками відбувається значне збільшення еквівалентного модуля деформації в порівнянні з традиційними непосиленими конструкціями. Причому явно виражена тенденція збільшення коефіцієнта посилення від «міцних» ґрунтів до більш «слабких».

У посиленій конструкції швидкість збільшення осідань значно знижується зі збільшенням тиску, що прикладається. Це свідчить про збільшення абсолютного значення визначеного еквівалентного модуля деформації зі збільшенням ступеня навантаження.

Розбирання конструкцій після випробувань показало, що включення в конструкцію дорожнього одягу георешіток призводить до значного збільшення чаші прогину на ґрунтовій основі (більше 2 діаметрів штамп), що свідчить про значний перерозподіл тисків на ґрунтову основу. Безпосередньо це можна інтерпретувати як поява нового шару, що має згинальну жорсткість. Цей шар утворюється при спільній роботі щебеню і георешітки, перешкоджає випору ґрунту і володіє новими, власними фізико-механічними характеристиками.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що включення в конструкцію дорожнього одягу георешіток збільшує кут розподілу тиску під штампом на ґрунтову основу. Так кут розподілу тиску для традиційної конструкції становить 38° , тоді як у конструкції з посиленням георешіткою TX 160 він складає 53° . Відповідно відбувається збільшення чаші прогину під штампом з $R = 36$ см (в традиційній конструкції) до $R = 52$ см (конструкція посилена георешіткою TX 160), тобто збільшується радіус чаші прогину більш, ніж в 1,4 рази.

Крім цього, під час проведення експерименту (в момент розвантаження), візуально спостерігалось моментальне відновлення деформацій посилених конструкцій, що підтверджувалося відліком прогинуміра. Проте на ґрунтовій основі спостерігалось накопичення залишкових деформацій. Це явище, вказує на те, що посилена георешіткою конструкція працювала в пружній стадії (за рахунок міцних властивостей георешітки, сил тертя і зчеплення щебеневого шару з георешіткою).

Висновок.

Згідно з результатами проведених серій експериментальних досліджень отримано наступні висновки:

1. Посилення конструкцій нежорстких дорожніх одягів, георешітками є досить ефективним при цьому досягається збільшення еквівалентного модуля деформації дорожнього одягу (в залежності від товщини шару інертного матеріалу та деформативних характеристик ґрунту основи) від 1,6 до 2,2 раз.
2. Ефективність посилення залежить від співвідношення деформативних характеристик дорожнього одягу і ґрунтів основи ($E_{гр}/E_{до}$) та відносної глибини закладення георешітки ($h_{до}/D$).
3. Оптимальна глибина закладення георешіток ($h_{до}/D$) залежить від співвідношення деформативних характеристик ($E_{гр}/E_{до}$). Причому більшому значенню співвідношення ($E_{гр}/E_{до}$) відповідає менше значення ($h_{до}/D$).
4. Ефективність роботи георешітки найбільше проявляється при великих деформаціях тобто ефект найбільший на більш «слабких» ґрунтах.
5. Ефект посилення залежить від міцності і деформативних характеристик георешіток.
6. Георешітки дозволяють розподілити тиск на ґрунтову основу на значну площу до двох діаметрів штамп. При цьому кут розподілу тиску збільшується в 1,5 рази.

Ці висновки демонструють значення отриманих результатів та їх вплив на проведення подальших досліджень.

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 I. Проектування. Частина II. Будівництво
5. Георешітки Tensar TriAx® (TX) URL: <https://www.tensarcorp.com/solutions/geogrids/triax>
6. DIN 18134:2012 Soil - Testing procedures and testing equipment. Plate load test
7. Кушнір О.В., Гамеляк І.П., Райковський В.Ф., Клімов Ю.М. Проектування конструкції дорожнього одягу для перевезення великогазових та великогабаритних вантажів дорогами України. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VIII(30), Issue: 244, 2020 Dec. С 53-58..
8. Батракова А.Г., Урдзик С.Н. Постановка задачі оцінки состояния нежесткой дорожной одежды. *Вісник ХНАДУ*: зб. наук. пр., 2020. Вип. 90. С. 125-134. (категорія «Б» <https://openscience.in.ua/ab-journals>, Index Copernicus).
9. Dahou, a L., Savenko, V., Hadji, R. Mathematical approach to estimation of the stabilizing effect of geosynthetic floats for the stability of hands. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2020. Вип. 107. С. 23-33..

SUBSTANTIATION OF THE ROAD CONSTRUCTION UNBOUND MATERIALS CALCULATION MODEL WITH GEOGRIDS STABILIZATION

Olena Usychenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Road Construction and Property Management Department, National Transport University, fbbk@ukr.net, tel. +380442803942, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 138, orcid.org/0000-0002-7482-8420

Pavlo Kharin, Uniprom LLC, Director of Design and Engineering, e-mail: kxarin@ukr.net, tel. +38 050 413 59 50, Ukraine, 03150, Kyiv, street Predslavynska 37, office 303, orcid.org/0000-0001-7858-0912

Anton Zarichniy, postgraduate student, Road Construction and Property Management Department of National Transport University, antohazarich@gmail.com, tel. +380442803942, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 138, orcid.org/0009-0004-5723-3443

Summary.

Based on the results of experimental studies conducted on different types of flexible pavement structures, the authors of the article examined the behavior of unbound material reinforced with geogrid. A series of static plate load tests were carried out, and the deformation modulus values of traditional and reinforced pavement structures were determined. The impact of the geogrid, installed at the base of the unbound layer of the pavement structure, on its deformation modulus was investigated. It was found that the use of geogrids significantly increases the equivalent deformation modulus of the pavement, depending on the thickness of the inert material layer and the deformation characteristics of the subgrade soil. The effectiveness of the reinforcement depends on the ratio of the deformation characteristics of the pavement and the subgrade soil, as well as the relative depth of the geogrid installation. The greatest effect is achieved on weak soils under large deformations. The results obtained are significant for further research and practical application of pavement reinforcement technology using geosynthetic materials.

Keywords: highway, pavement structure, biaxially oriented geogrid, geosynthetic reinforcement, plate load tests, deformation characteristics, loading, reinforcement coefficient, field experiment

References

1. DSTU 8888:2019 Rigid polymer geogrids triaxially oriented. General technical requirements [in Ukrainian].
2. GBN V.2.3-37641918-544:2014 Motor roads. Application of geosynthetic materials in road structures. Basic requirements[in Ukrainian].
3. GBN V.2.3-37641918-559:2019 Motor roads. Road clothes are not stiff. Designing [in Ukrainian].

4. DBN V.2.3-4:2015 Motor roads. Part I. Design. Part II. Construction [in Ukrainian].
5. Geogrids Tensar TriAx® (TX)
URL: <https://www.tensarcorp.com/solutions/geogrids/triax>
6. DIN 18134:2012 Soil - Testing procedures and testing equipment Plate load test
7. Kushnir O.V., Gamelyak I.P., Raikovsky V.F., Klimov Yu.M. Designing the design of road clothing for the transportation of heavy and oversized cargo on the roads of Ukraine. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VIII(30), Issue: 244, 2020 Dec. С 53-58. [in Ukrainian]
8. Batrakova A.G., Urdzyk S.N. Setting the task of assessing the condition of non-rigid road clothing. *Bulletin of the Khnadu: coll. of science pr.*, 2020. Issue 90. P. 125-134. (category "B" <https://openscience.in.ua/ab-journals>, Index Copernicus). [in Ukrainian]
9. Dahou,a L., Savenko, V., Hadji, R. Mathematical approach to estimation of the stabilizing effect of geosynthetic floats for the stability of hands. *Roads and road construction*. 2020. Issue 107. P. 23-33.

УДК 625.8:624.04
UDC 625.8:624.04

DOI:DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-292-301

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ДІЇ СТАТИЧНОГО ТА ДИНАМІЧНОГО
НАВАНТАЖЕНЬ НА ДОРОЖНІЙ ОДЯГ**

**METHODS ANALYSIS FOR DETERMINING THE EFFECT OF STATIC AND DYNAMIC
LOADS ON ROAD PAVEMENT**



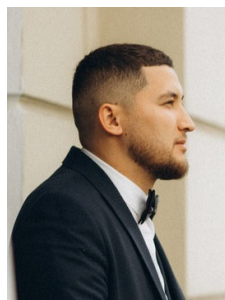
Харченко Анна Миколаївна, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: anna-x3@ukr.net, тел. +380442807909, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 323,

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



Чечуга Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: chchuga77@gmail.com, тел. +380662019442, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138,

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



Алімов Акім Абкерімович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: akim.alimov.1997@gmail.com, тел. +3809994793426, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206,

<https://orcid.org/0009-0006-5540-6173>

Анотація: Досліджено методи, які засновані на визначенні повних чи пружних деформацій при оцінюванні деформаційних характеристик дорожніх конструкцій. Визначено, що усі методи переважно відрізняються між собою способом випробовування та обладнанням; методичним підходом до оброблення отриманих даних. Зокрема, статичні методи поділяються на штампові та методи визначення статичного навантаження колесом автомобіля. Зазначено, що в останній час все більшої популярності набувають методи, що засновані на визначення динамічного навантаження на дорожній одяг, які поділяються на ударні та вібраційні. Наведено узагальнену послідовність виконання випробовувань за методами динамічного навантаження, що включає: визначення маршруту вимірювань, переміщення устаткування та встановлення його на *i*-ту точку вимірювань; підготовку устаткування до вимірювання; встановлення в робоче положення вимірювань; виконання випробувань; збору та обробки результатів вимірювань. Визначено, що для ефективного застосування цих методів

необхідно мати дані попередніх років та просторовий розподіл навантажень; інформацію про склад транспортного потоку, швидкісні режими на ділянці; геометричні параметри та характеристики технічного стану ділянки; характеристики обраного методу для вимірювання навантажень на дорожній одяг; визначені динамічні реакції окремих складових дорожньої конструкції. Зазначено, що на точність результатів вимірювань дії динамічного навантаження можуть впливати тип підвіски транспортного засобу, тип транспортного засобу, величина навантаження на транспортний засіб, швидкість автомобіля, технічний стан дорожнього одягу, зокрема, нерівність покриття та інші фактори. Узгодження результатів випробовування дорожнього одягу методами визначення дії статичного та динамічного навантаження потребує застосування спеціальних коефіцієнтів. Запропоновано за результатами огляду методів в подальшому дослідити фактори, що впливають на точність та достовірність отриманих за ними даних.

Ключові слова: статичне навантаження, динамічне навантаження, дорожнє покриття, методи, міцність

Вступ. Однією з важливих експлуатаційних характеристик автомобільних доріг є міцність дорожнього одягу. Цей показник визначає здатність дорожнього одягу сприймати вплив заданої кількості навантажень, які створюють транспортні засоби у визначених дорожніх умовах із заданим обмеженням інтенсивності накопичення залишкової деформації. В експлуатаційній фазі автомобільної дороги визначена міцність є одним з вагомих показників, які характеризують її транспортно-експлуатаційний стан. Відповідно загальної практики визначення міцності передуює оцінка дії статичного та динамічного навантажень на дорожній одяг, що може виконуватися різними методами. Метою даної публікації є узагальнення методів визначення дії статичного та динамічного навантажень на дорожній одяг як основи для визначення показника міцності.

Виклад основного матеріалу.

На сучасному етапі розвитку дорожнього господарства існує велика кількість методів визначення дії статичного та динамічного навантажень на дорожній одяг. Переважна більшість цих методів описана в роботах [1-2]. Умовно автором дослідження [1] усі методи було поділено на дві групи:

- методи, які засновані на визначенні повних чи пружних деформацій при оцінюванні деформаційних характеристик дорожніх конструкцій;
- методи, засновані на визначенні залишкових пластичних деформацій при оцінюванні стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії.

Проте, кожна група методів має свою підгрупу, а кожен окремий метод – власну специфіку застосовування. Зокрема, до методів, заснованих на визначенні повних чи пружних деформацій при оцінюванні деформаційних характеристик дорожніх конструкцій відносяться статичні, динамічні та квазістатичні групи методів (рис. 1).

Усі методи переважно відрізняються між собою двома аспектами:

- 1) способом випробовування та обладнанням;
- 2) методичним підходом до оброблення отриманих даних.

Основні вимоги до використання методів визначення дії статичного та динамічного навантажень на дорожній одяг окреслені у нормативно-технічних документах [3-7]. Зокрема, в ДСТУ Б В.2.3-42:2016 «Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу» визначені основні методи випробовувань, рекомендовані характеристики до обладнання та послідовність застосування на практиці, а в Р В.2.3-37641918-883:2017 «Рекомендації щодо оцінювання міцності та залишкового ресурсу нежорсткого дорожнього одягу за параметрами його деформації під дією динамічного навантаження» - наведено вимоги до засобів вимірювання, періоду та місця випробовувань. Визначено, що для здійснення вимірювань з метою оцінки міцності та залишкового ресурсу нежорсткого дорожнього одягу необхідно використовувати обладнання, що складається з підсистем навантаження, реєстрації чаші прогину та допоміжного обладнання [6].

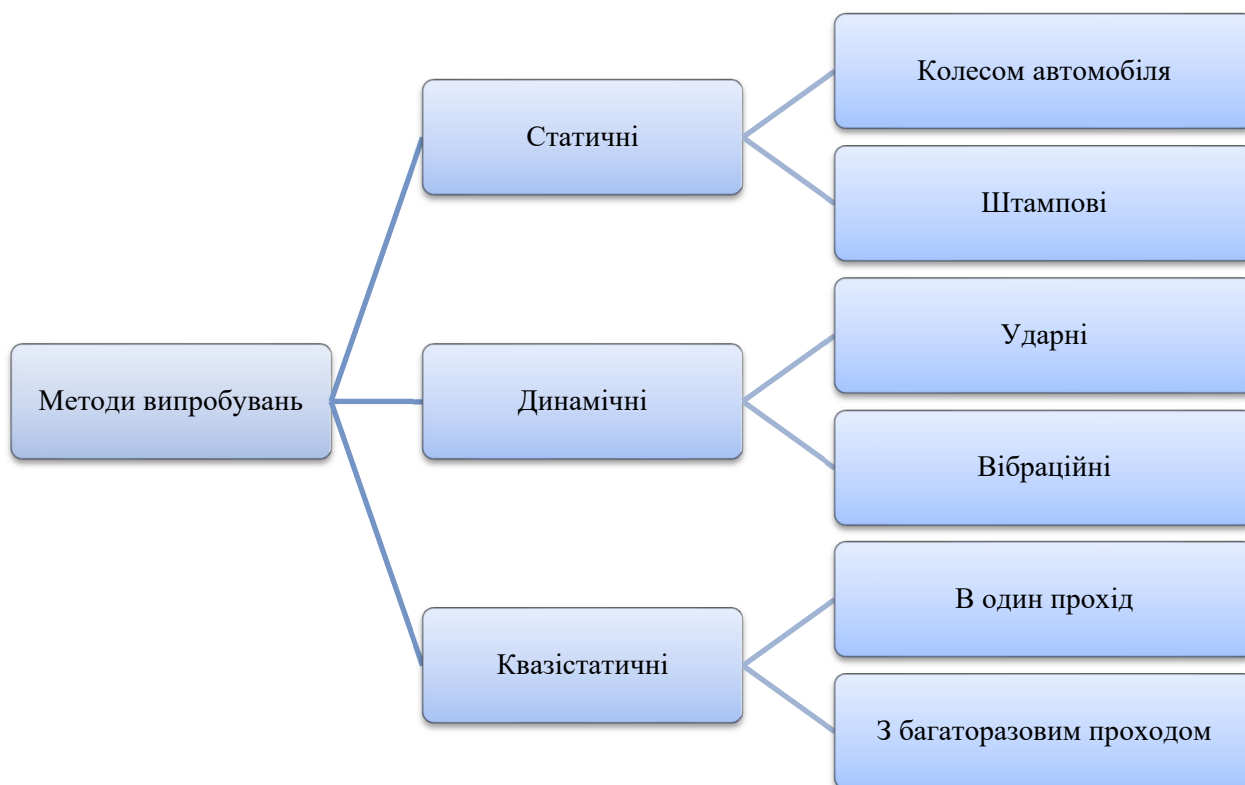


Рисунок 1 – Методи визначення дії статичного та динамічного навантажень на дорожній одяг, що засновані на визначенні повних чи пружних деформацій (адаптовано з [1]).

Figure 1 – Methods of determining the actions of static and dynamic loads on road pavement, based on the determination of total or elastic deformations (adapted from [1]).

Статичні поділяються на штампові методи та методи визначення статичного навантаження колесом автомобіля. Хоча статичні випробовування дають найбільш об'єктивні результати визначення деформаційних характеристик дорожніх конструкцій [1, 2], проте вони є доволі трудомісткими. Тому в останній час все більшої популярності набувають методи, що засновані на визначенні динамічного навантаження на дорожній одяг. Основний принцип роботи вібраційних методів полягає у визначенні параметрів деформативності дорожніх конструкцій за допомогою спеціальних датчиків та приладів під дією навантаження, яке створюється як правило напівприцепним обладнанням, що імітує проїзд транспортного засобу з певною швидкістю та визначеним навантаженням на вісь. Ударні методи випробовування дорожнього методу засновані на передачі динамічного зусилля через штамп.

Для виконання випробовувань за методами динамічного навантаження необхідно притримуватися наступних етапів (рис. 2):

1. Визначити маршрут вимірювань з встановленими точками $L \in \{1; i\}$.
2. Виконати переміщення устаткування та встановити його на i -ту точку вимірювань.
3. Підготовка устаткування до вимірювання: встановлення в робоче положення.
4. Виконання випробувань.
5. Перевірка досягнення кінця маршруту за алгоритмом вимірювань. У разі недосягнення кінця маршруту повторюються пункти 2-5.
6. Збір інформації за результатами випробувань.
7. Камеральна обробка результатів вимірювань.

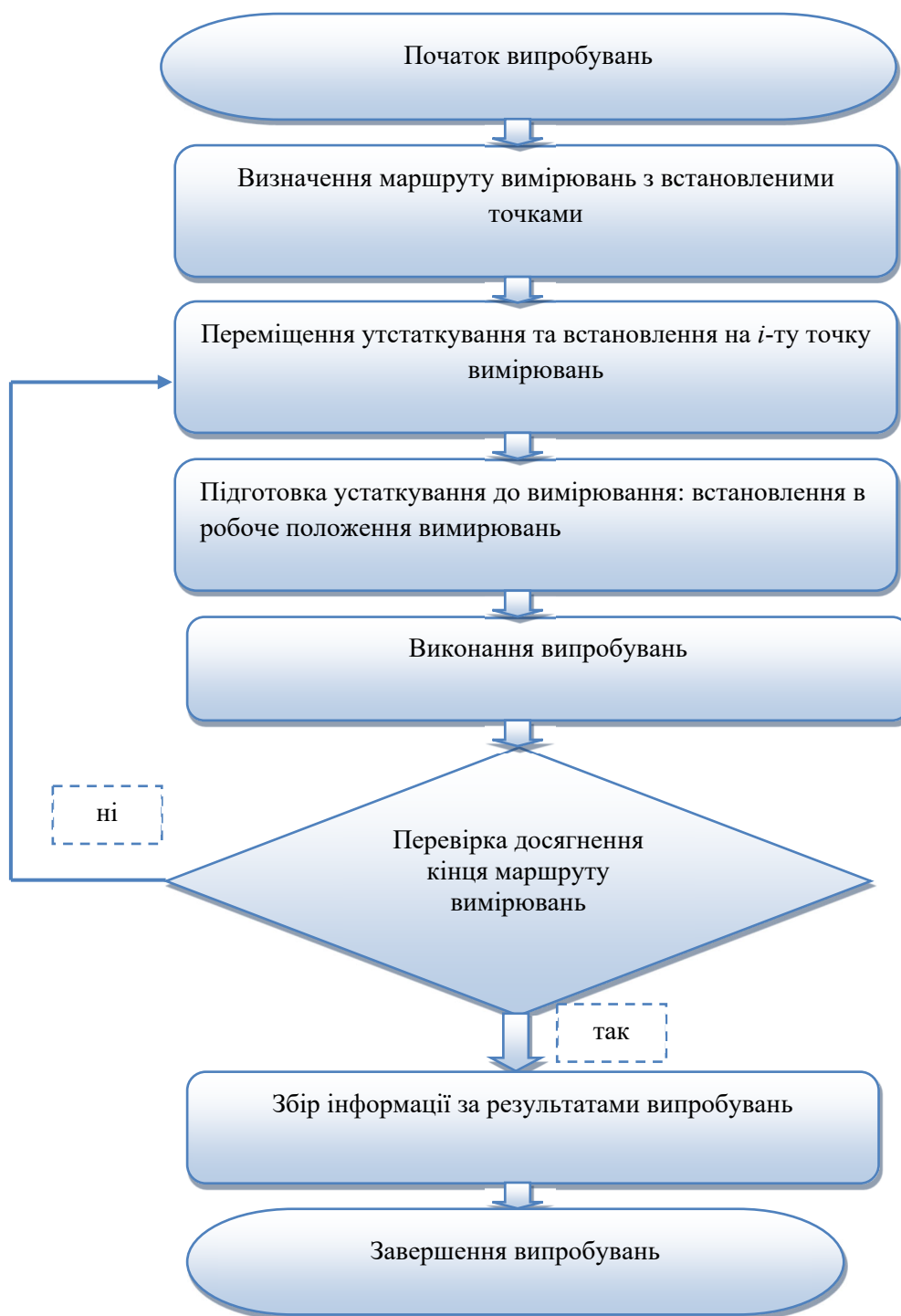


Рисунок 2 – Порядок проведення вимірювань динамічного модуля пружності
(адаптовано з [8])

Figure 2 – The procedure for measuring the dynamic modulus of elasticity (adapted from [8])

Відповідно до світового досвіду ефективна оцінка дії динамічного навантаження на дорожній одяг вимагає наявності наступної інформації [9-14] (рис. 3):

1. Дані попередніх років та просторовий розподіл навантажень; інформація про склад транспортного потоку, швидкісні режими на ділянці; геометричні параметри та характеристики технічного стану ділянки.
2. Характеристика обраного методу для вимірювання навантажень на дорожній одяг.
3. Визначення динамічної реакції окремих складових дорожньої конструкції.



Рисунок 3 - Інформаційна база методів оцінки дії динамічного навантаження на дорожній одяг
Figure 3 - Information base of methods for assessing the effect of dynamic load on road pavement

На точність результатів вимірювань дії динамічного навантаження можуть впливати [9] (рис. 4):

1. Тип підвіски транспортного засобу.
2. Тип транспортного засобу.
3. Навантаження (величина навантаження на транспортний засіб, а також його центр ваги впливають на динамічну реакцію).
4. Швидкість автомобіля.
5. Технічний стан дорожнього одягу, зокрема, нерівність покриття.
6. Інші фактори, такі як тиск у шинах і їх «неокруглість», тип конструкції дорожнього одягу, умови навколишнього середовища, сезон виконання вимірювань, температура покриття тощо.

Результатом польових досліджень дорожніх конструкцій за цими методами є визначені їх деформаційні властивості, що представляються у вигляді профілю деформації поверхні покриття або так званої чаші прогину.

Відповідно до діючих нормативних документів розрахункове навантаження приймається в залежності від технічної категорії автомобільної дороги. При цьому необхідно контролювати характеристики навантаження, а саме: час дії, максимальну амплітуду, форму зміни навантаження протягом часу дії [8].

В Україні вимірювання проводяться за методикою, викладеною в ДСТУ Б В.2.3- 42:2016 Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу [3]. При цьому граничні значення міцності приймаються на основі аналітичних розрахунків, а оцінка виконується в наступній послідовності (рис. 5) [3, 8]:

- детальне візуальне обстеження поверхні дорожнього покриття з оцінкою наявних дефектів та виділенням однорідних характерних ділянок;
- детальна оцінка міцності з використанням методу динамічного навантаження;
- камеральна обробка результатів вимірювань з введенням температурних компенсацій та приведенням значення модуля пружності до статичного.

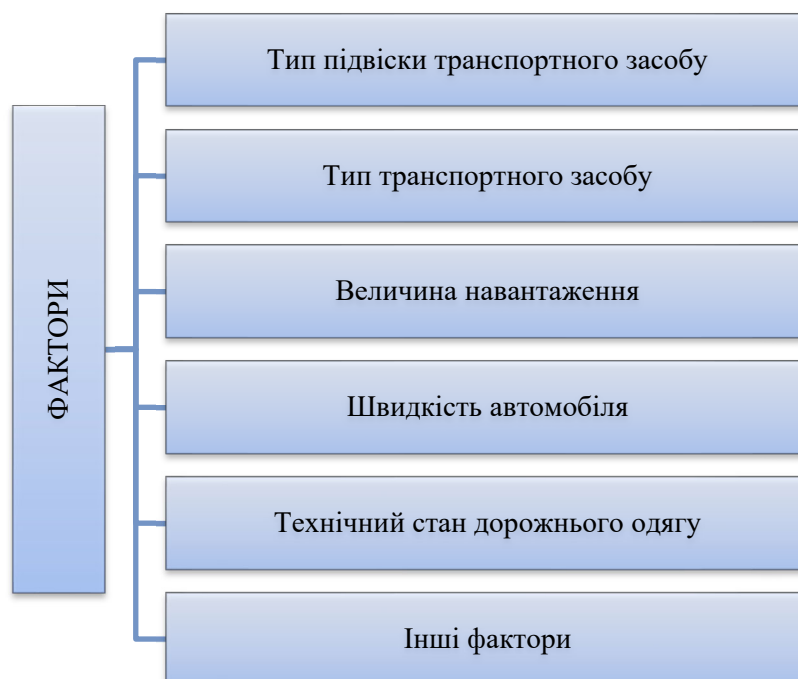


Рисунок 4 – Фактори, які впливають на точність результатів вимірювання
Figure 4 – Factors affecting the accuracy of measurement results



Рисунок 5 – Послідовність оцінки міцності дорожнього одягу
Figure 5 – The sequence of road pavement strength assessment

Для визначення достовірності результатів за наведеними методами в подальшому застосовують статистичні методи та методи математичного моделювання. В нормативно-технічній літературі при зіставленні результатів вимірювання за методами визначення дії статичного та динамічного навантажень на дорожній одяг зазвичай пропонуються спеціальні коефіцієнти або формули.

Зокрема, згідно ДСТУ Б В.2.3-42:2016 [3] значення загального модуля пружності $E_{\text{пр}}$ в поперечнику при випробовуваннях методом статичного навантаження визначається за формулою:

$$E_{\text{пр}} = \frac{K_q \cdot p \cdot D \cdot (1 - \mu^2)}{l_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

де K_q – коефіцієнт, що залежить від характеру передачі навантаження на покриття;

p – розрахунковий тиск на покриття, МПа;

D – діаметр штампа, м;

μ – коефіцієнт Пуассона;

$l_{\text{пр}}$ – пружний прогин поверхні дорожньої конструкції, м.

Згідно з п. 8.2 Рекомендацій Р В.2.3-37641918-883:2017 [6] загальний модуль пружності дорожньої конструкції за результатами динамічних випробовувань можна визначити за формулою:

$$E_{\text{пр}} = \frac{K_q \cdot p \cdot D \cdot (1 - \mu^2)}{D_0} \cdot K_{\text{пр}}(D_0, p), \quad (2)$$

де D_0 – вертикальна деформація в центрі навантаження, м;

$K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт приведення розрахованого значення загального модуля пружності за результатами динамічних випробовувань до значення загального модуля пружності при статичних випробовуваннях.

При цьому значення коефіцієнта $K_{\text{пр}}$ залежить від [6]: характеристик підсистем навантаження обладнання, що застосовується у випробуваннях; технічного стану шарів дорожньої конструкції. Функціонально значення коефіцієнта залежить від вертикальної деформації та тиску на покриття від тестового навантаження.

В закордонних дослідженнях [9] пропонується цей коефіцієнт визначати наступним чином:

$$K = \frac{Y_{dmax}}{Y_s}, \quad (3)$$

де Y_{dmax} – значення максимального динамічного навантаження;

Y_s – значення статичного навантаження.

Проте, в тих же дослідженнях зазначається, що таке грубе формулювання залежності не має прямого застосування до дорожніх конструкцій, які за своєю сутністю є багатошаровими системами та потребують більш реального дослідження в контексті взаємодії різних шарів. Зокрема, такі дослідження є громіздкими і їх доцільно виконувати методами комп'ютерного моделювання.

Висновки.

На підставі попереднього аналізу методів визначення дії статичного та динамічного навантаження на дорожній одяг можна зробити наступні висновки та визначити перспективи майбутніх досліджень:

1. Динамічну реакцію дорожнього одягу на дію навантаження транспортних засобів, що рухаються по автомобільній дорозі, можна визначити на основі різних різноманітних методів, які відрізняються переважно схемою застосування та обладнанням. Ці методи варіюються від дуже низького до дуже високого рівня складності.

2. Методи вимірювання дії динамічного навантаження на дорожній одяг можуть бути зосередженими (статичними) або розподіленими (динамічними).

3. На точність результатів вимірювань дії динамічного навантаження можуть впливати багато факторів, зокрема тип підвіски транспортного засобу, тип транспортного засобу, величина навантаження на транспортний засіб, швидкість автомобіля, технічний стан дорожнього одягу та інші фактори, такі як тиск у шинах і їх «неокруглість», тип конструкції дорожнього одягу, умови навколишнього середовища, сезон виконання вимірювань, температура покриття тощо.

4. Узгодження результатів випробовування дорожнього одягу методами визначення дії статичного та динамічного навантаження можливе за допомогою коефіцієнтів, які можуть бути визначені експериментально.

За результатами огляду методів пропонується провести подальші наукові дослідження в напрямку визначення точності та достовірності отриманих за ними даних.

Перелік посилань

1. Шуляк І.С. Удосконалення методів випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Київ: НТУ, 2018. – 245 с.
2. Papagiannakis, A. T., & Masad, E. A. (2024). Pavement design and materials. John Wiley & Sons. 542 p.
3. ДСТУ Б В.2.3-42:2016 Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу; Введ. 01.07.2016. – Київ, 2016. – 40 с.
4. СОУ 45.2-00018112-042:2009 Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів. – На заміну ГСТУ 218-02070915-102-2003; Введ. 01.08.09. – Київ: Укравтодор, 2009. – 46 с.
5. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.
6. Р В.2.3-37641918-883:2017 Рекомендації щодо оцінювання міцності та залишкового ресурсу нежорсткого дорожнього одягу за параметрами його деформації під дією динамічного навантаження; Введ. 18.01.2018. – Київ: 2018. – 21 с.
7. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. Введ. 18.01.2018. – Київ: 2004. – 176 с.
8. Звіт про надання послуг щодо оцінки загальної міцності існуючої дорожньої конструкції автомобільної дороги М-04 на ділянках: км 0+000 – км 2+500; км 216+384 – км 279+693 (окремими ділянками) в межах Дніпропетровської області. Київ: ДП «Дорцентр», 2021. – 153 с.
9. Sousa, J. B., Lysmer, J., Chen, S. S., & Monismith, C. L. (1988). Effects of dynamic loads on performance of asphalt concrete pavements. Transportation Research Record, (1207). URL: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1988/1207/1207-014.pdf>
10. Papagiannakis, T., Haas, R. C. G., Woodrooffe, J. H. F., & Leblanc, P. A. (1988). Effects of dynamic loads on flexible pavements. Transportation Research Record, (1207). URL: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1988/1207/1207-017.pdf>
11. Šiaudinis, G. 2006. Relationship of Road Pavement Deformation Moduli, Determined by Different Methods, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 1(2): 77–81.
12. Šiaudinis, G; Čygas, D. 2007. Determination of Seasonal Effects on the Structural Strength of Asphalt Pavements, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 2(2): 67–72.
13. Talvik, O; Aavik, A. 2009. Use of FWD Deflection Basin Parameters (SCI, BDI, BCI) for Pavement Condition Assessment, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 4(4): 196– 202. <http://dx.doi.org/10.3846/1822-427X.2009.4.196-202>
14. Vaitkus, A.; Čygas, D.; Laurinavičius, A. 2005. Analysis and Evaluation of Determination Methods of Non-Rigid Pavement Structures Deformation Modulus, in Proc. of the 6th International Conference “Environmental Engineering”: selected papers, vol. 2. Ed. by Čygas, D.; Froehner, K. D. May 26–27, 2005, Vilnius, Lithuania. Vilnius, Technika: 792–795.

METHODS ANALYSIS FOR DETERMINING THE EFFECT OF STATIC AND DYNAMIC LOADS ON ROAD PAVEMENT

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, Omelianovich Pavlenko str. 1, of. 323, <https://orcid.org/0000-0001-8166-6389>

Oleksand Chechuha, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: chechuga77@gmail.com, tel. +380662019442, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 138. <https://orcid.org/0000-0003-1643-6354>

Akim Alimov, National Transport University, Postgraduate student of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: akim.alimov.1997@gmail.com, tel. +3809994793426, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 206, <https://orcid.org/0009-0006-5540-6173>

Summary. The methods based on the determination of total or elastic deformations in the evaluation of the deformation characteristics of road structures have been studied. It was determined that all methods mainly differ among themselves in the way of testing and equipment; a methodical approach to processing the received data. In particular, static methods are divided into stamping and methods of determining the static load of a car wheel. It is noted that methods based on determining the dynamic load on road pavement, which are divided into shock and vibration, are becoming more and more popular recently. The generalized sequence of performing tests using dynamic load methods is presented, which includes: determining the measurement route, moving the equipment and setting it to the i-th measurement point; preparation of the equipment for measurement: installation in the working position of extinctions; execution of tests; collection and processing of measurement results. It was determined that for effective suction of these methods, it is necessary to have historical data and spatial distribution of loads; information on the composition of the traffic flow, speed regimes on the site; geometric parameters and characteristics of the technical condition of the site; characteristics of the chosen method for measuring loads on road pavement; dynamic reactions of individual components of the road structure are determined. It is noted that the accuracy of the results of dynamic load measurements can be affected by the type of vehicle suspension, vehicle type, amount of load on the vehicle, vehicle speed, technical condition of the road surface, in particular, the unevenness of the surface and other factors. Reconciliation of the results of testing road pavement by methods of determining the action of static and dynamic load requires the use of special coefficients. Based on the results of the review of the methods, it is proposed to further investigate the factors affecting the accuracy and reliability of the data obtained by them.

Keywords: static load, dynamic load, road pavement, methods, strength

References

1. Shuliak I.S. Udoskonalennia metodiv vyprobuvan dorozhnikh konstrukttsii pry diahnostuvanni avtomobilnykh dorih. – Kvalifikatsiina naukova pratsia na pravakh rukopysu. Kyiv: NTU, 2018. – 245 s. [in Ukrainian]
2. Papagiannakis, A. T., & Masad, E. A. (2024). Pavement design and materials. John Wiley & Sons. 542 p. [in English]
3. DSTU B V.2.3-42:2016 Avtomobilni dorohy. Metody vyznachennia deformatsiinykh kharakterystyk zemlianooho polotna ta dorozhnooho odiahu; Vved. 01.07.2016. – Kyiv, 2016. – 40 s. [in Ukrainian]

4. SOU 45.2-00018112-042:2009 Avtomobilni dorohy. Vyznachennia transportno-ekspluatatsiinykh pokaznykiv dorozhnikh odiahiv. – Na zaminu HSTU 218-02070915-102-2003; Vved. 01.08.09. – Kyiv: Ukravtodor, 2009. – 46 s. [in Ukrainian]
5. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo. [in Ukrainian]
6. R V.2.3-37641918-883:2017 Rekomendatsii shchodo otsiniuvannia mitsnosti ta zalyshkovoho resursu nezhorstkoho dorozhnoho odiahu za parametry yoho deformatsii pid diieiu dynamichnoho navantazhennia; Vved. 18.01.2018. – Kyiv: 2018. – 21 s. [in Ukrainian]
7. VBN V.2.3-218-186-2004 Sporudy transportu. Dorozhnii odiah nezhorstkoho typu. Vved. 18.01.2018. – Kyiv: 2004. – 176 s. [in Ukrainian]
8. Zvit pro nadannia posluh shchodo otsinky zahalnoi mitsnosti isnuiuchoi dorozhnoi konstruksii avtomoblnoi dorohy M-04 na diliankakh: km 0+000 – km 2+500; km 216+384 – km 279+693 (okremymy diliankaamy) v mezhakh Dnipropetrovskoi oblasti. Kyiv: DP «Dortsentr», 2021. – 153 s. [in Ukrainian]
9. Sousa, J. B., Lysmer, J., Chen, S. S., & Monismith, C. L. (1988). Effects of dynamic loads on performance of asphalt concrete pavements. *Transportation Research Record*, (1207). URL: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1988/1207/1207-014.pdf> [in English]
10. Papagiannakis, T., Haas, R. C. G., Woodrooffe, J. H. F., & Leblanc, P. A. (1988). Effects of dynamic loads on flexible pavements. *Transportation Research Record*, (1207). URL: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1988/1207/1207-017.pdf> [in English]
11. Šiaudinis, G. 2006. Relationship of Road Pavement Deformation Moduli, Determined by Different Methods, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 1(2): 77–81. [in English]
12. Šiaudinis, G; Čygas, D. 2007. Determination of Seasonal Effects on the Structural Strength of Asphalt Pavements, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2(2): 67–72. [in English]
13. Talvik, O; Aavik, A. 2009. Use of FWD Deflection Basin Parameters (SCI, BDI, BCI) for Pavement Condition Assessment, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 4(4): 196– 202. <http://dx.doi.org/10.3846/1822-427X.2009.4.196-202> [in English]
14. Vaitkus, A.; Čygas, D.; Laurinavičius, A. 2005. Analysis and Evaluation of Determination Methods of Non-Rigid Pavement Structures Deformation Modulus, in *Proc. of the 6th International Conference “Environmental Engineering”*: selected papers, vol. 2. Ed. by Čygas, D.; Froehner, K. D. May 26–27, 2005, Vilnius, Lithuania. Vilnius, Technika: 792–795. [in English]

УДК 624.21
UDC 624.21

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-302-308

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ІНЖЕНЕРНИХ ПРОТИПРОСІДНИХ ЗАХОДІВ, ЯКІ
ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ПРИ БУДІВНИЦТВІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ
НА ЛЕСОВИХ ҐРУНТАХ**

**RESEARCH AND ANALYSIS OF ENGINEERING ANTI-SUBSIDENCE MEASURES APPLIED IN
ROAD CONSTRUCTION ON LOESS SOILS**



***Юрчук Віталій Васильович**, аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: urcukvitalij6@ukr.net, тел. +380966611626*

<https://orcid.org/0009-0008-8596-5296>



***Петрович Володимир Володимирович**, аспірант кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: menor@ukr.net, тел. +380930932262*

<https://orcid.org/0009-0002-1513-2789>



***Петрович Ігор Володимирович**, аспірант кафедри системного проектування об'єктів транспортної інфраструктури та геодезії, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: igor19932008@gmail.com, тел. +380663837188*

<https://orcid.org/0009-0008-3551-3718>



***Чечуга Євген Сергійович**, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: Cecugazena2@gmail.com, тел. +3800937533521*

<https://orcid.org/0009-0008-6799-4843>

Анотація. Широке поширення лесових просідних структурно-нестійких при замочуванні ґрунтів на території нашої країни та недостатня забезпеченість нормативними документами щодо розрахунку проектування та будівництва автомобільних доріг на цих ґрунтах вимагає проведення наукових досліджень у цій галузі.

У зв'язку з цим нами ведуться дослідження щодо вивчення напружено-деформованого стану лесових основ насипів, зміни цього стану при зволоженні, а також характеру втрати стійкості земляного полотна при просіданні в його основі.

У цій роботі наводяться результати аналізу з вивчення напружено-деформованого стану основи насипу, закономірності протікання просідочного процесу в лесових основах високих насипів і характеру руйнування земляного полотна високих насипів. Даються деякі інженерні протипросідні заходи для застосування в дорожньому будівництві на лесових просідних ґрунтах.

Ключові слова: напружено-деформований стан лесових основ насипів, руйнування земляного полотна, інженерні протипросідні заходи, пілувато-глинисті ґрунти, лесові ґрунти, дренажні свердловини, ґрунтові палі, просідні властивості лесових ґрунтів.

Вступ. Розвиток економіки нашої країни вимагає від дорожніх проєктних, будівельних, експлуатаційних і науково-дослідних організацій підвищення стійкості та надійності земляного полотна. Важливість, складність та різноманіття факторів, від яких залежить стійкість земляного полотна, встановлює необхідність вести наукові дослідження в галузі його розрахунку, проєктування та спорудження.

Відомо, що причиною порушення стійкості земляного полотна на лесових ґрунтах може стати перерозподіл напружено-деформованого стану та виникнення великих за величиною і нерівномірних по характеру просідних деформацій їх основ при зволоженні.

У зв'язку з цим нами розглянуті деякі інженерні протипросідні заходи для застосування в дорожньому будівництві на лесових ґрунтах.

Аналіз результатів натурних експериментальних досліджень з вивчення лесових просідних ґрунтів в основі насипу у разі зволоження з кюветів з дренажними свердловинами. Рекомендуються конкретні інженерні протипосадкові заходи для застосування в дорожньому будівництві на лесових просідних ґрунтах.

Виклад основного матеріалу.

Просідні ґрунти. Просідними називають пілувато-глинисті ґрунти, які при замочуванні дають просідання (додаткову вертикальну деформацію). На відміну від звичайного осідання, просідання приводить до корінної зміни структури ґрунту. Просідання властива, насамперед, лесовим суглинкам і супіскам. Лише в окремих випадках вона може виникати в пілуватих пісках з високою структурною міцністю, а також у деяких техногенних ґрунтах (відходи промислового виробництва, насипні ґрунти й ін.) [1-5].

Значення лесових ґрунтів у будівельній практиці важко переоцінити. Займаючи величезні площі (як правило, у районах найбільш обжитих і густонаселених), вони нерідко служать причиною неприпустимих деформацій будівель і споруд. У багатьох випадках це пов'язано з недостатнім врахуванням їх специфічних особливостей і в першу чергу – просідання.

Лесові (нім. loss – пухкий, незв'язний) ґрунти мають широке поширення на півдні України. Серед лесових відкладень розрізняють типовий лес, переважно еолового (вітрового) походження, та лесоподібні суглинки (перевідкладені первинні утворення). Різку границю між ними проводити важко, тому в інженерно-геологічних цілях їх звичайно поєднують єдиним терміном „лесові породи” або „лесові ґрунти” [1-5].

Досвід будівництва і експлуатації автомобільних доріг на лесових просідних ґрунтах диктує необхідність застосовувати протипросідні заходи, що забезпечують експлуатаційну придатність цих доріг шляхом виключення неприпустимих просідних деформацій основ земляного полотна. У процесі освоєння територій, складених просідними ґрунтами, при різних видах будівництва, у тому числі і автодорожнього, були розроблені різні протипросідні заходи. Ці заходи слід розділяти на водозахисні і на будівельні властивості, що їх змінюють, у необхідному напрямку.

Визначальною умовою при виборі протипросідних заходів при будівництві автомобільних доріг є тип ґрунтових умов щодо просідання, ймовірність замочування лесових ґрунтів на всю величину товщі просідання або частини останньої і можлива величина просідання основи. Вибір протипросідних заходів залежить також від величини початкового тиску просідання, від категорії дороги, висоти насипу і типу покриття.

Результати досліджень ефективності деяких інженерних протиосадових заходів дозволяють рекомендувати наступні з них, які виправдали себе в процесі експлуатації:

- витрамбування кюветів;
- влаштування кюветів у попередньо ущільнених ґрунтах;
- віддалення кюветів від земляного полотна;
- закріплення основ земляного полотна та кюветів хімічними реагентами або іншим способом;
- ущільнення лесових просідних ґрунтів земляного полотна важкими трамбовками (котками);
- ущільнення ґрунтовими палями;
- регулювання поверхневого стоку;
- зведення земляного полотна з дренажними конструкціями.

Витрамбування кюветів. Кювети відіграють важливу роль у запобіганні основ земляного полотна від замочування атмосферними та іншими поверхневими водами. При влаштуванні кюветів повинна виключатись інфільтрація веді з останньої через стінки та дно. Цьому сприяє влаштування кюветів шляхом їх витрамбовування. Швидкість витрамбування кюветів залежить від пористості та вологості ґрунту, висоти скидання і ваги застосовуваного трамбування. Залежно від форми останньої можна витрамбовувати кювети прямокутного або трапецієподібного поперечного перерізу. Технологія витрамбовування кюветів не відрізняється від витрамбовування котлованів.

При витрамбовуванні кюветів ущільненням ґрунту повинні бути усунені їх просідні властивості в дні і стінках кюветів, для чого питома вага сухого ґрунту повинна бути не менше від 16,5 до 17,0 кН/м³. Витрамбовуванням кюветів досягається також водонепроникність ґрунтів по їх периметру. Вертикальна та горизонтальна фільтрація в лесових ґрунтах після витрамбовування кюветів сильно знижується.

Влаштування кюветів у попередньо ущільнених ґрунтах. Завданням цього протипросідного заходу так само є виключення інфільтрації поверхневих вод в основі земляного полотна. При цьому усуваються просідні властивості і в основах кюветів. Для будівництва таких кюветів на їхній трасі просідні ґрунти ущільнюються важкими трамбівками на 0,3-0,5 м нижче за проєктну глибину дна цих кюветів. Вимога виконується до усунення просідних властивостей лесових ґрунтів. Після закінчення ущільнення ґрунтів звичайними землерийними механізмами виконується влаштування кюветів. Потім проводиться відсіпання земляного полотна. Будівництво кюветів може бути виконане і канавокопачем.

Віддалення кюветів від земляного полотна. Цим заходом зменшується або виключається замочування основи земляного полотна і всієї товщі ґрунтів, що залягають нижче полотна інфільтратом вод, які потрапляють в кювети.

Експериментальним шляхом було встановлено, що при віддаленні кюветів на 2-5 м від межі насипу забезпечуються умови, що виключають проникнення води з кюветів в основу земляного полотна. Стік поверхневих вод у віддалені кювети здійснюється створенням відповідних ухилів рельєфу.

Закріплення основ земляного полотна та кюветів хімічними реагентами або іншими способами. У деяких випадках виправдує себе метод закріплення основи земляного полотна та кюветів реагентом (як приклад), що є відходами виробництва нафтопереробної і нафтохімічної промисловості. Цей реагент характеризується в'язкими властивостями. Його щільність $1,08-1,14 \text{ г/см}^3$, кінематична в'язкість у межах 12-16 Сантисток с, час гелеутворення 5-6 годин, Рн більше 7, розчиняється в нафтопродуктах, не розчинний у воді.

Обробка основи земляного полотна, укосів та дна кюветів здійснювалася за допомогою ін'єкторів. Після обробки лесових просідних ґрунтів згаданим реагентом, що є малов'язкою, гідрофобною рідиною, ці ґрунти сильно знижували свої фільтраційні властивості, а просідність цих ґрунтів усувалася. Не виключається можливість для обробки основи земляного полотна і кюветів використовувати інші методи, що усувають просідні властивості лесових ґрунтів і ефективно знижують їх фільтраційні показники. До таких методів відносяться силікатизація ґрунтів, їх обробка рідким склом або іншими хімічними реагентами, що зарекомендували себе. У ряді випадків для цих цілей може бути виконано закріплення ґрунтів їх термічною обробкою або енергією вибуху.

Наведеними вище протиосідними заходами, не вичерпується перелік подібних заходів, які можуть застосовуватися для будівництва автомобільних доріг на лесових ґрунтах.

Ущільнення лесових просідних ґрунтів земляного полотна важкими трамбуванням. Цей метод усунення просідних властивостей лесових порід досить поширений і добре відомий. Тому немає потреби його описувати. Рекомендується його застосування для лесових ґрунтів з низькими значеннями (до $0,15 \text{ МПа}$) початкового просідного тиску і мають щільність менше $14,5 \text{ кН/м}^3$. Ущільнення просідних ґрунтів слід виконувати до щільності при якій просідочні деформації ґрунту виключаються. Практично це зазвичай досягається при питомій вазі сухого ґрунту не менше ніж від $16,5$ до $17,0 \text{ кН/м}^3$. Цей метод рекомендується застосовувати для будівництва автомобільних доріг I, II і III категорій з досконалими дорожніми покриттями для ґрунтових умов I типу за просідністю і особливо при товщині деформованої зони менше 2 м.

При ґрунтових умовах II типу по просідку ущільнення основи земляного полотна важким трамбуванням може здійснюватися в комбінаціях з іншими протипросідними заходами (ґрунтовими палями, попереднім замочуванням, захистом основи від зволоження і т.д.).

Ущільнення ґрунтовими палями. Влаштування ґрунтових паль є надійним методом усунення просідних властивостей просідних товщ значної потужності, що залягають в основах земляного полотна. Ґрунтові палі влаштовують шляхом проходження свердловин і заповнення їх тіла місцевим ущільненим ґрунтом. Для ефективного ущільнення просідної товщі створенням навколо свердловин ущільнених зон, проходку свердловин доцільно здійснювати ударним способом, у тому числі з використанням інвентарної палі з розширенням у вістря. Крім усунення просідних властивостей цей метод дозволяє створити практично водонепроникний екран, що виключає фільтрацію води в основу земляного полотна. Ширина зони ущільнення визначається виходячи з необхідності розмістити на ній земляне полотно і кювети.

Протипросідний захід, що описується, рекомендується застосовувати для будівництва автомобільних доріг високих категорій з капітальним покриттям.

Регулювання поверхневого стоку. Регулювання поверхневого стоку є одним з рекомендованих протипросідних заходів, що захищає основу земляного полотна від замочування. Він включає в себе влаштування мережі каналів, у тому числі і нагірних, забиття усадкових тріщин поблизу траси автодороги, планування притрасової смуги, фітомеліорацію.

Канави є найпростішим дренажем відкритого типу та їх призначенням збирати і відводити атмосферні води. У ряді випадків канави можуть бути замінені лотками, особливо при крутому рельєфі, де вода в канавах може розмивати їх укоси та дно.

Укріплення канав може виконуватись засівом трав, щебенуванням дна, мощенням, бетоном та ін.

Таке ж укріплення може виконуватися і для кюветів.

Планування притрасової смуги для регулювання поверхневого стоку проводяться для ліквідації місць застою води. Планування сприяє зменшенню обводнення просідної товщі. Вона здійснюється засипкою з трамбуванням западин, ям, промоїн та інших понижень у мікрорельєфі притрасової смуги. Для засипання увігнутих форм мікрорельєфу використовуються місцеві ґрунти. Випуклі форми мікрорельєфу під час планування підлягають зрізуванню, для створення сприятливих ухилів.

При регулюванні поверхневого стоку часто необхідне забиття усадкових і просідання тріщин в межах притрасової смуги шириною 20-30 м по обидва боки дороги. Усадкові тріщини широко поширені в зонах посушливих територій. Тріщини забиваються зволженим лісоподібним суглинком або місцевою рідкою глиною, з наступним трамбуванням із зволоженням. Вузькі тріщини усадки можуть ліквідуватися легким зволоженням.

Для зменшення інфільтрації поверхневих вод на притрасовій смузі автомобільної дороги виконується фітомеліорація. Найбільш ефективним її різновидом є посів багаторічних трав з густою кореневою системою, що дає щільний дерновий покрив. До таких трав належать конюшина, пирій, колосок, люцерна та інші. Густий трав'яний покрив значно зменшує інфільтрацію в ґрунт поверхневих вод, він же перешкоджає розвитку тріщин від просідання.

Зведення земляного полотна з дренажними пристроями. Земляне полотно з дренажними пристроями можна рекомендувати при будівництві автомобільних доріг у лесових ґрунтах з потужністю до 20 м. і за гідрогеологічних умов (реальних або прогнозованих), коли близькість рівня підземних вод до основи земляного полотна може, у разі його підйому, замочити всю або частину товщі просідання і зумовити просідні деформації у зоні впливу автомобільних доріг.

Залежно від гідрогеологічних та морфологічних умов дренаж може бути горизонтальним або вертикальним. Не виключається при необхідності влаштування комбінованого вертикального дренажу з горизонтальним.

Найпростішим видом дренажу є влаштування кюветів уздовж земляного полотна. У деяких умовах (високий рівень підземних вод, глибокі кювети) кювети дренують підземні води. Застосування дренажного пристрою раціонально при проходженні траси автомобільних доріг мокрим косогором. Як правило, дренажні пристрої використовуються на обмежених ділянках траси автомобільних доріг.

Вертикальний дренажний пристрій виконується вертикальними дренами, що прорізають всю товщу просідного шару, прокладеними у земляному полотні.

Вертикальні дрени влаштовують забиванням інвентарних паль або віброзануренням спеціальним обсадною трубою, яку заповнюють гравієм або щебенем, а потім витягують, залишаючи стовп щебеню в лесових ґрунтах.

Найбільш зручно застосовувати спосіб занурення обсадної труби. При зануренні кінець труби закривають пробкою зі свіжого бетону, яка, доходячи до проектної позначки, легким посланням залишається на дні кожної дрени. Обсадні труби після заповнення щебенем або гравієм виймаються.

При влаштуванні вертикальних дрен на глибину до 12 м застосовують екскаватори Е-652 та Е-801 зі стрілою 18 м. При більшій глибині використовують крани типів СКГ-25 та СКГ-40. Направляюча і упорна вежа фіксує стрілу в робочому положенні і спрямовує рух віброзанурювача з обсадною трубою. Щебінь або гравій завантажують через вирву за допомогою малого екскаватора (Е-153) з об'ємом ковша 0,15 м³ або навантажувача.

До складу ланки для влаштування дренажів, крім цих машин, входять електростанція для живлення вібратора і пересувна бурова установка на автомобілі для влаштування свердловин віброзануренням. Діаметр вертикальних дренажів від 35 до 60 см, відстань між ними від 2 до 4 м. Дренажі розташовуються в шаховому порядку. Змінюючи відстань між дренажами, можна створити ущільнену ділянку основи.

При влаштуванні вертикальних дренажів шляхом продавлювання ґрунту відбувається його ущільнення навколо свердловини.

Пристрій дренажу може бути влаштовано на водопроникній і водонепроникній основі. Враховуючи можливість замулення вертикальних дренажів, при їх розрахунку, дренажі можуть бути прийняті переривчастими, частково-переривчастими або стрічковими.

Висновки. За результатами проведених досліджень, зроблений аналіз інженерних протиросідних заходів, які застосовуються при будівництві автомобільних доріг на лесових ґрунтах. При цьому визначальною умовою при виборі протиросідних заходів при будівництві автомобільних доріг є тип ґрунтових умов щодо просідання, ймовірність замочування лесових ґрунтів на всю величину товщі просідання або частини останньої та можлива величина просідання основи. Вибір протиросідних заходів залежить також від величини початкового тиску на просідний ґрунт, від категорії дороги, висоти насипу і типу покриття.

Результати досліджень ефективності деяких інженерних протиосадкових заходів дозволяють рекомендувати розглянуті в роботі, які виправдали себе в процесі експлуатації.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ Будівництво.
2. ДБН В.1.1-25-2009. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення.
3. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95) Ґрунти. Класифікація.
4. ДСТУ Б В.2.1-23:2009 Ґрунти. Методи лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації.
5. Основи та фундаменти. Навчальний посібник для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» / І.О.Парфентьєва, О.В. Верешко, Д.А. Гусачук – Луцьк: ЛНТУ, 2017. – 296с.
6. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти: Підручник / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев, О.О. Петраков, В.Б. Швець, О.В. Шкода, С.В. Біда, Ю.Л. Винников. –Полтава: ПолтНТУ, 2004. –568 с.

RESEARCH AND ANALYSIS OF ENGINEERING ANTI-SUBSIDENCE MEASURES APPLIED IN ROAD CONSTRUCTION ON LOESS SOILS

Vitaly Yurchuk, postgraduate student of the International Transportation and Customs Control Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: ureukvitalij6@gmail.com, tel.+380966611626, <https://orcid.org/0009-0008-8596-5296>.

Volodymyr Petrovych, postgraduate student of the Road Construction Materials and Chemistry Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: menor@ukr.net, tel.+380930932262, <https://orcid.org/0009-0002-1513-2789>.

Ihor Petrovych, postgraduate student of the System Design of Transport Infrastructure and Geodesy Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: igor19932008@gmail.com, tel.+380663837188, <https://orcid.org/0009-0008-3551-3718>.

Yevhen Chechuha, postgraduate student, Road Construction and Property Management Department of National Transport University, e-mail: Cecugazena2@gmail.com, tel.+3800937533521, <https://orcid.org/0009-0008-6799-4843>.

Abstract. The widespread distribution of loess collapsible and structurally unstable soils when saturated in our country, along with insufficient regulatory documentation for the design and construction of highways on these soils, necessitates scientific research in this field.

In this context, we are conducting studies to investigate the stress-strain state of loess embankment bases, the changes in this state upon moisture exposure, and the nature of stability loss of the roadbed during the subsidence of its base.

This paper presents the analysis results of the stress-strain state of embankment bases, the subsidence patterns in loess bases of high embankments, and the nature of roadbed destruction in high embankments. Some engineering anti-subsidence measures for use in road construction on loess collapsible soils are also provided.

Key words: stress-deformation of forest foundations in bulk, ruining of the subgrade, engineering anti-subsidence approaches, silt-clay soils, forest soils drained by boreholes, soil fires, subsidence of forest authorities Ground.

References

1. DBN V.2.3-4:2015. Avtomobil'ni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya . Chastyna II Budivnytstvo.
2. DBN V.1.1-25-2009. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiynykh vplyviv, vid pozhezhi inzhenernyy zakhyst terytoriy ta sporud vid pidtoplennya ta zatoplennya.
3. DSTU B V.2.1-2-96 (HOST 25100-95) Hrunty. Klasyfikatsiya.
4. DSTU B V.2.1-23:2009 Hrunty. Metody laboratornoho vyznachennya koefitsiyenta fil'tratsiyi.
5. Osnovy ta fundamenti. Navchal'nyy posibnyk dlya studentiv spetsial'nosti 192 «Budivnytstvo ta tsyvil'na inzheneriya / I.O.Parfent'yeva, O.V. Vereshko, D.A. Husachuk – Luts'k: LNTU, 2017.– 296s.
6. Inzhenerna heolohiya. Mekhanika hruntyv, osnovy i fundamenti: Pidruchnyk / M.L. Zotsenko, V.I. Kovalenko, A.V. Yakovlyev, O.O. Petrakov, V.B. Shvets', O.V. Shkoda, S.V. Bida, YU.L. Vynnykov. –Poltava: PoltNTU, 2004. 568 s

УТОЧНЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ АВТОМОБІЛЯ В ЇЗДОВОМУ ЦИКЛІ З
УРАХУВАННЯМ ПРОГРІВУ КАТАЛІТИЧНОГО НЕЙТРАЛІЗАТОРАSPECIFICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF VEHICLE MOTION IN THE
DRIVING CYCLE TAKING INTO ACCOUNT THE HEATING OF THE CATALYTIC
NEUTRALIZER

Добровольський Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, e-mail: dobrovolskiy@ukr.net, тел. +380632977210

<https://orcid.org/0000-0003-0048-1388>



Садовник Іван Дмитрович, аспірант кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, e-mail: toyota-kiev@ukr.net, тел. +38067-925-99-53

<https://orcid.org/0009-0009-4366-6236>

Анотація. Їздовий цикл - це сукупність регламентованих режимів руху автотранспортних засобів. Їздовий стандартизований цикл визначається середньостатистичним аналізом характеру руху автомобіля в конкретних умовах експлуатації. Їздові цикли створюються для оцінки ефективності роботи автомобіля в конкретних умовах експлуатації. Параметри і режими управління систем автомобіля вибирають за наслідками руху по їздовому циклу. Показники фаз циклів, тобто час, максимальна швидкість, середня швидкість, максимальне прискорення/уповільнення і середнє прискорення/уповільнення в різних циклах різні. Режим руху – визначається головним чином швидкістю і її зміною за елементами їздового циклу: розгону, усталеного руху, уповільнення, гальмування, зупинки, відновлення руху. Визначення енергетичних, економічних та екологічних показників автомобіля в режимах їздового циклу можливе за допомогою математичної моделі, яка описує ці режими. Відомо, що режими руху автомобіля в міському циклі мають неусталений характер. Під час зміни режимів роботи автомобіля відбувається постійна зміна витрат палива та викидів шкідливих речовин. Найбільше викидів шкідливих речовин надходить в навколишнє середовище під час прогріву двигуна, тому важливим є зменшення часу прогріву двигуна та пришвидшення прогріву каталітичного нейтралізатора. Стаття присвячена уточненню математичної моделі руху автомобіля в їздовому циклі з урахуванням прогріву каталітичного нейтралізатора.

Ключові слова. Двигун внутрішнього згорання, транспортний засіб, їздовий цикл, математична модель, викиди шкідливих речовин, паливна економічність, режими роботи, каталітичний нейтралізатор.

Вступ. Основними вимогами, що пред'являються до двигунів внутрішнього згорання в сучасних умовах, є вимоги до їх паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів. Для оцінки двигунів транспортних засобів розроблені різні випробувальні стаціонарні їздові цикли, які відображають розподіли режимів роботи двигунів в реальних умовах їх експлуатації.

Викладення основного матеріалу. Оцінка токсичності відпрацьованих газів є важливою складовою охорони навколишнього середовища і здоров'я людини. Правила оцінки токсичності відпрацьованих газів і картерних газів, єдині для держав Європи, були введені Європейською Економічною комісією ООН у 1970 р. [1]. В Україні на сьогоднішній день діють значна кількість Правил ЄЕК ООН що встановлюють викиди шкідливих речовин з відпрацьованих газів.

Для проведення досліджень була уточнена математична модель для оцінювання показників двигуна та транспортного засобу обладнаного системою нейтралізації відпрацьованих газів. Ця математична модель використовується для оцінювання витрати палива та викидів шкідливих речовин автомобіля під час його руху в режимах їздового циклу згідно Правил ЄЕК ООН № 83-05 з використанням зазначеної нейтралізації відпрацьованих газів. Основні технічні параметри автомобіля Scoda Fabia, що використовуються в математичній моделі представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні технічні параметри автомобіля Scoda Fabia з двигуном VW BBY
Table 1 – The main technical parameters of the Skoda Fabia car with a VW BBY engine

Найменування параметра	Значення
Маса автомобіля з водієм, кг	1100
Максимальна швидкість, км/год	167
Вид палива	бензин
Число / розташування циліндрів двигуна	4 / рядне
Літраж двигуна, л	1,39
Діаметр циліндра / хід поршня, мм	76,5 / 75,6
Ступінь стискання	10,5
Потужність двигуна, кВт / частота обертання колінчастого вала, хв ⁻¹	55 / 5000
Крутний момент, Н·м / частота обертання колінчастого вала, хв ⁻¹	126 / 3800
Число впускних / випускних клапанів на циліндр	2 / 2
Система нейтралізації відпрацьованих газів	трикомпонентний каталітичний нейтралізатор
Напруга електричного генератора, В / сила струму, А	14 / 70
Передаточні числа коробки передач	3,455
	2,095
	1,387
	1,025
	0,813
Передаточне число головної передачі	3,882
Радіус кочення колеса, м	0,265

Їздовий цикл (рис. 1) використовується для визначення викидів ШПР і для оцінки паливної економічності легкових автомобілів та вантажних автомобілів малої вантажопідйомності. Це

відповідає об'єкту експериментальних і розрахункових досліджень – автомобілю Scoda Fabia, який відповідно до таблиці 1 відноситься до легкових транспортних засобів категорії M1. Цикл складається з чотирьох елементарних міських циклів протяжністю 4,052 км за час 780 с і максимальною швидкістю 50 км/год та магістрального циклу протяжністю 6,955 км за час 400 с і максимальною швидкістю 120 км/год.

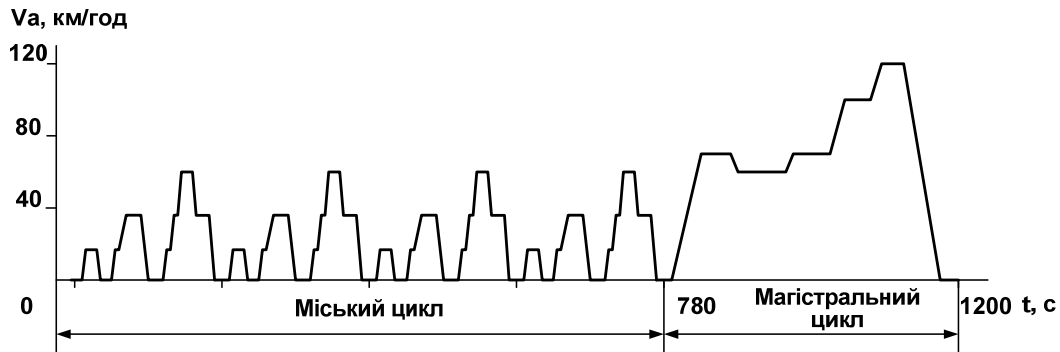


Рисунок 1 – Їздовий цикл згідно Правил ЄЕК ООН № 83-05 [2]
Figure 1 – Driving cycle according to the UNECE Regulations No. 83-05 [2]

Для використання математичної моделі двигуна, обладнаного трикомпонентним нейтралізатором відпрацьованих газів в моделюванні руху автомобіля в циклі потрібно визначити необхідний крутний момент двигуна M_e і частоту обертання колінчастого вала n_d , які забезпечують відповідні швидкість V_a і прискорення j_a автомобіля.

Необхідний крутний момент двигуна визначається із залежності [2, 3], $H \cdot m$:

$$M_e = \frac{[M_a \cdot g \cdot \psi + M_a \cdot j_a \cdot (1,04 + 0,04 \cdot U_i^2) + C_x \cdot \rho_n \cdot F \cdot \frac{V_a^2}{2}] \cdot r_d}{U_i \cdot U_0 \cdot \eta_{mp}} \quad (1)$$

де M_a - маса автомобіля з водієм, кг;

g - прискорення вільного падіння, m/c^2 ;

ψ - коефіцієнт дорожнього опору;

j_a - прискорення автомобіля, m/c^2 ;

U_i - передаточне число i -тої передачі коробки передач;

U_0 - передаточне число головної передачі;

C_x - коефіцієнт аеродинамічного опору;

$\rho_n = 1,23$ - густина повітря при нормальному атмосферному тиску і температурі 15 °C, kg/m^3 ;

F - площа фронтального перерізу автомобіля, m^2 ;

V_a - швидкість автомобіля, m/c ;

r_d - динамічний радіус колеса, m ;

η_{mp} - к.к.д. трансмісії.

Частота обертання колінчастого вала, хв^{-1} :

$$n_{\partial} = \frac{30 \cdot U_i \cdot U_0 \cdot V_a}{\pi \cdot r_{\partial}} \quad (2)$$

З використанням формул (1) і (2) визначено необхідний крутний момент і частоту обертання колінчастого вала двигуна в режимах їздового циклу. Результати розрахунків необхідного крутного моменту і частоти обертання колінчастого вала двигуна та характеристики режимів їздового циклу для міської і магістральної частин наведено в табл. 2 і 3 відповідно.

Таблиця 2 – Характеристика елементарного міського їздового циклу [4]

Table 2 – Characteristics of the elementary urban driving cycle [4]

№ п/п	Назва режиму	Номер передачі коробки передач	V_a , км/год	j_a , м/с^2	M_e , $\text{Н}\cdot\text{м}$	n_{∂} , хв^{-1}	t , с
1	Холостий хід	-	0	0	0	800	11
2	Прискорення	1	0 – 15	1,04	42,8 – 43	800 – 2014	4
3	Постійна швидкість	1	15	0	4,9	2014	8
4	Сповільнення	1	15 – 10	-0,69	-	2014 – 1343	2
5	Сповільнення з виключеним зчепленням	-	10 – 0	-0,92	0	800	3
6	Холостий хід	-	0	0	0	800	21
7	Прискорення	1	0 – 15	0,83	35,2 – 35,3	800 – 2014	5
8	Переключення передачі	-	15	0	0	800	2
9	Прискорення	2	15 – 32	0,94	53,5 – 54,4	1221 – 2606	5
10	Постійна швидкість	2	32	0	8,85	2606	24
11	Сповільнення	2	32 – 10	-0,75	-	2606 – 814	8
12	Сповільнення з виключеним зчепленням	-	10 – 0	-0,92	0	800	3
13	Холостий хід	-	0	0	0	800	21
14	Прискорення	1	0 – 15	0,83	35,2	800 – 2014	5
15	Переключення передачі	-	15	0	0	800	2
16	Прискорення	2	15 – 35	0,62	38,1 – 39,1	1221 – 2850	9
17	Переключення передачі	-	35	0	0	800	2
18	Прискорення	3	35 – 50	0,52	48,6 – 50,6	1887 – 2696	8
19	Постійна швидкість	3	50	0	15,6	2696	12
20	Сповільнення	3	50 – 35	-0,52	-	2696 – 1887	8
21	Постійна швидкість	3	35	0	13,7	1887	13
22	Переключення передачі	-	35	0	0	800	2
23	Сповільнення	2	35 – 10	-0,99	-	2850 – 814	7
24	Сповільнення з виключеним зчепленням	-	10 – 0	-0,92	0	800	3
25	Холостий хід	-	0	0	0	800	7

Алгоритм математичної моделі для дослідження паливної економічності та екологічних показників транспортного засобу під час руху в їздовому циклі розроблений на кафедрі двигунів та теплотехніки.

Даний алгоритм було розроблено на основі алгоритму моделювання руху транспортного засобу в їздовому циклі [5] шляхом врахування параметрів процесів, що відбуваються в каталітичному нейтралізаторі відпрацьованих газів.

Таблиця 3 – Характеристика магістрального їздового циклу [4]
Table 3 – Characteristics of the main driving cycle [4]

№ п/п	Назва режиму	Номер передачі коробки передач	V_a , км/год	j_a , м/с ²	M_e , Н·м	n_d , хв ⁻¹	t , с
1	Холостий хід	-	0	0	0	800	20
2	Прискорення	1	0 – 15	0,83	35,2 – 35,3	800 – 2014	5
3	Переключення передачі	-	15	0	0	800	2
4	Прискорення	2	15 – 35	0,62	38,1 – 39,1	1221 – 2850	9
5	Переключення передачі	-	35	0	0	800	2
6	Прискорення	3	35 – 50	0,52	48,6 – 50,6	1887 – 2696	8
7	Переключення передачі	-	50	0	0	800	2
8	Прискорення	4	50 – 70	0,43	59 – 63,9	1994 – 2792	13
9	Переключення передачі	-	70	0	0	800	2
10	Постійна швидкість	5	70	0	32,9	2212	48
11	Сповільнення	5, 4	70 – 50	-0,69	-	2212 – 1994	8
12	Постійна швидкість	4	50	0	21,1	1994	69
13	Прискорення	4	50 – 70	0,43	59 – 63,9	1994 – 2792	13
14	Переключення передачі	-	70	0	0	800	2
15	Постійна швидкість	5	70	0	32,9	2212	48
16	Прискорення	5	70 – 100	0,24	59,2 – 72,5	2212 – 3160	35
17	Постійна швидкість	5	100	0	46,2	3160	30
18	Прискорення	5	100 – 120	0,28	76,9 – 88,3	3160 – 3792	20
19	Постійна швидкість	5	120	0	57,7	3792	10
20	Сповільнення	5	120 – 80	-0,69	-	3792 – 2528	16
21	Сповільнення	5	80 – 50	-1,04	-	2528 – 1580	8
22	Сповільнення з виключенням зчепленням	-	50 – 0	1,39	0	800	10
23	Холостий хід	-	0	0	0	800	20

В математичну модель встановлюється режим руху ТЗ, який відповідає поточному моменту часу руху за умови $t_i \leq tr_j$ відповідно до послідовності і тривалості режимів руху в їздовому циклі (таблиці 2, 3): зупинка руху, прискорення, перемикання передачі, постійна швидкість, сповільнення, сповільнення з виключенням зчепленням. Відповідно до цих режимів руху встановлюється один із

чотирьох можливих режимів роботи двигуна: холостий хід, розгін двигуна, усталений режим роботи, гальмування двигуна в режимі примусового холостого ходу.

У разі встановлення режиму холостого ходу двигуна, що відповідає режимам зупинки руху, перемикання передачі та сповільнення з виключеним зчепленням ТЗ, параметри режиму роботи двигуна є наступними:

- частота обертання колінчастого вала, хв.^{-1} :

$$n_{di}^{xx} = f(T_{vi}), \quad (3)$$

- ефективний крутний момент, Нм:

$$M_{ei} = 0. \quad (4)$$

У разі встановлення режиму розгону двигуна, що відповідає режиму прискорення ТЗ, параметри режиму роботи двигуна є наступними:

- частота обертання колінчастого вала, хв.^{-1} :

$$n_{di} = n_{di-1} + \frac{120}{n_{di-1}} \cdot \frac{n_{dpj}^{\text{кінц}} - n_{dpj}^{\text{поч}}}{\tau_{pj} - \tau_{pj-1}}, \quad (5)$$

де $\frac{120}{n_{di-1}}$ – розрахунковий проміжок часу, що відповідає тривалості одного робочого циклу двигуна при даній частоті обертання, с;

$\frac{n_{dpj}^{\text{кінц}} - n_{dpj}^{\text{поч}}}{\tau_{pj} - \tau_{pj-1}}$ – лінійна швидкість зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна в режимі розгону, $\text{хв.}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$;

- ефективний крутний момент, Нм:

$$M_{ei} = M_{ei-1} + \frac{120}{n_{di-1}} \cdot \frac{M_{epj}^{\text{кінц}} - M_{epj}^{\text{поч}}}{\tau_{pj} - \tau_{pj-1}}, \quad (6)$$

де $\frac{M_{epj}^{\text{кінц}} - M_{epj}^{\text{поч}}}{\tau_{pj} - \tau_{pj-1}}$ – лінійна швидкість зміни ефективного крутного моменту двигуна в режимі розгону, $\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

У разі встановлення усталеного режиму роботи двигуна, що відповідає режиму руху ТЗ з постійною швидкістю, параметри режиму роботи двигуна є наступними:

- частота обертання колінчастого вала, хв.^{-1} :

$$n_{di} = n_{di-1}, \quad (7)$$

- ефективний крутний момент, Нм:

$$M_{ei} = M_{ei-1}. \quad (8)$$

У разі встановлення режиму гальмування двигуна в режимі примусового холостого ходу, що відповідає режиму сповільнення ТЗ, параметри режиму роботи двигуна є наступними:

- частота обертання колінчастого вала визначається за формулою (5) при підстановці в неї відповідних значень частоти обертання в режимі сповільнення;

- ефективний крутний момент двигуна приймається відповідно до формули (4).

Під час моделювання перехідних режимів роботи двигуна вважається, що при переході від режиму холостого ходу до режиму розгону двигуна буксування зчеплення відсутнє і двигун одразу сприймає повне навантаження з боку зовнішніх сил опору руху автомобіля; при переході від навантаженого режиму до режиму холостого ходу сповільнення двигуна до мінімальної частоти

обертання при даній температурі охолоджуючої рідини в режимі холостого ходу відбувається миттєво. Таке спрощення вбачається достатньо обґрунтованим з огляду на той факт, що практичне збільшення витрати палива в початковій стадії розгону із блокуванням зчеплення порівняно із розгоном при буксуючому зчепленні компенсується зменшенням витрати палива в режимі холостого ходу при мінімальній частоті обертання порівняно із витратою в цьому режимі при сповільненні з більшою частотою обертання.

Для визначення екологічних показників ТЗ, здійснюється визначення годинної витрати повітря, $G_{нов,i} = G_{нал,i} \cdot \alpha_i \cdot l_0$, кг/год. а також визначається масова витрата ВГ, $G_{ВГ,i} = G_{нал,i} + G_{нов,i} + G_{ННО,i}$, кг/год.

Для визначення ефективності нейтралізатора, яка залежить від його температури, у математичній моделі визначається температура ВГ, $T_{ВГ,i} = f(n_{di}, \eta_{vi})$, К., також визначається температура каталітичного блоку нейтралізатора $T_{Hi} = f(T_{Hi-1}, G_{ВГ,i}, n_{di}, T_{ВГ,i})$, К. На основі цього і проводиться визначення ефективності нейтралізації CO , C_mH_n , NO_x , %, а саме: $(E_{CO,i}, E_{CmHn,i}, E_{NOxi,i}) = f(\alpha_i, T_{Hi})$.

В залежності від ефективності нейтралізації здійснюється визначення концентрацій CO (%), C_mH_n (млн⁻¹), NO_x (млн⁻¹) після каталітичного нейтралізатора, а саме: $(CO_i^H, C_mH_{ni}^H, NO_{xi}^H) = (CO_i, C_mH_{ni}, NO_{xi}) \cdot (1 - (E_{CO,i}, E_{CmHn,i}, E_{NOxi,i}) / 100)$. На основі цих концентрацій проводиться визначення масових викидів CO , C_mH_n , NO_x та CO_2 (кг/год), а саме: $(G_{CO,i}, G_{CmHn,i}, G_{NOxi,i}, G_{CO2,i}) = f(G_{нал,i}, G_{нов,i}, G_{ННО,i}, CO_i^H, C_mH_{ni}^H, NO_{xi}^H, CO_{2i})$.

Висновок. На сьогодні у світі є різні нормативні їздові цикли, що розроблені на основі реального руху транспортних засобів. Ці їздові цикли використовуються для випробування автомобілів на паливну економічність і токсичність відпрацьованих газів.

Проведення експериментальних досліджень натурних зразків з їзовими циклами при дослідженні транспортних засобів з метою вибору найбільш раціональних параметрів є трудомісткою роботою і потребує великої кількості матеріальних затрат та часу роботи. Тому розробляються математичні моделі руху транспортного засобу за їзовими циклами за допомогою комп'ютерного моделювання. Такий підхід дозволяє оперативно оцінити паливну економічність транспортного засобу при зміні певних параметрів, виконати обґрунтування різних конструктивних параметрів, скоротивши час створення нової моделі, так і витрати на виконання експериментальних стендових і дорожніх випробувань.

Уточнена математична модель дозволяє провести оцінювання ефективності експлуатації транспортного засобу, оснащеного трикомпонентним каталітичним нейтралізатором відпрацьованих газів, на основі аналізу поточних і сумарних значень показників витрати палива і викидів шкідливих речовин транспортним засобом при його русі в їздовому циклі з урахуванням прогріву нейтралізатора.

Перелік посилань

1. Аналіз особливостей сучасних їзових циклів, що застосовуються для нормування токсичності відпрацьованих газів і оцінки паливної економічності автомобілів / М.Є. Якунін, О.Ю. Ребров, В.А. Насальський, Н.Б. Трофимова // Вісник НТУ «ХП». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХП», 2017. – № 14 (1236). – С. 98–103.
2. Матейчик В.П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: монографія / В.П. Матейчик. – К.: НТУ, 2006. – 216 с.
3. Садовник І.І. поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобіля з бензиновим двигуном додаванням водневмісного газу з використанням рекуперативної петлової енергії: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Садовник Іван Іванович. – К., 2021. – 224 с.
4. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки: навч. посібн. / М.Ф. Дмитриченко, В.П. Матейчик, О.К. Гришук, М.П. Цюман. – К.: НТУ, 2014. – 168 с.
5. Gritsuk, I., Volkov, V., Mateichyk, V., Gutarevych, Y. et al., "The Evaluation of Vehicle Fuel Consumption and Harmful Emission Using the Heating System in a Driving Cycle," SAE Int. J. Fuels Lubr. 10(1):236-248, 2017, <https://doi.org/10.4271/2017-26-0364>.

**SPECIFICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF VEHICLE MOTION IN THE
DRIVING CYCLE TAKING INTO ACCOUNT THE HEATING OF THE CATALYTIC
NEUTRALIZER**

Dobrovolskiy Oleksandr S., Ph.D., associate professor, National Transport University, professor of Department of Engines and Heating Engineering, e-mail: dobrovolskiy@ukr.net, tel.+380632977210, <https://orcid.org/0000-0003-0048-1388>

Sadovnyk Ivan D., graduate student of the Department of Engines and Heat Engineering, National Transport University, e-mail: toyota-kiev@ukr.net, tel. +38067-925-99-53, <https://orcid.org/0009-0009-4366-6236>

Abstract. The driving cycle is a set of regulated modes of movement of motor vehicles. The standardized driving cycle is determined by an average statistical analysis of the nature of the car's movement in specific operating conditions. Driving cycles are created to evaluate the efficiency of the car in specific operating conditions. Parameters and control modes of car systems are chosen according to the consequences of the driving cycle. Cycle phase indicators, i.e. time, maximum speed, average speed, maximum acceleration/deceleration and average acceleration/deceleration are different in different cycles. The mode of movement is determined mainly by the speed and its change according to the elements of the driving cycle: acceleration, steady motion, deceleration, braking, stopping, recovery of motion. Determining the energy, economic and environmental indicators of the car in the modes of the driving cycle is possible with the help of a mathematical model that describes these modes. It is known that the driving modes of the car in the urban cycle have an unstable character. During the change of the car's operating modes, there is a constant change in fuel consumption and emissions of harmful substances. Most emissions of harmful substances enter the environment during engine warm-up, therefore it is important to reduce the engine warm-up time and speed up the catalytic converter warm-up. The article is devoted to the refinement of the mathematical model of the car's movement in the driving cycle, taking into account the heating of the catalytic converter.

Keywords. Internal combustion engine, vehicle, driving cycle, mathematical model, emissions of harmful substances, fuel economy, operating modes, catalytic neutralization.

References

1. Analysis of the features of modern driving cycles used to regulate the toxicity of exhaust gases and assess the fuel efficiency of cars / M.E. Yakunin, O.Yu. Rebrov, V.A. Nasalskyi, N.B. Trofymova // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Transport engineering. - Kh.: NTU "KhPI", 2017. - No. 14 (1236). – pp. 98–103.
2. Mateichyk V.P. Assessment methods and ways to improve the environmental safety of road vehicles: monograph / V.P. Mateychyk - K.: NTU, 2006. - 216 p.
3. Sadovnik I.I. improvement of fuel efficiency and environmental performance of a car with a gasoline engine by adding hydrogen-containing gas using regenerative loop energy: thesis. ... candidate technical Sciences: 05.22.20 / Sadovnik Ivan Ivanovich. - K., 2021. - 224 p.
4. Methods of system analysis of the properties of automotive equipment: training. manual / M.F. Dmytrychenko, V.P. Mateychyk, O.K. Hryshchuk, M.P. Tyuman. - K.: NTU, 2014. - 168 p.
5. Gritsuk, I., Volkov, V., Mateichyk, V., Gutarevych, Y. et al., "The Evaluation of Vehicle Fuel Consumption and Harmful Emission Using the Heating System in a Driving Cycle," SAE Int. J. Fuels Lubr. 10(1):236-248, 2017, <https://doi.org/10.4271/2017-26-0364>.