УДК 001.89:005.6:378 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-012-023**
УДК 001.89:005.6:378

РОЛЬ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЯКОСТІ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ УНІВЕРСИТЕТУ

THE ROLE OF KNOWLEDGE CONTROL IN ENSURING THE QUALITY OF THE EDUCATIONAL PROCESS OF THE UNIVERSITY



Дмитриченко Микола Федорович, *Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», Національний транспортний університет, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044)2808203, м. Київ, Україна*

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



Токін Олександр Павлович*, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», Національний транспортний університет, e-mail:a2atp@meta.ua, тел. (044) 280-42-59, м. Київ, Україна*

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



Харченко Анна Миколаївна*, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, e-mail: anna-x3@ukr.net, тел. +380442807909, м. Київ, Україна*

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

Анотація. Стаття присвячена розгляду актуального питання – визначенню ролі контролю знань у забезпеченні якості освітнього процесу університету.

Досліджено основні види та форми контролю знань студентів в Національному транспортному університеті. Визначено основні функції контрольних заходів в цілому, а також для кожного виду контролю окремо. Розглянуто принципи та критерії перевірки й оцінювання знань студентів в університеті. Визначено, що моніторинг контрольних заходів в університеті дозволяє здійснити всебічне оцінювання рівня забезпечення якості освітньої діяльності. Розглянуто вплив систематичного оцінювання результатів контрольних заходів та своєчасного реагування на діяльність ЗВО на прикладі Національного транспортного університету. Відповідно проведеного аналізу ролі контролю знань у

забезпеченні якості освітнього процесу університету сформовано авторський алгоритм стратегічного планування, який включає чотири етапи планування заходів з організації освітнього процесу. Розроблено перелік заходів щодо розвитку системи забезпечення якості освітнього процесу у наступному навчальному році, до яких, зокрема віднесено – продовження практики розгляду питань успішності студентів на засіданнях вчених рад факультетів та кафедр; здійснення організації круглих столів для розширення компетентностей здобувачів з певних тематик та проблем із залученням фахівців і науковців з різних організацій; активізацію викладачів щодо створення і впровадження дистанційних курсів із фахових дисциплін; заходи з посилення контролю виконавчої дисципліни викладачів при проведенні поточного та підсумкового контролю, відпрацюванні пропущених занять, прийнятті академічних заборгованостей; заходи з посилення рівня організації та проведення консультаційної роботи із студентами та інші. Запропоновано для стратегічного планування заходів з підвищення якості освітньої діяльності університету використовувати авторський алгоритм.

Ключові слова: якість освітнього процесу, контрольні заходи, оцінювання рівня знань, результати навчання, алгоритм, стратегічне планування

Вступ.

Вимірювання рівня досягнення програмних результатів студентами за підсумками навчання в закладах вищої освіти має надважливе значення в умовах сьогодення. Таким вимірником, або індикатором є контроль рівня знань, який відіграє вирішальну роль в оцінюванні та забезпеченні якості освітньої діяльності університету. Особливого значення це набуває у сучасних умовах, пов'язаних з викликами вищої освіти останніх років, що були спричинені наслідками пандемії COVID-19 та введенням воєнного стану, оскільки освітній процес більшості університетів здійснювався у дистанційній або змішаній формі.

Фундаментальну основу досліджень ролі контрольних заходів у забезпеченні якості освітнього процесу складають наукові праці класиків Я.А. Коменського, А.В. Дистервега, Н.І. Пирогова, К.Д. Ушинського [1]. Саме на основі цих досліджень пізніше були сформовані основні види та принципи контролю знань здобувачів вищої освіти, які були викладені в роботах більш сучасних науковців, зокрема, в працях Ортинського В. Л. [2], Головенкіна В.П. [3], Вітвицької С.С. [4] та інших. Останні дослідження в цьому напрямку присвячені обґрунтуванню інноваційних форм, способів та інструментів здійснення контрольних заходів у сучасних умовах [5-9]. Проте, практично відсутні сучасні дослідження щодо визначення ролі контролю знань як інструменту оцінювання якості освітнього процесу університету, що визначає актуальність розгляду даного питання.

Матеріали та методи.

Під час дослідження були використані наступні методи: аналізу стану наукових досліджень щодо теоретичних основ контролю знань; аналізу законодавства України у сфері вищої освіти та нормативних документів Національного транспортного університету; системного аналізу функцій контрольних заходів; аналітичного дослідження результатів навчання; стратегічного планування.

Мета дослідження – визначення ролі контролю знань у забезпеченні якості освітнього процесу та розробка алгоритму стратегічного планування заходів з підвищення якості освітньої діяльності університету.

Основна частина.

Відповідно до статті 50 Закону України «Про вищу освіту» однією з форм організації освітнього процесу є контрольні заходи [10]. При цьому функцією контролю знань є оцінювання досягнення встановлених в дисципліні викладачем результатів навчання, рівня оволодіння компетентностями, знаннями, вміннями, навичками. Контрольні заходи є як вимірником знань, так і можуть бути мотиватором, рушійною силою для здобувача вищої освіти, оскільки їх результати формують рейтинг студентів спеціальності в університеті. Ще однією з важливих функцій контролю в навчанні є встановлення зворотного зв'язку між студентом та викладачем [11]. Зрештою, контрольні заходи також можуть бути індикатором якості освітнього процесу університету та рушієм для вжиття певних системних заходів щодо її покращення [12-13].

Основними видами контролю знань у вищій освіті є діагностичний, тренувальний, поточний, відстрочений, перехресний, тематичний, рубіжний, підсумковий та заключний [4]. В Україні запроваджено кредитно-трансферну систему навчання, яка передбачає такі основні види та форми контролю: поточний контроль (у процесі навчання), рубіжний контроль (після вивчення певного розділу, або теми), підсумковий контроль (проводиться в кінці вивчення курсу) [1, 11].

В Національному транспортному університеті реалізовано наступні види та форми контролю знань студентів: попередня, поточна, тематична перевірка (модульний або міжсесійний контроль); залік, курсові роботи (проекти), РГР (рубіжний контроль); семестрові екзамени, кваліфікаційні екзамени, кваліфікаційні роботи (підсумковий та заключний контроль) (рис. 1).

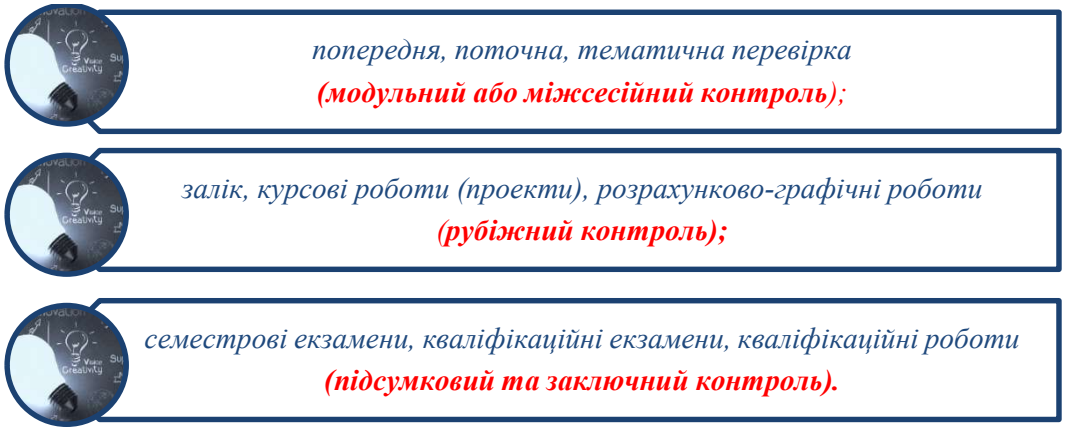


Рисунок 1 – Види та форми контролю знань студентів в НТУ
Figure 1 – Types and forms of monitoring students' knowledge at NTU

Модульний або міжсесійний контроль сприяє забезпеченню ритмічної роботи студентів, виробленню у них вміння чітко організувати свою працю, допомагає викладачеві своєчасно виявити невстигаючих і допомагати їм, організовувати індивідуальні творчі заняття для найкраще підготовлених студентів [11]. Дані міжсесійного контролю використовуються для внесення відповідних змін у матеріал, що вивчається на лекціях, у зміст консультацій, індивідуальної роботи зі студентами, контрольних (модульних) робіт. Крім, того саме поточна перевірка знань слугує індикатором до оперативних змін з боку менеджменту університету в бік покращення якості освітнього процесу. В Національному транспортному університеті поточний контроль здійснюється двічі в процесі навчання здобувачів вищої освіти у вигляді модульного контролю. Відповідно до нормативно-правової бази НТУ щодо організації освітнього процесу викладач виконує поточну перевірку знань, обираючи самостійно метод, спосіб та інструмент для її здійснення на правах академічної свободи.

Провідне місце у системі контролю навчальної роботи студентів посідає рубіжний контроль (заліки, курсові) та підсумковий і заключний контроль (семестрові та кваліфікаційні іспити (роботи)), результати яких використовуються для визначення успішності студентів, а також якості освітніх програм.

Основними формами рубіжного контролю знань студентів є залік, курсові роботи (проекти), РГР, здача циклу лабораторних, практичних робіт, що є допуском до підсумкового контролю. Його результати є критично важливими для встановлення потенційної неуспішності здобувачів на сесії та вжиття термінових, невідкладних системних заходів в рамках окремої дисципліни, освітньої програми, спеціальності.

Підсумковий контроль є завершальним заходом, і таким чином він здійснює найбільший вагомий вклад в вимірювання якості освітнього процесу, оскільки він «потребує систематизації і узагальнення знань» [11]. Саме через підсумковий контроль реалізується весь спектр функцій

контрольних заходів в освітньому процесі – освітньої, діагностично-корегуючої, контролюючої, виховної, розвивальної (рис. 2) [1, 4, 11]:

1. Освітня функція полягає у сприянні поглибленню, розширенню, удосконаленню знань студентів, уточненню і систематизації навчального матеріалу з предмету.

2. Діагностично-корегуюча функція забезпечує виявлення знань, умінь і навичок, утруднень, недоліків, неуспішності.

3. Контролююча функція полягає у визначенні рівня знань, умінь і навичок студентів, підготовленості до засвоєння нового матеріал, виставлення оцінок студентам.

4. Виховна функція спрямована на покращення особистої дисципліни, розвиток волі, характеру, навичок систематичної самостійної праці та ін.

5. Розвивальна функція полягає у сприянні розвитку психічних процесів особистості – уваги, пам'яті, мислення, інтересів, пізнавальної активності, мовленнєвої культури студентів.



Рисунок 2 – Функції контрольних заходів
Figure 2 – Functions of control measures

До основних принципів перевірки й оцінювання знань студентів відносять наступні [11]:

– індивідуального характеру перевірки й оцінки знань студентів (передбачає індивідуальну роботу викладача з кожним студентом, врахування його індивідуальних особливостей);

– систематичності і системності перевірки й оцінки знань (здійснення контролю протягом усього періоду навчання студента у ЗВО);

– тематичності (стосується усіх ланок перевірки і передбачає оцінювання навчальної діяльності студентів за семестр чи навчальний рік, і з кожної теми);

– диференційованої оцінки успішності навчання студентів (передбачає здійснення оцінювання успішності на основі різнорівневого підходу);

– єдності вимог викладачів до студентів (передбачає урахування кафедрами і викладачами діючих загальнодержавних стандартів);

– об'єктивності (це систематичний аналіз результатів міжсесійного контролю і показників успішності за єдиними критеріями з метою своєчасного здійснення заходів для поліпшення організації

і змісту навчально-виховного процесу, підвищення ефективності і якості аудиторних і самостійних занять студентів з метою запобігання (зменшення) відсіву їх із ЗВО);

– гласності (доведення результатів контролю до відома студентів).

Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів за групами компетентностей включають [1, 11]:

- соціальні (активність у суспільному житті, участь в діяльності громадських організацій, вміння попереджувати, урегульовувати конфлікти, самостійно приймати рішення й брати на себе відповідальність за їх виконання тощо);

- полікультурні (вміння досягати консенсусу, вирішуючи різні питання, що стосуються як професійної діяльності, так і повсякденного спілкування з людьми різних поглядів, релігійних конфесій, інших національностей тощо);

- комунікативні (високий рівень культури спілкування в колективі, знання декількох мов і використання їх в практичній діяльності за певних обставин);

- інформаційні (вміння знаходити різноманітну інформацію за допомогою сучасних інформаційних технологій, критично її осмислювати та використовувати для здобуття знань);

- саморозвитку та самоосвіти (передбачають потребу у самовдосконаленні, підвищенні професійної майстерності, загального рівня культури, розвитку власних здібностей і т. ін.);

- компетенції, що виявляються як здатність до раціональної продуктивної, творчої діяльності.

Таким чином моніторинг контрольних заходів в університеті дозволяє здійснити всебічне оцінювання рівня забезпечення якості освітньої діяльності.

Розглянемо вплив систематичного оцінювання результатів контрольних заходів та своєчасного реагування на діяльність ЗВО на прикладі Національного транспортного університету.

Основними викликами, що виникли перед Національним транспортним університетом, починаючи з 2019 року були обмеження, що пов'язані з карантином у зв'язку з COVID-19, а у 2022 році – у зв'язку з військовою агресією російської федерації – були регулярні повітряні тривоги, систематичні відключення електроенергії, перебування здобувачів у зонах бойових дій чи у лавах збройних сил України (рис. 3).



Рисунок 3 – Основні виклики, що виникли перед університетом у 2019-2023 н.р.
Figure 3 – The main challenges facing the University in 2019-2023

Проте, університетом було здійснено ряд організаційних кроків для забезпечення якості освітнього процесу в складних умовах (рис. 4):

- розроблено перелік внутрішніх нормативних документів, які регулювали освітній процес;
- виконано заходи з організації освітнього процесу (оптимізація графіку навчального процесу та розкладу занять, тимчасове переведення здобувачів на змішане навчання, запровадження навчання за індивідуальним графіком для окремих здобувачів);
- розроблено заходи з моніторингу контрольних заходів як індикаторів якості освітнього процесу (щотижневе звітування факультетів про успішність та якість освітнього процесу, опитування та моніторингові оцінювання відділом забезпечення якості вищої освіти тощо).

За результатами модульного, рубіжного контролю приймалися рішення щодо термінових заходів з підвищення якості освітнього процесу, зокрема:

- введення лекційного інтенсивну (в рамках не перевищення годин тижневого навантаження здобувача);
- додаткові консультації щодо практичної підготовки;
- чергування викладачів на кафедрах для індивідуального консультування;
- організація групових гуртків з дисциплін;
- залучення роботодавців до проведення майстер-класів, вебінарів з метою підвищення мотивації здобувачів у навчальній діяльності тощо.



Рисунок 4 – Організаційні кроки університету для забезпечення якості освітнього процесу в складних умовах у 2019-2023 н.р.

Figure 4 – Organizational steps of the University to ensure the quality of the educational process in difficult conditions in 2019-2023

Виконання оперативних заходів контролювалося зрізом знань по завершенню підсумкового контролю. Зокрема, проаналізовані показники рівня якості та успішності здобувачів вищої освіти за період 2019-2023 н.р. в Національному транспортному університеті показують, що заходи, які були реалізовані університетом, забезпечили достатній рівень аналізованих показників.

Так, наприклад, усереднені результати осінньої екзаменаційної сесії 2022-2023 н.р. в Національному транспортному університеті показують, що рівень якості становив 78,9%, успішність – 92,3% (рис. 5).

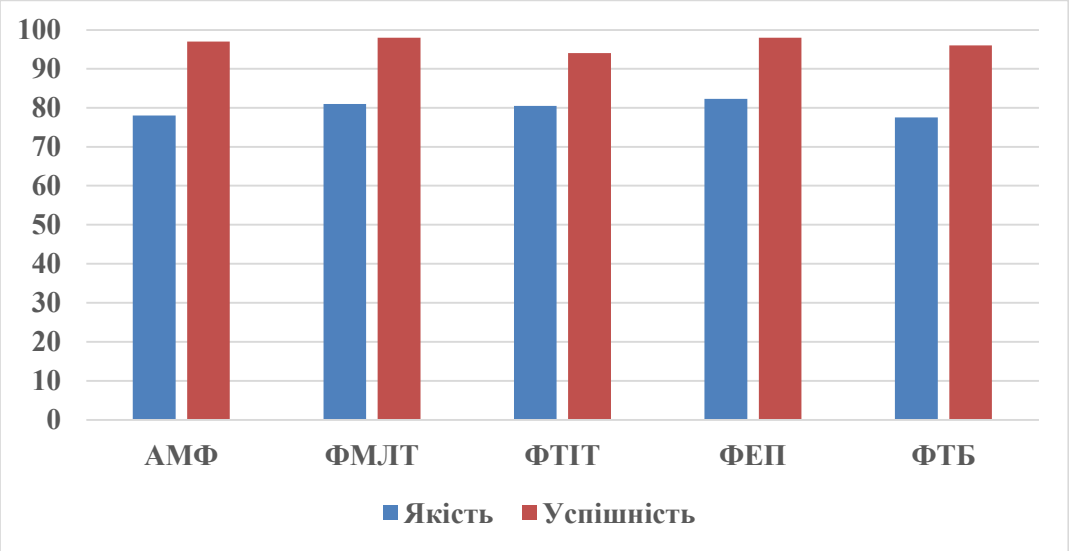


Рисунок 5 – Усереднені результати осінньої екзаменаційної сесії 2022-2023 н.р. в Національному транспортному університеті, %

Figure 5 – Averaged results of the autumn examination session 2022-2023 at the National Transport University, %

Відносний показник академічної заборгованості здобувачів університету в середньому складає на 2022 рік 6,5%, а також у порівнянні з минулими роками має тенденцію до зниження (рис. 6).

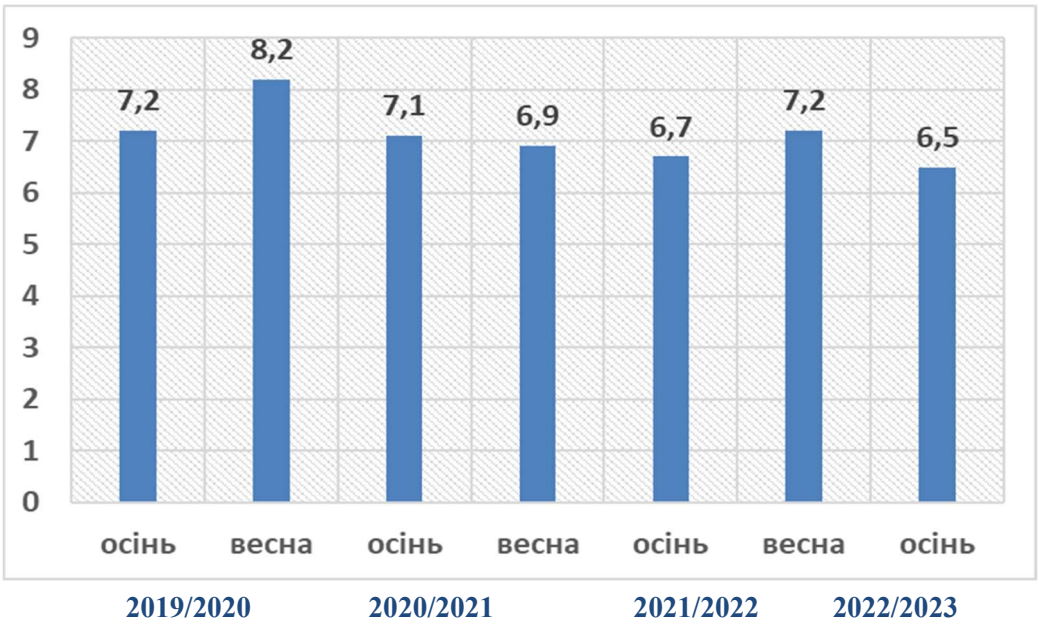


Рисунок 6 – Усереднена академічна заборгованість (порівняння результатів семестрового контролю 2019/2020– 2022/2023 навчальних років), %

Figure 6 – Average academic debt (comparison of results of semester control 2019/2020– 2022/2023 academic years), %

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%.

Якість за заочною формою здобуття вищої освіти за першим (бакалаврським) рівнем складала в середньому 91%.

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 %. 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 %.

Таким чином, здійснені організаційні кроки університету для забезпечення якості освітнього процесу в складних умовах у 2019-2023 н.р. можна вважати успішними, набутий досвід з організації освітнього процесу – позитивним.

Разом з тим, слід відмітити, необхідність активізації практику розгляду питань успішності студентів на засіданнях вчених рад факультетів та кафедр, а також посилення контролю виконавчої дисципліни викладачів при проведенні поточного та підсумкового контролю, відпрацюванні пропущених занять, ліквідації академічних заборгованостей.

Проведений аналіз ролі контролю знань у забезпеченні якості освітнього процесу університету дозволив сформувати авторський алгоритм стратегічного планування (рис. 7), який включає 4 етапи планування заходів з організації освітнього процесу.

Зокрема, на першому етапі формуються та втілюються основні заходи, які мають на меті якісну організацію освітнього процесу в поточних умовах. Далі виконується оцінювання досягнення планованих результатів за цими заходами у вигляді моніторингу результатів міжсесійного контролю, виконання корегування раніше прийнятих цільових заходів або розробка нових, які нівелюють ризики та виклики на момент оцінювання. На другому етапі до моніторингу рубіжного контролю додається додатковий інструмент оцінювання якості освітнього процесу – опитування його учасників. І знову відбувається корегування раніше прийнятих цільових заходів. На третьому етапі здійснюється моніторинг підсумкового контролю та оцінюється рівень досягнення заявлених в дисциплінах програмних результатів навчання, що дає змогу на четвертому етапі розробити системні стратегічні заходи щодо підвищення якості освітньої діяльності.

В результаті апробації даного алгоритму в Національному транспортному університеті запропоновані та затверджені рішенням Вченої ради стратегічні заходи щодо підвищення якості освітньої діяльності, для реалізації яких 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;

-посилити активізацію викладачів щодо створення і впровадження дистанційних курсів із фахових дисциплін;

-забезпечити роботу із залучення провідних фахівців, роботодавців в освітній процес;

-організувати проведення літніх та зимових наукових гуртків з метою активізації інтересу здобувачів до навчання;

-здійснювати за можливості виїзні практики, екскурсії на підприємства із сучасним обладнанням;

-продовжувати практику створення умов для отримання знань у позанавчальний час (комп'ютерні класи, англійська мова, Online-конференції тощо);

-забезпечити проведення олімпіад з фундаментальних дисципліни серед студентів;

-запровадити заходи з посилення контролю виконавчої дисципліни викладачів при проведенні поточного та підсумкового контролю, відпрацюванні пропущених занять, прийнятті академічних заборгованостей;

-вжити заходи з посилення рівня організації та проведення консультаційної роботи із студентами.



Рисунок 7 – Алгоритм стратегічного планування заходів з підвищення якості освітньої діяльності університету

Figure 7 – Algorithm for strategic planning of measures to improve the quality of the University's educational activities

Висновки. Сучасне оцінювання рівня знань в університетах не зводиться тільки до виявлення недоліків, прогалин, а в більшості випадків розглядається як критичний аналіз освітнього процесу для визначення напрямків його вдосконалення [12]. При цьому ці поняття є взаємозалежними, оскільки, контроль освітньої діяльності університету та якості підготовки фахівців на всіх етапах навчання є одним із завдань забезпечення якості вищої освіти ЗВО [13]. Таким чином роль контролю знань у забезпеченні якості освітнього процесу університету є беззаперечно вагомою.

В дослідженні проведено аналіз основних видів та форм контролю знань студентів, визначено їх основні функції, а також принципи та критерії перевірки й оцінювання знань студентів в університеті. Визначено, що моніторинг результатів контролю знань здобувачів вищої освіти в університеті дозволяє здійснити всебічне оцінювання рівня забезпечення якості освітньої діяльності. Розглянуто вплив систематичного оцінювання результатів контрольних заходів, а також запровадження оперативних заходів з організації освітнього процесу на діяльність ЗВО на прикладі Національного транспортного університету. За результатами дослідження сформовано авторський алгоритм стратегічного планування, який включає чотири етапи планування заходів з організації освітнього процесу. Розроблено перелік стратегічних заходів щодо підвищення якості освітнього процесу, до яких, зокрема віднесено продовження практики розгляду питань успішності студентів на засіданнях вчених рад факультетів та кафедр; здійснення організації круглих столів для розширення компетентностей здобувачів з певних тематик та проблем із залученням фахівців і науковців з різних організацій; активізацію викладачів щодо створення і впровадження дистанційних курсів із фахових дисциплін; заходи з посилення контролю виконавчої дисципліни викладачів при проведенні поточного та підсумкового контролю, відпрацюванні пропущених занять, прийнятті академічних заборгованостей заходи з посилення рівня організації та проведення консультаційної роботи із студентами та інші. Авторами запропоновано використовувати розроблений у дослідженні алгоритм для стратегічного планування заходів з підвищення якості освітньої діяльності університету.

Перелік посилань

1. Іотова, І. М., Маджар, Н. М., Скальська, С. А. Контроль знань студентів як компонент навчального процесу. Актуальні питання контролю якості освіти у вищих медичних навчальних закладах : матеріали наук.-практ. конф. з міжнар. участю, м. Полтава, 22 березня 2018 р. – Полтава, 2018. – С. 104–108.

2. Ортинський В. Л. Педагогіка вищої школи: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.]/ В. Л. Ортинський– К.: Центр учбової літератури, 2009. – 472 с.

3. Педагогіка вищої школи : підручник / В. П. Головенкін ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 290 с.

4. Вітвицька С.С. Основи педагогіки вищої школи: Підручник за модульнорейтинговою системою навчання для студентів магістратури. – Київ: Центр навчальної літератури, 2006.– 384 с.

5. Бухкало С. І. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів / С. І. Бухкало // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2014. – № 16 (1059). – С. 3-11.

6. Даценко, Віта Василівна, Лілія Михайлівна Єгорова, Тетяна Олександрівна Ненастіна. Сучасні підходи організації контролю навчання студентів у вищих навчальних закладах. Сучасний педагог: колект. наук. монографія. Дніпро: Акцент ПП, 2020. – С.114 – 123.

7. Tomasevic, Nikola, Nikola Gvozdenovic, and Sanja Vranes. An overview and comparison of supervised data mining techniques for student exam performance prediction. Computers & education 143 (2020): 103676. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103676

8. Ifenthaler, Dirk, and Jane Yin-Kim Yau. Utilising learning analytics to support study success in higher education: a systematic review. Educational Technology Research and Development 68 (2020): 1961-1990.

9. Robinson S.E., Song J.J. Student academic performance system: quantitative approaches to evaluating and monitoring student progress. International Journal of Quantitative Research in Education (IJQRE). – 2019. – Vol. 4. – №4. – P. 332-353. DOI:https://doi.org/10.1504/IJQRE.2019.100170

10.Про вищу освіту: Закон України. від 01.07.2014 № 1556-VII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1556-18

11.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.

12.Основи педагогічного оцінювання: [навчальнометодичний посібник] / Т.М.Канівець. – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2012. — 102 с.

13.Якість вищої освіти: теорія і практика: навчально-методичний посібник / за наук. ред. А. Василюк, М. Дей; кол. авторів: А. Василюк, М. Дей, В. Базелюк (та ін.]; НАПН України, Університет менеджменту освіти. – Київ; Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2019. – 176 с.

THE ROLE OF KNOWLEDGE CONTROL IN ENSURING THE QUALITY OF THE EDUCATIONAL PROCESS OF THE UNIVERSITY

Dmytrychenko Nykolay F., Doctor of Technical Science, 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*.

Tokin Oleksndr P., 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*.

Kharchenko Anna N., Doctor of Technical Science, 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*.

Abstract. The article is devoted to the consideration of an actual issue – determining the role of knowledge control in ensuring the quality of the educational process of the University.

The main types and forms of knowledge control of students at the National Transport University were studied. The main functions of control measures as a whole, as well as each type of control separately, are defined. The principles and criteria of checking and evaluating students' knowledge at the university are considered. It was determined that the monitoring of control measures at the university allows for a comprehensive assessment of the level of quality assurance of educational activities. The influence of the systematic evaluation of the results of control measures on the activity of universities and its timely response was considered using the example of the National Transport University. According to the analysis of the role of knowledge control in ensuring the quality of the educational process of the university, the author's strategic planning algorithm was formed, which includes 4 stages of planning measures for the organization of the educational process. A list of measures for the development of the system for ensuring the quality of the educational process in the next academic year has been developed, which include, in particular, the continuation of the practice of considering issues of student success at meetings of academic councils of faculties and departments; organization of round tables to expand the competences of applicants on certain topics and problems with the involvement of specialists and scientists from various organizations; activation of teachers regarding the creation and implementation of distance courses in professional disciplines; measures to strengthen the control of the executive discipline of teachers during current and final control, making up for missed classes, accepting academic debts, measures to strengthen the level of organization and conducting consulting work with students, and others. It is proposed to use the author's algorithm for strategic planning of measures to improve the quality of educational activities of the university.

Key words: quality of the educational process, control measures, assessment of knowledge level, learning outcomes, algorithm, strategic planning

References

1. Iotova, I. M., Madzhar, N. M., Skalska, S. A. Kontrol znan studentiv yak komponent navchalnoho protsesu. Aktualni pytannia kontroliu yakosti osvity u vyshchykh medychnykh navchalnykh zakladakh : materialy nauk.-prakt. konf. z mizhnar. uchastiu, m. Poltava, 22 bereznia 2018 r. – Poltava, 2018. – S. 104–108. [in Ukrainian]

2. Ortynskyi V. L. Pedahohika vyshchoi shkoly: navch. posib. [dlia stud. vyshch. navch. zakl.]/ V. L. Ortynskyi– K.: Tsentr uchbovoi literatury, 2009. – 472 s. [in Ukrainian]

3. Pedahohika vyshchoi shkoly : pidruchnyk / V. P. Holovenkin ; KPI im. Ihoria Sikorskoho. – 2-he vyd., pererobl. i dopovn. – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2019. – 290 s. [in Ukrainian]

4. Vitvytska S.S. Osnovy pedahohiky vyshchoi shkoly: Pidruchnyk za modulnoreitynhovoiu systemoiu navchannia dlia studentiv mahistratury. – Kyiv: Tsentr navchalnoi literatury, 2006.– 384 s. [in Ukrainian]

5. Bukhkalo S. I. Udoskonaliuvannia metodiv otsinky znan studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv / S. I. Bukhkalo // Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KhPI" : zb. nauk. pr. Temat. vyp. : Innovatsiini doslidzhennia u naukovykh robotakh studentiv. – Kharkiv : NTU "KhPI". – 2014. – № 16 (1059). – S. 3-11. [in Ukrainian]

6. Datsenko, Vita Vasylivna, Liliia Mykhailivna Yehorova, Tetiana Oleksandrivna Nenastina. Suchasni pidkhody orhanizatsii kontroliu navchannia studentiv u vyshchykh navchalnykh zakladakh. Suchasnyi pedahoh: kolekt. nauk. monohrafiia. Dnipro: Aktsent PP, 2020. – S.114 – 123. [in Ukrainian]

7. Tomasevic, Nikola, Nikola Gvozdenovic, and Sanja Vranes. An overview and comparison of supervised data mining techniques for student exam performance prediction. Computers & education 143 (2020): 103676. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103676

8. Ifenthaler, Dirk, and Jane Yin-Kim Yau. Utilising learning analytics to support study success in higher education: a systematic review. Educational Technology Research and Development 68 (2020): 1961-1990.

9. Robinson S.E., Song J.J. Student academic performance system: quantitative approaches to evaluating and monitoring student progress. International Journal of Quantitative Research in Education (IJQRE). – 2019. – Vol. 4. – №4. – R. 332-353. DOI:https://doi.org/10.1504/IJQRE.2019.100170

10.Pro vyshchu osvitu: Zakon Ukrainy. vid 01.07.2014 № 1556-VII [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1556-18 [in Ukrainian]

11.Innovatsiini tekhnolohii navchannia: Navch. posibn. dlia stud. vyshchykh tekhnichnykh navchalnykh zakladiv / [Kol. avtoriv; vidp. red. Bakhtiiarova Kh.Sh.; nauk. red. Aristova A.V.; uporiadn. slovnyka Volobuieva S.V.]. – K. : NTU, 2017. – 172 s. [in Ukrainian]

12.Osnovy pedahohichnoho otsiniuvannia: [navchalnometodychnyi posibnyk] / T.M.Kanivets. – Nizhyn: Vydavets PP Lysenko M.M., 2012. — 102 s. [in Ukrainian]

13.Iakist vyshchoi osvity: teoriia i praktyka: navchalno-metodychnyi posibnyk / za nauk. red. A. Vasyliuk, M. Dei; kol. avtoriv: A. Vasyliuk, M. Dei, V. Bazeliuk (ta in.]; NAPN Ukrainy, Universytet menedzhmentu osvity. – Kyiv; Nizhyn: Vydavets PP Lysenko M. M., 2019. – 176 s. [in Ukrainian]

УДК 629.3.012:629.3.013:629.35 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-024-033**
UDC 629.3.012:629.3.013:629.35

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НОРМАТИВІВ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОМУ УТРИМАННІ СПОРУД ТРАНСПОРТУ

COMPARATIVE ANALYSIS OF NORMATIVE LOADS IN THE DESIGN AND MAINTENANCE OF TRANSPORT FACILITIES



Бубела Андрій Володимирович, *доктор технічних наук, доцент, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, тел.. +380505535594*

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



Іванушко Олександр Миколайович, *доктор філософії в галузі транспорту, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: o.ivanushko@ntu.edu.ua, тел. +380969298556*

https://orcid.org/0000-0003-3759-5856



Рутковська Інеса Анатоліївна*, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри системного проєктування об'єктів транспортної інфраструктури, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: ria_ntu@ukr.net, тел. +380442807073*

https://orcid.org/0000-0001-7832-4222



Усиченко Олена Юріївна, *кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: fbbk@ukr.net, тел. +380442803942*

https://orcid.org/0000-0002-7482-8420

Анотація: У роботі проведений аналіз як вітчизняних, так і міжнародних нормативних документів, які регламентують максимально допустимі значення геометричних та вагових параметрів великовагових автотранспортних засобів. Окремо розглянуті нормативи, які встановлюють стандарти на етапі проектування та експлуатаційного утримання транспортних споруд. Обґрунтовано необхідність у вдосконаленні нормативно-технічної бази в напрямку визначення фактичних навантажень на існуючих автомобільних мостах із урахуванням можливих дефектів поверхні покриття. Нова модель еталонного навантаження також повинна враховувати параметри існуючого вантажопотоку, а також перспективи прогнозування його змін для забезпечення високого рівня точності та прогностичної дієвості в області визначення навантажень та їх впливу на інфраструктурні об'єкти в системі транспортного будівництва.

Ключові слова: Споруди транспорту, габаритно-вагові параметри транспортних засобів, нормативні значення

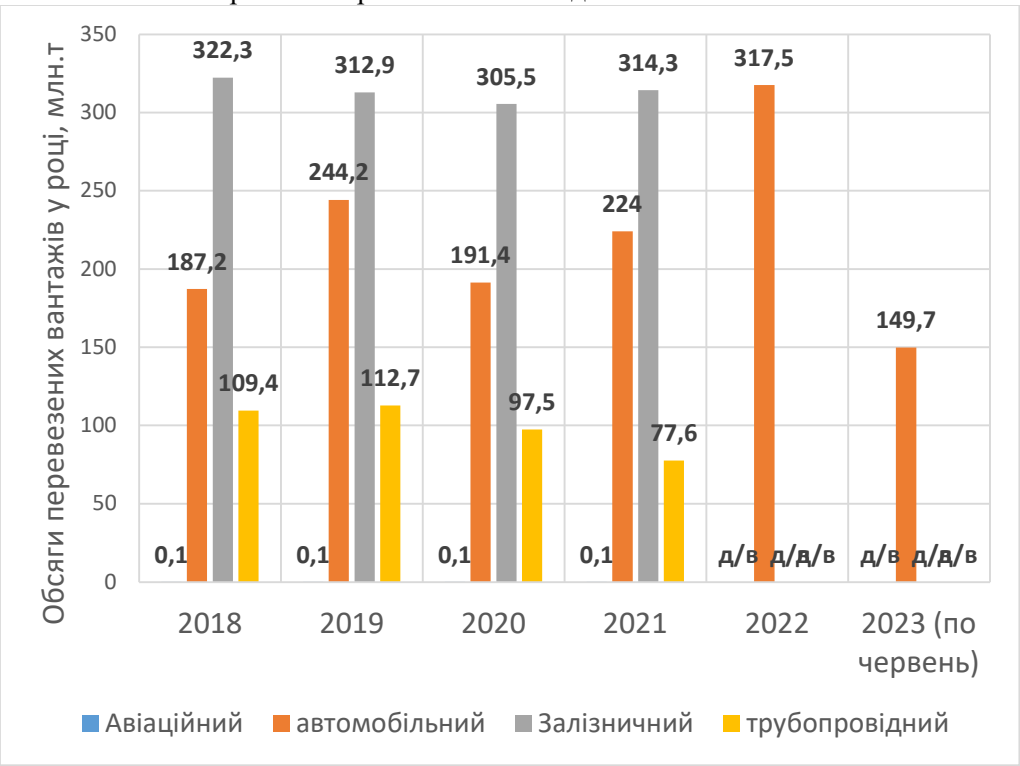
Вступ. Автодорожні мости є невід’ємним елементом транспортної системи. В умовах воєнного конфлікту, особливого стану саме вони стають стратегічними об'єктами. Від їх надійності та стійкості залежить обороноздатність держави та ефективність відповіді на зовнішню агресію проти України. Розрахункові параметри габаритів та маси транспортних засобів відіграють важливу роль як на етапі проектування транспортних структур, так і на етапі експлуатаційного утримання. Залежно від характеристик великовантажних транспортних засобів обґрунтовуються розрахункові параметри та моделі розрахункових навантажень. Однією з ключових експлуатаційних характеристик мостів є вантажопідйомність. Саме здатність споруд інфраструктури транспорту адекватно сприймати ці навантаження визначає довговічність та безпеку транспортної системи.

Відповідно до національних стандартів визначення вантажопідйомності мосту виконують шляхом розрахункової перевірки вимог для першої групи граничних станів його несних конструкцій. При цьому значення характеристичних навантажень приймають відповідно до діючих нормативних документів. Проблемою мостового господарства країни є старіння транспортної інфраструктури. Більше 80 відсотків мостових споруд побудовані ще до Незалежності України за застарілими нормативами, мають значний знос та втрату міцності, що потребує невідкладних заходів щодо їх модернізації та зміцнення.. Величина навантажень та склад транспортного потоку, а отже і вимоги нормативних документів значно змінились. У зв’язку із введенням військового стану на території нашої країни, повним перекриттям авіаційного сполучення та значних обмежень морських перевезень автомобільні перевезення стали важливим елементом логістичного ланцюга. Науковцями Національного транспортного університету виконано узагальнення та аналіз вимог національних та закордонних нормативних документів щодо габаритно-вагових параметрів транспортних засобів на стадіях проєктування та експлуатаційного утримання об’єктів транспортної інфраструктури в рамках реалізації договору «Розробка моделі навантаження за фактичними параметрами великовагового рухомого складу для визначення вантажно-пропускної здатності автодорожніх мостів при їх відновлені та експлуатації у воєнний і повоєнний періоди» з Національним фондом досліджень України. Метою проведення подальшого дослідження є врахування параметрів та особливостей сучасних великовагових транспортних засобів для перевезення вантажів і пасажирів дорожньою мережею України для подальшого удосконалення та розроблення моделі навантаження для визначення вантажопідйомності мостових переходів, які експлуатуються. Об’єктом дослідження є вимоги нормативних документів різних країн щодо габаритно-вагових параметрів транспортних засобів на стадіях проєктування та експлуатаційного утримання транспортних споруд.

Виклад основного матеріалу. Стрімкий розвиток автомобільних перевезень спрямований на збільшення вагових та габаритних параметрів вантажних транспортних засобів, що стало критичною проблемою для транспортної мережі України, а особливо в умовах активних військових дій. Зростання вантажних перевезень між Україною та країнами ЄС в умовах війни є важливим аспектом забезпечення

гуманітарної допомоги та економічної стабільності в регіоні в умовах складностей, пов'язаних із військовим конфліктом. Автомобільні перевезення відіграють важливу роль у забезпеченні продовольчої та медичної допомоги, гуманітарних вантажів, інших стратегічних товарів та вантажів для Збройних сил України. Враховуючи, що однією з ключових політичних та економічних ініціатив в історії нашої країни є рух України до вступу до Європейського Союзу, необхідно забезпечити відповідність національних норм та стандартів європейським вимогам враховуючи світовий досвід та потреби і специфіку нашої країни.

Про важливість автомобільних перевезень свідчать дані Державної служби статистики України [1, 2] (рис. 1), відповідно до яких вантажні автомобільні перевезення складають більше 30 відсотків від загального обсягу вантажоперевезень. Відповідно до наведених даних цей показник має тенденцію до зростання в умовах військової агресії проти нашої країни: порівняно з довоєнним періодом обсяги автомобільних вантажних перевезень зросли на 40-50 відсотків.



* д/в – дані відсутні

Рисунок 1 – Вантажні перевезення за видами транспорту (2018 – 2023 р.р.)

Figure 1 – Freight transportation by transport types (2018 - 2023)

Найбільш простим способом підвищення ефективності використання автомобільних транспортних засобів (ТЗ) є збільшення їх вантажопідйомності. Разом з тим, збільшення вантажопідйомності призводить до збільшення загальної маси, габаритних розмірів та підвищення тиску на покриття дорожнього одягу. Логічно, що збільшення розмірів і маси не може бути нескінченним, а дані параметри повинні відповідати існуючим нормативним документам, що регламентують їх максимальні значення.

В Україні першочерговим нормативним документом, що встановлює основні засади діяльності і використання автомобільного транспорту загалом є Закон України «Про автомобільний транспорт» [3]

і Закон України «Про дорожній рух» [4]. Разом з тим, в Україні діє в Закон України «Про Автомобільні дороги» [5], що визначає характеристика автомобільних доріг загального користування, норми з будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг, а також права та обов'язки користувачів доріг. Дані законодавчі документи формують основну концепцію взаємодії між дорожніми транспортними засобами і дорогами.

Враховуючі різноманіття можливих конструкцій автотранспортних засобів і для можливості проведення їх обліку і допуску до експлуатації в Україні введено в дію Постанову Кабінету Міністрів України (КМУ) «Про єдині вимоги до конструкції та технічного стану колісних транспортних засобів, що експлуатуються» [6], що відповідає нормам країн Європейського союзу(ЄС). Даний нормативний документ передбачає наступні категорії ТЗ за параметрами маси:

- колісні засоби категорії M_3 – механічні колісні засоби, які мають не менше чотирьох коліс і призначені для перевезення пасажирів та їх багажу, що має максимальну технічно допустиму масу більше ніж 5 тон;
- колісні засоби категорії N_3 – механічні колісні засоби, які мають не менше чотирьох коліс і призначені для перевезення вантажів, максимальна технічно допустима маса якого більше ніж 12 тон;
- колісні засоби категорії O_4 – причіпні колісні засоби, призначені та сконструйовані для перевезення вантажів або людей, а також для використання як житлові приміщення, із максимальною технічно допустимою масою більше ніж 10 тон.

Крім того, в Україні діє Постанова Кабінету Міністрів України «Про Правила дорожнього руху» [7] (ПДР), що визначає конкретні максимально-допустимі значення до геометричних параметрів та параметрів мас дорожніх автотранспортних засобів.

В окремих випадках, по дорогам України дозволено рух ТЗ у яких фактичні значення геометричних параметрів і параметрів мас перевищують максимально-допустимі. В такому випадку починає діяти Постанова Кабінету Міністрів України «Про проїзд великогабаритних та великовагових транспортних засобів автомобільними дорогами, вулицями та залізничними переїздами» [8]. Проте, дана Постанова не забороняє і не обмежує можливість руху ТЗ і геометричними параметрами і параметрами мас, що перевищують допустимі норми. Дана постанова тільки встановлює додаткові заходи безпеки і систему дозволів.

Серед іноземних нормативних документів, що висувають вимоги до габаритних і масових параметрів дорожніх транспортних засобів, можна віднести Директиву Ради 96/53/ЄС від 25 липня 1996 року зі змінами [9]. Максимально-допустимі параметри розмірів і мас ТЗ згідно даної Директиви.

Норми щодо розмірів і ваги транспортних засобів є одними з найважливіших факторів, що визначають вимоги до проектування та обслуговування доріг і мостів, а також вартість вантажних перевезень. Усі держави регулюють вагу та розміри транспортних засобів на дорогах загального користування. Загалом ці державні норми регулюють такі розміри:

- максимальна вага на будь-яку окрему вісь;
- максимальна маса на будь-яку групу осей транспортного засобу;
- максимальна маса всього транспортного засобу;
- максимальна довжина, ширина і висота транспортного засобу або комбінації транспортних засобів;
- максимальна кількість причепів.

Деякі держави також регулюють інші розміри, а деякі встановлюють окремі обмеження для різних класів доріг. Існують також спеціальні положення, що встановлюють більш жорсткі обмеження на певні дороги та мости.

ПДР України унормовують такі максимальні значення зовнішніх габаритів як ширина, висота від поверхні дороги та довжина ТЗ окремо для різних типів (вантажного автомобіля, автопоїзда, автомобіля (тягача) з напівпричепом, маршрутного транспортного засобу).

Директива Ради 96/53/ЄС, в свою чергу, фіксує максимально-допустимі значення геометричних параметрів для різних типів ТЗ. А саме:

- максимальну довжину для моторних ТЗ, причепів, зчленованих ТЗ, автопоїздів, різних автобусів, автобусів;

- максимальну ширину для усіх ТЗ та надбудов кондиціонованих ТЗ або кондиціонованих контейнерів чи змінних корпусів;

- максимальну висоту (для будь-якого ТЗ);

- максимальну відстань між віссю сідельно-зчіпного пристрою та задньою частиною напівпричепа;

- максимальну відстань, що вимірюється паралельно до поздовжньої осі автопоїзда від крайньої передньої точки зони завантаження за кабіною до крайньої задньої точки причепа комбінації без урахування відстані між задньою частиною тягача та передньою частиною причепа;

- максимальну відстань, що вимірюється паралельно до поздовжньої осі автопоїзда від крайньої передньої точки зони завантаження за кабіною до крайньої задньої точки причепа комбінації.

Що стосується максимально-допустимих значень параметрів фактичної маси та навантаження вісь дорожніх автотранспортних засобів, то ПДР [7] унормовують їх окремо для різних категорій автомобільних доріг (державного та місцевого значення) та типів ТЗ. А саме:

- вантажних автомобілів – двовісних, трьохвісних, чотирьохвісних;

- чотирьохвісних автомобілів з двома рульовими вісями та ведучими вісями, оснащеними спареними колесами;

- комбінованих ТЗ - двовісних автомобілів (тягаів) з двовісним та трьохвісним напівпричепом, трьохвісних автомобілів (тягачів) з двовісним або трьохвісним напівпричепом, двовісних автомобілів (тягачів) з трьохвісним напівпричепом (контейнеровоз),

- автопоїздів - двовісних або трьохвісних автомобілів з двовісним або трьохвісним причепом.

Директива Ради 96/53/ЄС [9] фіксує без розподілу по категоріях доріг максимальну дозволену масу:

- причепів, які мають 2 та 3 осі, моторних ТЗ, які мають 2 осі, з напівпричепом, який має 3 осі, моторних ТЗ, які мають 3 осі, з напівпричепом, який має 2 або 3 осі, моторні ТЗ, що мають 3 осі, із напівпричепами, що мають 2 або 3 осі,

- автопоїздів, які мають 4 осі, що складаються із моторного транспортного засобу, який має 2 осі, та причепа, що має 2 осі,

- зчленованих ТЗ, які мають 4 осі, що складаються із моторного транспортного засобу, який має 2 осі, та напівпричепа, що має 2 осі, та різною відстанню між осями напівпричепа;

- моторних ТЗ, які мають 2 та 3 осі, і працюють на альтернативних видах палива,;

- моторних ТЗ які мають 2 та 3 осі із нульовим рівнем викидів;

- автобусів, які мають 2 осі;

- моторних ТЗ, які мають 3 осі;

- моторних ТЗ, які мають 4 осі, серед яких 2 поворотні осі,

- зчленованих автобусів, які мають 3 осі;

- зчленованих автобусів, які мають 3 осі, та працюють на альтернативних видах палива;

зчленованих автобусів, які мають 3 осі, та нульовий рівень викидів.

ПДР [7] нормують максимальне навантаження на:

- на одинарну вісь;

- на здвоєні осі, при різних відстанях між осями та типами ТЗ;

- на строєні осі, при різних відстанях між осями.

Директива Ради 96/53/ЄС, унормовує максимальне дозволене навантаження на:

- одиночні непривідні осі;

- здвоєні осі причепів та напівпричепів, з різною відстанню між осями;

- -строєні осі причепів та напівпричепів, з різною відстанню між осями;

- привідні осі автопоїзда з 5 або 6 осями або зчленовані транспортні засоби з 5 або 6 осями;

- привідні осі автопоїздів, які мають 2 та 4 осі, що складаються із моторного ТЗ з 2 осями, та причепа, що має 2 осі;

- осі зчленованих ТЗ засобів, які мають 4 осі, та складаються із моторного ТЗ, який має 2 осі, та напівпричепа, що має 2 осі;

- моторних ТЗ, які мають 2, 3 та 4 осі, серед яких 2 поворотні; зчленованих автобусів, які мають 3 осі;

- здвоєні осі моторних ТЗ, з різною відстанню між осями.

У 2022 році Постановою Кабінету міністрів України про лібералізацію перевезень великогабаритних і великовагових вантажів, якою запроваджуються європейські стандарти щодо габаритно-вагових обмежень деталізовано й уточнено максимально допустимі навантаження на вісь залежно від кількості осей і міжвісної відстані. Перехід на європейські норми норми став можливим завдяки технічним характеристикам нових українських автомобільних доріг.

Так, для звичайних вантажівок максимальні значення фактичної маси на державних дорогах передбачають:

- 18 тонн – для 2-вісних автомобілів;
- 25 тонн – для 3-вісних автомобілів;П
- 32 тонни – для 4-вісних автомобілів;
- 38 тонн – для 4-вісних автомобілів (з двома кермовими осями, ведучими осями та оснащених спареними колесами).

Також встановлено норми для тягачів із напівпричепами.

Для вантажівок, з'єднаних із причепом або напівпричепом (комбінованих), максимальні значення фактичної маси на державних дорогах передбачають:

- 36 тонн – для 2-вісних тягачів із 2-вісним напівпричепом;
- 40 тонн – для 2-вісних тягачів із 3-вісним напівпричепом;
- 40 тонн – для 3-вісних тягачів із 2-осним, або 3-вісним напівпричепом;
- 42 тонни – для 2-вісних тягачів із 3-вісним напівпричепом, що здійснюють перевезення одного або більше контейнерів або змішаних кузовів, максимальною довжиною 13,716 м (контейнеровози);
- 44 тонни – для 3-вісних тягачів із 2-вісним, або 3-вісним напівпричепом, які здійснюють перевезення одного або більше контейнерів або змішаних кузовів, максимальною довжиною 13,716 м (контейнеровози).

У Сполучених Штатах Америки існує загальноприйнята формула для обчислення допустимої ваги транспортних засобів [10]. Ця формула враховує можливість переїзду ТЗ через міст. У 1975 році Конгрес ухвалив формулу мосту (Bridge Formula), щоб обмежити співвідношення ваги та довжини транспортного засобу, що перетинає міст. Це досягається шляхом розподілу ваги на додаткові осі або збільшенням відстані між осями. Відповідність обмеженням ваги Bridge Formula визначається за формулою [11]:

$$W = 500 \cdot \left(\frac{L \cdot N}{N-1} + 12 \cdot N + 36 \right) \quad (1)$$

де W – загальна вага брутто на будь-якій групі з двох або більше послідовних осей з точністю до 500 фунтів;

L – відстань у футах між зовнішніми осями будь-якої групи з двох або більше послідовних осей;

N – кількість осей у групі, що розглядається.

Згідно з цією формулою, максимально допустима вага транспортних засобів становить 80 000 фунтів (приблизно 36 т). Навантаження на одиночну вісь не може перевищувати 20 000 фунтів (9 т), на здвоєну вісь – 34 000 фунтів (15,4 т) [10].

У Канаді значення геометричних параметрів і параметрів мас дорожніх автотранспортних засобів нормуються Федерально-провінційно-територіальним меморандумом про взаєморозуміння щодо міжпровінційних ваг і розмірів [11].

Згідно з цим Меморандумом, в Канаді діють обмеження:

за максимальною довжиною

вантажівка – 12,5 м;
міжміський автобус – 14 м;
напівпричеп – 16,2 м;
вантажівка з причепом – 23 м;
тягач з напівпричепом – 23,5 м;
двомісний автопоїзд категорії А і С – 25 м;
двомісний автопоїзд категорії В – 27,5 м.

за масою

гранична маса кермової осі – 5 500 кг;
для другої осі, оснащеної двома одинарними шинами, кожна з яких має ширину 445 мм або більше – 7 700 кг;
для групи осей, оснащених одинарними шинами, кожна з яких має ширину 445 мм або більше – 15 400 кг;
для другої осі, оснащеної двома здвоєними шинами – 9 100 кг;
для групи осей, оснащеної двома здвоєними шинами – 17 000 кг;
вантажівки та міжміські автобуси – 24 250 кг;
комбінована маса вантажівки що має 3 осі – 23 700 кг;
комбінована маса вантажівки що має 4 осі – 31 600 кг;
комбінована маса вантажівки що має 5 осей – 39 500 кг;
комбінована маса вантажівки що має 6 осей – 46 500 кг
комбінована маса тягача з напівпричепом – 46 500 кг;
двомісний автопоїзд категорії А – 53 500 кг;
двомісний автопоїзд категорії В – 62 500 кг;
двомісний автопоїзд категорії С – 58 500 кг.

У Канаді норми завантаження транспортних засобів залежать також від погодних умов. За сприятливих погодних умов навантаження на одиночну вісь не може перевищувати 9 т, на здвоєну – 18 т, на строєну – 21 т (відстань між осями має бути від 2,4 м до 3 м). Для потрійних осей, відстань між дальніми осями яких коливається в межах 3 м – 3,6 м, максимальна вага становить 24 т, якщо ж відстань між осями дорівнює 3,6 – 3,7 м, допустимою є вага у 26 т. У період відлиги ці показники зменшуються з 21 т до 18 т, з 24 т до 21 т та з 26 т до 22 т відповідно. У разі відхилення водії вантажівок повинні або розподілити вагу більш рівномірно між осями, або зняти зайву вагу, перш ніж продовжити рух [11].

Разом з тим за даними Укравтодор на початок військових дій [16] майже 2/3 із загальної кількості мостових споруд України не відповідали сучасним нормам за габаритом та вантажопідйомністю. Значні руйнування транспортної інфраструктури, що були спричинені військовою агресією проти нашої країни великою мірою погіршили ці показники. Діючим нормативним документом що регламентує основні принципи та алгоритми для визначення вантажопідйомності діючих автодорожніх мостів є Методичні рекомендації МР В.2.3-37641918-921:2021 [13]. Відповідно до цих рекомендацій вантажопідйомність мосту перевіряють шляхом порівняння розрахункового зусилля від характеристичного навантаження з граничним зусиллям для перерізу конструкції. При цьому величина характеристичного навантаження регламентується Державники будівельними нормами [14]. У роботі [15] проведено детальний аналіз вимог та Порівняння розрахункових автомобільних навантажень моделі АК в національних норм з моделлю LM1 Єврокоду EN 1991-2 і моделлю трака за нормами США AASHTO LRFD. Встановлено, що значним недоліком національних норм є занижені значення характеристичних навантажень майже вдвічі порівняно з європейськими нормами. Національні нормативи набули чинності з 2009 року та, відповідно, не враховують трансформацій, які відбулися у складі потоку великовантажних транспортних засобів, особливо під час воєнних конфліктів.

Висновки. Проведеним дослідженням встановлено наявність певних особливостей нормативних вимог різних країн до геометричних параметрів та параметрів мас великовагових автотранспортних засобів. Більшість допустимих значень геометричних параметрів і параметрів мас у

Директиві Ради ЄС [9] та Меморандумі [12] регламентують однакові вимоги з Правилами дорожнього руху [7] разом з тим враховують більше комбінацій навантажень.

Розглянуті нормативи також мають значний економічний вплив в середині країна та у зовнішній торгівлі, враховуючи різницю обмежень щодо вантажних перевезень в рівних країнах. Економічна складова обумовлена тим, що значна частина вантажних транспортних послуг належить автомобільним перевезенням, а їх вартість напряму залежить від розміру та маси транспортного засобу. Обмеження на розміри та масу визначають витрати на будівництво та технічне обслуговування транспортних споруд, та впливають на можливі на збитки від аварій, що можуть відбуватися на цих інфраструктурних об'єктах.

Наступним етапом роботи є розв’язання актуального завдання щодо розроблення та впровадження сучасної моделі навантаження, що базується на актуальних та перспективних параметрах великовантажних автотранспортних засобів. Це дозволить обґрунтовано визначити фактичну вантажопідйомність мостових переходів, сприяючи підвищенню їхньої надійності та тривалості терміну служби. Вирішення поставленої задачі можливе шляхом проведення комплексу досліджень. Важливим етапом є систематична реєстрація складу великовантажних автомобілів у транспортному потоці із визначенням частки найбільш популярних та важких типів. На основі детальної статистичної обробки отриманих результатів розробляються прогнозні моделі навантаження на транспортні споруди. Такий аналітичний підхід покликаний виявити потенційні ризики та сприяти ефективному плануванню майбутніх інженерних рішень для забезпечення оптимальної конструкції транспортних споруд, можливих ремонтних та експлуатаційних заходів у контексті збільшення ефективності вантажних навантажень.

Перелік посилань

1. Обсяги перевезених вантажів за видами транспорту. – URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/tr/opv/arh_opv_u.htm

2. Перевезено вантажів і пасажирів, вантажо- та пасажирообіг. – URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2022/tr/pvp_vp_new/arh_pvp_22_u.htm

3. Закон України «Про автомобільний транспорт» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, № 22, ст.105) – Редакція від 23.03.2023 – [Електронний ресурс] – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text

4. Закон України «Про дорожній рух» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1993, № 31, ст.338) – Редакція від 01.10.2023 – [Електронний ресурс] – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12#Text

5. Закон України «Про автомобільні дороги» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2005, № 51, ст.556) – Редакція від 19.12.2021 – [Електронний ресурс] – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15#Text

6. Постанова КМУ «Про єдині вимоги до конструкції та технічного стану колісних транспортних засобів, що експлуатуються» (№ 1166 від 22 грудня 2010 р.) – Редакція від 14.01.2021 – [Електронний ресурс] – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1166-2010-п#Text

7. Постанова КМУ «Про Правила дорожнього руху» (№ 1306 від 10 жовтня 2001 р.) – Редакція від 14.12.2022 – [Електронний ресурс] – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF#Text

8. Постанова КМУ «Про проїзд великогабаритних та великовагових транспортних засобів автомобільними дорогами, вулицями та залізничними переїздами» (№ 30 від 18 січня 2001 р.) – Редакція від 11.05.2023 – [Електронний ресурс] – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/30-2001-п#Text

9. ДИРЕКТИВА РАДИ 96/53/ЄС від 25 липня 1996 року про встановлення для деяких дорожніх транспортних засобів, що перебувають в обігу в межах Співтовариства, максимальних дозволених розмірів для внутрішнього та міжнародного дорожнього руху та максимальної дозволеної

маси для міжнародного дорожнього руху. – Редакція від 14.08.2019 – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_002-96#Text

10. Габаритно-вагові норми при завантаженні транспортних засобів, штрафи за їх перевищення та способи контролю (досвід ЄС, США та Канади) – URL: https://infocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/29199.pdf

11. Bridge Formula Weights – U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration – URL: http://ops.fhwa.dot.gov/freight/publications/brdg_frm_wghts/index.htm

12. Heavy Truck Weight and Dimension Limits for Interprovincial Operations in Canada. Resulting From The Federal-Provincial-Territorial Memorandum of Understanding on Interprovincial Weights and Dimensions (January 2019) – URL: https://comt.ca/english/programs/trucking/MOU%202019.pdf

13. Методичні рекомендації МР В.2.3-37641918-921:2021

14. ДБН В.1.2-15:2009. Мости та труби. Навантаження і впливи. Київ, 2009. 84 с. (Інформація та документація). DBN V.1.2-15:2009. Mosty ta truby. Navantazhennia i vplyvy [State Building Norms (DBN V.1.2-15:2009) Bridges and pipes. Loads and influences]. Kyiv, 2009. 84 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

15. Корнієв М. Пропозиції щодо зміни навантаження на мости. Дороги і мости. Київ, 2023. Вип. 27. С. 189–198. Mykhailo Korniev. Proposals for changing the load on bridges. Dorogi i mosti [Roads and bridges]. Kyiv, 2023. Iss. 27. P. 189–198 [in Ukrainian].

16. Центр транспортних стратегій – [Електронний ресурс] – URL: https://cfts.org.ua/spetsproekty/navesti_mosty_chto_nuzhno_znat_o_natsionalnoy_programme_vosstanovleniya_mostov_

COMPARATIVE ANALYSIS OF NORMATIVE LOADS IN THE DESIGN AND MAINTENANCE OF TRANSPORT FACILITIES

Bubela Andrew V., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, email: bubelaandrey@ukr.net, https://orcid.org//0000-0002-5619-003X

Ivanushko Oleksandr M., Ph.D., Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, National Transport University, e-mail: o.ivanushko@ntu.edu.ua, tel. +380969298556, https://orcid.org/0000-0003-3759-5856.

Rutkovska Inessa A., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: ria_ntu@ukr.net, https://orcid.org/0000-0001-7832-4222

Usychenko Olena Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Transportation Construction and Property Management Department, National Transport University, e-mail: fbbk@ukr.net, tel. +380442803942, https://orcid.org/0000-0002-7482-8420

Summary. The work analyzes both domestic and international regulatory documents that regulate the maximum permissible values of geometric and mass parameters of heavy vehicles. The regulations that establish standards at the stage of design and operational maintenance of transport facilities are considered separately. The need to improve the regulatory and technical base in the direction of determining the actual loads on existing road bridges, taking into account possible defects of the surface, is justified. The new reference load model should also take into account the parameters of the existing load flow, as well as the prospects of forecasting its changes to ensure a high level of accuracy and prognostic effectiveness in the area of load determination and their impact on infrastructure objects in the transport construction system.

Keywords: Transport structures, dimensions and weight parameters of vehicles, normative values.

References

1. Volumes of transported goods by types of transport. – URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/tr/opv/arh_opv_u.htm

2. Transported cargo and passengers, cargo and passenger traffic. – URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2022/tr/pvp_vp_new/arh_pvp_22_u.htm

3. Law of Ukraine "On Road Transport" (Vedomosti Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 2001, No. 22, Article 105) - Redaction dated 03.23.2023 - [Electronic resource] – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text

4. Law of Ukraine "On Road Traffic" (Vedomosti of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 1993, No. 31, Article 338) - Redaction dated 01.10.2023 - [Electronic resource] – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12#Text

5. Law of Ukraine "On Motor Roads" (Vedomosti Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 2005, No. 51, Article 556) - Redaction dated 12.19.2021 - [Electronic resource] – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15#Text

6. Resolution of the CMU "On unified requirements for the design and technical condition of wheeled vehicles in use" (No. 1166 dated December 22, 2010) - Edition dated January 14, 2021 - [Electronic resource] – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1166-2010-п#Text

7. Resolution of the CMU "On Traffic Rules" (No. 1306 of October 10, 2001) - Edition of December 14, 2022 - [Electronic resource] – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF#Text

8. Decree of the CMU "On the passage of large and heavy vehicles on highways, streets and railway crossings" (No. 30 of January 18, 2001) - Edition of 05/11/2023 - [Electronic resource] – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/30-2001-п#Text

9. COUNCIL DIRECTIVE 96/53/EC of July 25, 1996 establishing for certain road vehicles in circulation within the Community the maximum permitted dimensions for domestic and international road traffic and the maximum permitted mass for international road traffic. – Editorial office dated 08/14/2019– URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_002-96#Text

10. Dimensions and weight standards when loading vehicles, fines for exceeding them and methods of control (experience of the EU, USA and Canada)– URL: https://infocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/29199.pdf

11. Bridge Formula Weights – U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration – URL: http://ops.fhwa.dot.gov/freight/publications/brdg_frm_wghts/index.htm

12. Heavy Truck Weight and Dimension Limits for Interprovincial Operations in Canada. Resulting From The Federal-Provincial-Territorial Memorandum of Understanding on Interprovincial Weights and Dimensions (January 2019) – URL: https://comt.ca/english/programs/trucking/MOU%202019.pdf

13. Methodological recommendations MP B.2.3-37641918-921:2021

14. DBN V.1.2-15:2009. Mosty ta truby. Navantazhennia i vplyvy [State Building Norms (DBN V.1.2-15:2009) Bridges and pipes. Loads and influences]. Kyiv, 2009. 84 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

15. Mykhailo Korniev. Proposals for changing the load on bridges. Dorogi i mosti [Roads and bridges]. Kyiv, 2023. Iss. 27. P. 189–198 [in Ukrainian].

16. Center for transport strategies - [Electronic resource] – URL: https://cfts.org.ua/spetsproekty/navesti_mosty_chto_nuzhno_znat_o_natsionalnoy_programme_vosstanovleniya_mostov_

УДК 303.732:656.07
UDC 303.732:656.07
DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-034-044

ПОСТАНОВКА МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ АВТОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

DEVELOPMENT OF THE MANAGEMENT MODEL FOR ROAD TRANSPORT SYSTEMS INFORMATION SECURITY



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



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



Алєксєєнко Олександр Валерійович, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, Київ, Україна, старший викладач, e-mail: alexalieksieienko@gmail.com, +380636039903,
https://orcid.org/0000-0002-3796-9929



Артемчук Юлія Володимирівна, Національний транспортний університет, кафедра транспортних систем та безпеки дорожнього руху, Київ, Україна, асистент, e-mail: art_julia@i.ua, тел.: +380636047172,
https://orcid.org/0000-0002-3872-7745

Анотація. Проблема безпеки на транспорті була є і буде. Безпека на транспорті – ціль функціонування транспортної організаційно-технічної системи, що полягає в досягненні ситуації (множини ситуацій)

експлуатації транспортного засобу, зафіксованої в конкретний момент часу, яка характеризується відсутністю аварійних пригод або оптимізацією кількісних показників безпеки та екологічності за заданий проміжок часу. Порушення цієї рівноваги призводить до аварійних ситуацій. Необхідно мати діючу систему управління забезпеченням безпеки на транспорті, яка буде працювати на випередження, на запобігання аварійних подій та зниження можливості ризику їх виникнення. Перспективним напрямком удосконалення інформаційного забезпечення моніторингу автотранспортних систем є оперативне інформування водія за допомогою засобів телематики про технічний стан системи під час руху. В разі виникнення проблемної ситуації спеціалістом обігруються сценарії її розв'язку. Щоб прийняти вірне й оперативне рішення, спеціаліст повинен бути експертом, а шлях до експерта пролягає не менш ніж 10 років. Виникає необхідність створити інтелектуальні експертні системи, які дозволять визначати фактичний стан ТЗ на основі отриманих параметрів, за допомогою інженерії знань, приймати рішення та передавати його на пристрій, що інформує водія про необхідність виконання визначеного сценарію. При розв'язанні більшості завдань, пов'язаних із забезпеченням безпеки руху й організації перевезень пасажирів і вантажів у процесі господарської діяльності виникає необхідність забезпечення моніторингу автотранспортних систем за допомогою впровадження інформаційних, телекомунікаційних і супутникових технологій центрів діагностики автомобільних систем і агрегатів. При наявності достатньої кількості і якості параметричних датчиків, що реєструють і передають дані про поточний технічний стан систем і агрегатів вантажних автомобілів і наявності діючих діагностичних алгоритмів у віддалених інформаційно-аналітичних центрах можна уникнути раптових відмов систем і агрегатів вантажних автомобілів, що виконують транспортну роботу, й перебувають на значному віддаленні від власних станцій технічного обслуговування.
Ключові слова: модель управління безпекою дорожнього руху; системний аналіз, сценарій; моніторинг; безпека дорожнього руху, інформаційний моніторинг.

Вступ

Аналіз загального формулювання проблеми в сфері безпеки на транспорті показує наскільки складною в розв'язку є проблема забезпечення безпеки дорожнього руху (ДР). Причин тут багато, але деякі з них досить істотні:

– на кількість дорожньо-транспортних подій (ДТП) має вплив велика кількість факторів про більшість з яких практично нічого не відомо;

– для ефективного функціонування системи управління безпекою дорожнього руху (СУЗБДР) слід мати діючі й апробовані методики аналізу причинно-наслідкових зв'язків між такими категоріями систем як ризик і кількість ДТП, стан, події, учасники транспортних процесів і ін.;

– оцінка ефективності регуляторних і управлінських впливів з боку державних органів, комерційних структур і громадян країни на стан безпеки ДР неможливо без знання законів, закономірностей і функціональних залежностей діючих в області предметної діяльності (ОПД) з забезпечення безпеки в транспортній сфері;

– відсутність розуміння в співтовариства, державних і наукових кадрів того, що негативні випадки із транспортними засобами, людьми, майном і екологією під час руху дорожніми комунікаціями є наслідком незнання, недоробок, невиконання, помилок і промахів, нестачі фінансування, відсутності науково обґрунтованих методів і методик з управлінням станом безпеки ДР;

– дослідження результатів впливу на безпеку дорожнього руху регуляторних і управлінських факторів, змін у законодавстві й нормативно-правовій базі, впровадження організаційно-технічних і технологічних заходів, прямого фінансування робіт неможливо без наявності підтверджених цифрами метацілей, цілей і підцілей системи управління забезпеченням безпеки ДР;

– значне підвищення ефективності інформаційних технологій, яке спостерігається в цей час, практично не позначилося на якості інформаційного забезпечення учасників ДР і фахівців інфраструктури, що працюють у сфері безпеки транспорту й дорожнього сектору;

– предметне й однозначне розуміння сутності й зміст механізмів управління безпекою на транспорті неможливо без продуманої й фактично діючої системи термінів і визначень.

Основна частина

Ідея адаптації методології класичного системного аналізу до вирішення проблем забезпечення безпеки ДР для тих організацій різної форми власності, які працюють в області предметної діяльності автомобільного транспорту й дорожнього сектору.

Дотримуючись системного підходу (СП), у роботах [2,3] була запропонована цілісна система управління забезпеченням безпеки дорожнього руху S яку декомпозували на сім підсистем S_i, i=1,7 (рис.1).

З обліком більш правильних формулювань щодо суті їх предметної діяльності – це підсистеми:

– управління безпекою руху (УБР) [автодорожнього руху, залізничного руху, польотів, судноплавства] – $S_{УБР} \Leftrightarrow S_1$;

– програмно-виробничої реалізації заходів щодо забезпечення безпеки руху (ПВР) – $S_{ПВР} \Leftrightarrow S_2$;

– контрольно-наглядової діяльності по забезпеченню безпеки руху (КНД) – $S_{КНД} \Leftrightarrow S_3$;

– нормативно-правова підсистема до регламентів і технологіям забезпечення безпеки руху (НПП) – $S_{НПП} \Leftrightarrow S_4$;

– законодавчого встановлення вимог, рекомендацій і принципів забезпечення безпеки руху (ЗВ) – $S_{ЗВ} \Leftrightarrow S_5$;

– науково-методологічного й учбово-кваліфікаційного супроводу системи S у цілому й підсистем S_i управління забезпеченням безпеки руху (НУС) – $S_{НУС} \Leftrightarrow S_6$;

– інформаційного забезпечення системи S у цілому й підсистем S_i (ІЗ) – $S_{ІЗ} \Leftrightarrow S_7$.

Позначення A⇔B означає, що вираження A і B тотожні у формальному плані й/або рівносильні в значеннєвому контексті розглянутого завдання.

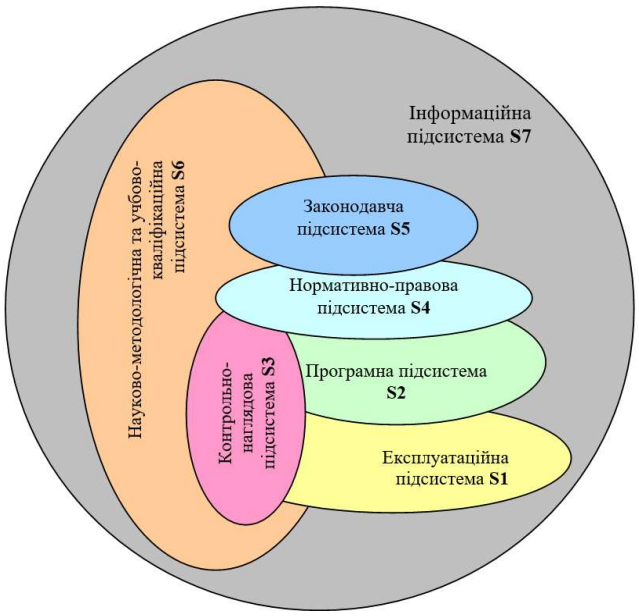


Рисунок 1 – Декларативно-графічна модель СУЗ БДР

Figure 1 – Declarative and graphic model of the BDR system

Для аналізу й побудови імітаційних моделей розглянутої ОПД запропонована методологія концептуально-логічного відображення й проектного моделювання організаційно-технічних систем [3 – 5]. Коротка її суть така. На першому кроці пізнання підсистема представляється у вигляді декларативно-графічного опису, з метою одержання вербальної моделі в якій з максимальною

точністю описуються існуючі й плановані об'єкти, суб'єкти й категорії досліджуваних систем і підсистем. На другому кроці пізнання по декларативно графічній моделі будується формалізована теоретико-множинна модель, яка разом з інфологічною моделлю являють собою концептуальну модель ОПД з забезпечення безпеки дорожнього руху. Концептуальна модель є основою для створення логіко-семантичної моделі, яка дозволяє описувати ситуації й сценарії області предметної діяльності не тільки на кількісному рівні, але й на якісному, що не дають нам строгі математичні (аналітичні) моделі, особливо при синтезі нам необхідного ситуаційного управління в рамках досліджуваної системи. Завершує модельний ряд програмно-конструктивний опис, і вони всі разом представляють проектну модель системи. Так як практично більшість категорій дорожнього руху і факторів впливу на виникнення й розвиток ДТП мають нечітку лінгвістичну форму вираження, то для імітаційного моделювання використовуємо моделі, побудовані на основі нечітких множин із залученням теорії можливостей [6, 7].

Для опису різних аспектів функціонування систем проводиться побудови ряду предметних моделей (ПМ). Для пояснення наведеного дамо перелік проектних моделей на базі теоретико-множинного опису [14] у формалізованому вигляді:

$$\ddot{\text{М}} = f\left\{\text{M}^{\text{j}}_{\text{ТО},2}(S_i);\ \text{M}^{\text{j}}_{\text{ЛЦ},2}(S_i);\ \text{M}^{\text{j}}_{\text{ПР},2}(S_i);\text{M}^{\text{j}}_{\text{СТ},2}(S_i);\text{M}^{\text{j}}_{\text{ФА},2}(S_i);\text{M}^{\text{j}}_{\text{ИО},2}(S_i);\text{M}^{\text{j}}_{\text{СУ},2}(S_i)\right\} \quad (1)$$

де $\text{M}^{\text{j}}_{\text{ТО},2}(\text{S}_\text{i})$ – теоретико-множинна модель термінів та визначень підсистеми S_i j-го рівня деталізації;

$\text{M}^{\text{j}}_{\text{ЛЦ},2}(S_i)$ – ТММ логіки цілей підсистеми;

$\text{M}^{\text{j}}_{\text{ПР},2}(S_i)$ – процесуальна ТММ підсистема;

$\text{M}^{\text{j}}_{\text{СТ},2}(S_i)$ – структурна ТММ підсистема;

$\text{M}^{\text{j}}_{\text{ФА},2}(S_i)$ – ТММ функціональна архітектура підсистеми;

$\text{M}^{\text{j}}_{\text{ІЗ},2}(S_i)$ – ТММ інформаційного забезпечення підсистеми;

$\text{M}^{\text{j}}_{\text{СУ},2}(S_i)$ – ТММ ситуаційного управління підсистемою.

Таким чином, область предметної діяльності з управління забезпеченням безпеки дорожнього руху для якої ми зробили декомпозицію модельний ряд відображення області предметної діядьності і повний перелік предметних моделей дозволяють побудувати й реально використовувати, з метою наступного виходу на імітаційне моделювання, практично весь спектр завдань системного підходу до аналізу й синтезу системи дослідження. Нову термінологічну систему автори статті вже пропонували [8 – 10], її слід ретельно обговорити й прийти до єдиної точки зору. Надані визначення термінів, що мають відношення до транспортних подій – інцидент, серйозний інцидент, аварія, важка аварія – із застосуванням терміну "ризик", і інш. [1].

Системний аналіз як інструментарій дослідження систем управління починає вивчати систему через формування її цілей. Природа цілей систем управління ієрархічна і має такі рівні їх постановки [11]:

$$\ddot{\text{A}} = f\left\{A_1;\ A_2;\ A_3;\ A_4;\ A_5\right\} \quad (2)$$

де A_1 – мета як глобальний задум (загальна мета, Метаціль, що визначає область зацікавленості);

A_2 – мета як загальний напрямок діяльності (визначення шляхів розвитку системи), орієнтованої на втілення глобального задуму;

A_3 – мета як результат цілеспрямованої діяльності (практично це діяльність з управління системою);

A_4 – мета як процес, що забезпечує виконання поставлених вимог;

A_5 – мета як досягнення певного стану (стану цілісності, адаптивності, самозбереження тощо), що забезпечує ефективне функціонування системи.

Основою побудови теоретико-множинної моделі служить, як ми вже відзначали, декларативно-графічний опис області предметної діяльності в цьому випадку – по реалізації автотранспортної роботи автотранспортного засобу. У роботі [1] в систему ВАДС додаються інші учасники дорожнього руху. Розглядаємо цю абревіатуру (система – це голосно звучить) як корисну, але, що схематично позначає середовище автотранспортної діяльності, у якій є проблемна область (ПО) предметній діяльності, зокрема підсистема $S_{1,1}$. В рамках її уточнили об'єкти й суб'єкти, позначені буквами абревіатури ВАДСУ:

В – водій одиночного автомобіля;

А – автомобіль;

Д – автомобільна дорога, по якій рухається автомобіль;

С – природно-техногенне середовище руху автомобіля;

У – інші учасників ДР (інші автомобілі, пішоходи, велосипедисти й ін.).

Впровадження інтелектуалізації інформаційного забезпеченя моніторингу автотранспортних систем дозволить підвищити безпеку руху, швидкість доставки вантажів та пасажирів, забезпечить збереження стану навколишнього середовища [5]. Використання штучного інтелекту в системах управління ТЗ забезпечить новий рівень інформаційної підтримки водія, який грунтується на оцінці конкретної ситуації, прогнозі її розвитку і формуванню необхідних рекомендацій водію.

Вантажні автомобілі при виконанні робіт з доставки вантажів віддаляються від власної бази технічного обслуговування на значні відстані й значний час (до 2-3 тижнів). Відсутність поточного контролю й оцінки технічного стану агрегатів, яку можна виконати за складними діагностичними алгоритмами, може привести до:

– підвищення ризику дорожньо-транспортних пригод;

– можливим наднормативним простоям автомобілів;

– різкому підвищенню вартості усунення відмов агрегатів автомобіля на «чужих» станціях технічного обслуговування;

– недоодержанню прибутків від доставки вантажів.

Наприклад, паралельно із транспортною операцією з переміщення вантажів практично безупинно виконуються інформаційні процедури формування, передачі й аналізу елементів інформації (моніторингу), забезпечення ресурсами, дії з охорони праці, сервісні роботи. Після аналізу інформації, при необхідності, ухвалюються рішення з впливу на транспортні операції, як реакція на відхилення від графіку доставки вантажів. Виконуються рефлексивні дії з оцінювання проблемних ситуацій ДВ із метою знаходження виходу з ускладнень в умовах невизначеності й можливого ризику. Значна праця виконавців затрачається, на оформлення документації (проїзні, навантажувальна/розвантажувальні, для перетинання границь, митні, складські, інформаційні для контрольно-пропускних пунктів і ін.). Етапи сценаріїв вводяться для досягнення більшої адекватності моделей реальних процесів доставки вантажів. Таким чином, етапи являють собою одну й більш послідовність ситуацій ПДВ, прив'язаних до певних об'єктів системи доставки вантажів [15].

В зв'язку з тим що з кожним днем штучний інтелект проникає в наше життя все більше і більше, а технології постійно розвиваються тому починається ера впровадження безпілотних транспортних засобів [15]. В даний час, безліч компаній займається розробкою своїх продуктів для масового ринку, включаючи Tesla, General Motors, Volkswagen, Audi, BMW, Volvo, Nissan, Google, Cognitive Technologies і інш.

Класифікація автоматизації автомобілів розроблена Співтовариством автомобільних інженерів (SAE) і містить 6 рівнів [16, 17]:

Рівень 0, Ніякої автоматизації, водій виконує всю роботу.

Рівень 1, «hands on», «допомога водію». Водій і система разом керують автомобілем. Приклад: водій рулить, а система регулює потужність двигуна, зберігаючи задану швидкість (круїз-контроль) або регулює потужність двигуна і управляє гальмом, зберігаючи задану швидкість, а при необхідності знижуючи, щоб дотримуватися дистанції (адаптивний круїз-контроль). Іншим прикладом є автоматична парковка (en: Automatic Parking), коли швидкість визначається водієм, а рулювання автоматичне.

Рівень 2, «hands off», «часткова автоматизація». Система повністю управляє автомобілем, здійснюючи прискорення, гальмування і рулежку. Водій стежить за їздою і готовий втрутитися в будь-який момент, якщо система не може правильно відреагувати. Незважаючи на назву «hands off», такі системи часто вимагають від водія тримати руки на кермі, як підтвердження готовності втрутитися.

Рівень 3, «eyes off», «умовна автоматизація». Від водія не потрібно негайної реакції. Він може, наприклад, писати повідомлення або дивитися фільм. Система сама реагує на ситуації, що вимагають негайних дій, таких як екстрене гальмування. Від водія вимагається готовність втрутитися в перебіг якогось обмеженого часу, визначеного виробником.

Рівень 4, «mind off», «широка автоматизація». Відрізняється від рівня 3 тим, що від водія не потрібно постійної уваги. Наприклад, він може лягти спати або покинути місце водія. Повністю автоматичне водіння здійснюється лише в деяких просторових областях (геозон) або в деяких ситуаціях, наприклад, в пробках. Поза таких місць або ситуацій система здатна припинити водіння і припарковати машину, якщо водій не взяв керування на себе.

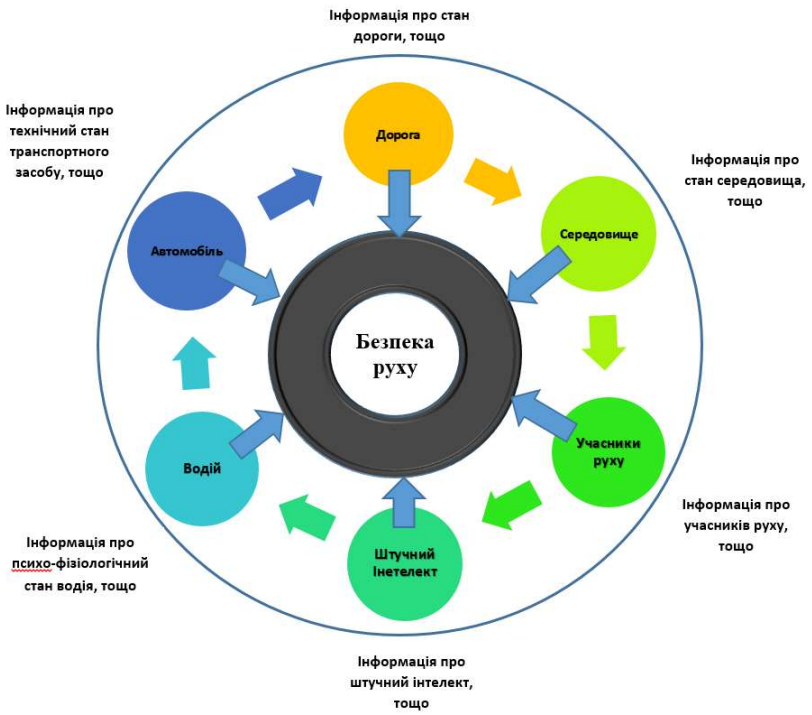


Рисунок 2 – Введення в систему ВАДСУ штучного інтелекту

Figure 2 – Introducing artificial intelligence into the VADSU system

Рівень 5, «steering wheel optional», «повна автоматизація». Ніякого втручання людини не потрібно.

Виходячи з вищенаведеного пропоновану систему ВАДСУ треба поповнювати новою складовою у вигляді «Штучного інтелекту» (ШІ). Тобто будемо оперувати з абревіатурою ВАДСУШІ, тоді підсистема $S_{1,1}$ може бути записана так – $S_{1,1}$ (ВАДСУШІ). Знаючи про це, для стислості записів будемо використовувати просте позначення підсистеми – $S_{1,1}$. Використовуючи термінологічний апарат і результати роботи [5] сформуємо мету функціонування $S_{1,1}$, у вигляді лінгвістичного твердження.

$$C_1 = \begin{cases} W_{TR} \\ K_{DR} \rightarrow r_{ПОТ} \le r_{ВСТ} \end{cases} \quad (3)$$

де:W_{TR} – автотранспортна робота автомобіля в межах просторово-лінійної і / або просторово-точкової категорій дорожнього руху з не перевищенням поточного ризику ДТП;

$r_{ПОТ}$ – поточний ризик ДТП;

$r_{ВСТ}$ – встановлений (прийнятий) рівнь ризику r_{VST}для даної (их) категорії (ий) дорожнього руху

Уточнимо, що під просторово-лінійною категорією дорожнього руху маються на увазі такі поняття: автомобільна дорога; ділянка дороги; вулиця; перехрестя. Під просторово-точковою категорією дорожнього руху: країна; регіон країни; район регіону; населений пункт. Для цих категорій і/або їх комбінацій, у принципі, $r_{ВСТ}$ повинне бути різним.

Структура ВАДСУ, з погляду соціотехнічної дуальності ВА, являє собою сукупність інтегративно-функціональних компонентів (ІФК):

- управіння водієм руху автомобіля, $К_{1,1}$;
- управління інформаційним забезпеченням водія (по візуальних і інших особистісних каналах сприйняття), $К_{1,2}$;
- управління формуванням інформації про події експлуатації й стану автомобіля виконуючого автотранспортну роботу, $К_{1,3}$.

Перші дві компоненти зрозумілі, третя починає зараз інтенсивно реалізовується – це так звані інтелектуальні транспортні засоби [13], хоча вірніше говорити про інтелектуальне інформаційне забезпечення транспортних засобів [14].

Тоді перший рівень деталізації логіки цілей (ЛЦ) для підсистеми $S_{1,1}$ по цілям інтегративно-функціональним компонентам буде:

$$C_1 = f\{C_{1.1}; C_{1.2}; C_{1.3}\} \quad (2)$$

де $С_{1,i}$, $i = \overline{1,3}$ цілі функціонування інтегративно-функціональних компонентів $К_{1,i}$ у вигляді лінгвістичних тверджень [14]:

$$С_{1,1} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Здійснити під керуванням водія В з дотриманням умов: } t_{ДР}^{Ф} \le t_{ДР}^{CP};\ \ r_{ПОТ}^{I} \le r_{ВСТ}^{I};\ r_{ПОТ}^{CI} \le r_{ВСТ}^{CI};\ r_{ПОТ}^{A} \le r_{ВСТ}^{A};\ r_{ПОТ}^{TA} \le r_{ВСТ}^{TA} \text{ рух автомобіля А з початкового пункту } П_Н \text{ в} \\ \text{кінцевий пункт } П_К \text{ по дорозі Д в середовищі С при можливій участі інших учасників} \\ \text{дорожнього руху У забезпечивши водія інформацією ІВ і формування поточної} \\ \text{суб'єктивної і об'єктивної інформації ІФ} \end{array} \right\} \quad (5)$$

$$С_{1,2} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Надати водієві В достовірну } \Delta\text{, повну } П\text{, однорідну О, неперервну N інформацію } I_{ВХ} \end{array} \right\} \quad (6)$$

$$C_{1,3} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Формувати оперативно } \Omega \text{ і економічно } \Sigma \text{ достовірну } \Delta, \text{ повну } \Pi, \text{ однорідну O} \\ \text{і неперервну N об'єктивну и суб'єктивну інформацію } I_{ВИХ} \text{ про події експлуатації та} \\ \text{стану автомобілю A} \end{array} \right\} \quad (7)$$

У твердженні (5) чисельні змінні мають смислові значення і є елементами множин:

$t_{ДР}^{Ф}, t_{ДР}^{CP}$ – фактичне й середнє значення часу дорожнього руху А від $П_П$ до $П_К$;

$r_{ПОТ}^{W}, r_{ВСТ}^{W}$ – поточне й встановлене значення ризику ДТП;

$r_{ПОТ}^{W}, r_{ВСТ}^{W} \in R_w$; множина W – {I, CI, A, TA} складається з наступних елементів – видів ДТП:

I – інцидент;

CI – серйозний інцидент;

A – аварія;

TA – тяжка аварія;

причому $r_{ВСТ}^{W} = \sup R_W$,

тобто встановлені значення ризиків ДТП дорівнюють верхнім границям відповідних множин.

Декларативні (вербальні описи цілей) C_1, $C_{1,i}$, $i = \overline{1,3}$ дозволяють перейти до побудови їх теоретико-множинних моделей у формі відображень:

$$M_{ЛЦ,2}^{1}(K_{1,1}) : B \times A \times T_1 \times R_I \times R_{CI} \times R_A \times R_{TA} \times П_П \times П_К \times Д \times C \times У \times I_B \times I_Ф \times T \to C_{1,1} \times T \quad (8)$$

$$M_{ЛЦ,2}^{1}(K_{1,2}) : B \times A \times \Delta \times \Pi \times O \times N \times I_{ВХ} \times \Omega \times \Sigma \times T \to C_{1,2} \times T \quad (9)$$

$$M_{ЛЦ,2}^{1}(K_{1,3}) : B \times A \times \Omega \times \Sigma \times \Delta \times \Pi \times O \times N \times I_{ВИХ} \times T \to C_{1,3} \times T \quad (10)$$

$$M_{ЛЦ,2}^{1}(S_{1,1}) : C_{1,1} \times C_{1,2} \times C_{1,3} \times T \to C_1 \times T \quad (11)$$

Теоретико-множинна модель у вигляді відображення являє собою декартовий добуток множин (концептів моделей) у вигляді

$$M: A \times B \times C \to D \quad (12)$$

Це вираження кожному 3-х елементному кортежу {a, b, c} ставить у відповідність елемент {d}, де a, b, c, d – елементи універсумів, множин A, B, C, D, тобто, a∈A, b∈B, c∈C и d∈D. Іншими словами, відображення (10) являє собою функцію M, певну на множинах – універсумах A, B, C, що приймає значення в множині D. При цьому функція M не зв'язує множини A, B, C, D аналітично, а є, як правило, логічної (алгоритмічної, семантичної, лінгвістичної) формою відповідності кожному варіанту кортежу (набору елементів a, b, c) елемента d. Універсум U – універсальна множина U, що складається з усіх елементів, які, в принципі, можуть брати участь в даному завданні або, більш широко, у завданнях даного типу.

Висновки

Таким чином, теоретико-множинні моделі (8 – 10) дозволяють на семантичному рівні формально описувати множини (практично всі можливі) реальних подій у рамках підсистеми $S_{1,1}$ – підсистеми ВАДСУ. Це дозволяє на наступному рівні опису логіки цілей по цілям інтегративно-функціональних компонентів перейти до логіко-лінгвістичних моделей. Даний клас моделей являє собою модель знань

про об'єкт у строго формалізованій лінгвістичній формі. У свою чергу, вона служить підставою для переходу до формалізмів математичної логіки типу: аксіоми, висловлення, висновки, гіпотези, теореми й інш., у вигляді зв'язаних кванторів і предикатів. Ефективний математичний апарат даної дисципліни дозволяє одержувати висновки про досягнення елементів множин C_1 – цілей по забезпеченню безпеки дорожнього руху. Наступним етапом в зв'язку з введенням штучного інтелекту у систему ВАДСУ потрібно більш детально дослідити яку роль штучний інтелект виконує в системі ВАДУСУШІ

Список використаних джерел

1. Петрашевский О.Л., Редзюк А.М., Алєксєєнко О.В. Методологія концептуально-логічного і проектного моделювання цілей системи управління безпекою дорожнього руху /Проблеми транспорту: Збірник наукових праць: Випуск 6. – Київ: НТУ, 2009. – С.82 (С.76-89).

2. Петрашевский О.Л., Редзюк А.М. Морфологія області предметної діяльності по забезпеченню безпеки на транспорті // Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики. Матеріали 6-ої Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 2004. – С.43-46.

3. Петрашевский О.Л., Редзюк А.М., Корбут В.В., Работньов В.Г. Структура системи управління забезпеченням безпеки на транспорті // Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики. Матеріали 7-ої Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 2005. – С. 127 – 130.

4. Петрашевский О.Л., Алєксєєнко О.В. Удосконалення інформаційного забезпечення моніторингу автотранспортних систем // Вісник Національного транспортного університету, №13, 2006. – С. 53 – 58.

5. Петрашевский О.Л., Корбут В.В., Работньов В.Г. Ідентифікація концептуальних та логіко-лінгвістичних моделей транспортних організаційно-технічних систем за рівнями побудови // Вісник Національного транспортного університету. – К., 2003. – Випуск 8. – С.117-120.

6. І.М. Удовик, Г.М. Коротенко, Л.М. Коротенко, В.О. Трусов, А.Т. Харь Методи та системи штучного інтелекту Навчальний посібник – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2017. – 105 с.

7. Желдак Т.А., Коряшкіна Л.С., Ус С.А. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень, за редакцією С.А. Ус ; М-во освіти і науки України, Нац. Техн. Ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 387 с.

8. Петрашевський О.Л., Корбут В.В. Принципи побудови понятійного апарату діяльності по управлінню безпеки авіації загального призначення. Збірник доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції "Авіа – 2003". – К.: НАУ, 2003. – С.134-136.

9. Петрашевський О.Л., Работньов В.Г. Терміни и визначення системи управління забезпеченням безпеки судноплавства // Проблеми транспорту: Зб. Наук. Пр. Випуск 2. – К.: 2005. – С.111 – 114.

10. Петрашевський О.Л., Редзюк А.М., Алєксєєнко А.В., Моделі термінів и визначень системы управления обеспечением безопасности на транспорте. Проблеми транспорту: Зб. Наук. Пр. Випуск 5. – К.: 2008. С. 28 – 36.

11. Основи теорії систем і управління: навч. посіб. – Рівне: НУВГП, 2021. – 272 с.

12. Svítek, Miroslav & Pribyl, Pavel. (2001). Inteligentní dopravní systémy ISBN: 80-7300-029-6.

13. Петрашевський О.Л. Методологічні аспекти дослідження і проектування транспортних організаційно-технічних систем. Вісник Північного наукового центру транспортної академії України. – 2003. Вип. 6. – С.31 – 33

14. Алєксєєнко О.В., Артемчук Ю.В. Методологія моделювання цілей системи управління безпекою дорожнього руху та процесів доставки вантажів // «SCIENTIFIC LETTERS OF ACADEMIC SOCIETY OF MICHAL BALUDANSKY». – 2019 Kosice, Slovakia, №7.– С.15 – 22. ISSN 1338-9432.

15. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BA%D0%B5

%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C
16. https://www.wired.com/2016/08/self-driving-car-levels-sae-nhtsa/
17. https://www.sae.org

DEVELOPMENT OF THE MANAGEMENT MODEL for ROAD TRANSPORT SYSTEMS INFORMATION SECURITY

Gameliak Igor P., Doctor of Engineering Sciences, professor, Head of Department of Transport Infrastructure System Design and Geodesy, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: gip65n@gmail.com, +380503524124, https://orcid.org/0000- 0001-9246-7561.

Dmytrychenko Andij M., Candidate of Engineering Sciences, associate professor of department transport law and logistic, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006, https://orcid.org/0000-0001-6144-7533.

Alieksieienko Oleksandr Valeriiovych, National transport university, Department of Transport Infrastructure System Design and Geodesy, senior lecturer; e-mail: alexalieksieienko@gmail.com, тел. +380636039903; id ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3796-9929

Artemchuk Yuliia Volodymyrivna, National Transport University, Department of Transport Systems and Traffic Safety, Assistant, e-mail: art_julia@i.ua, тел.: +380636047172;id ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3872-7745

Abstract

The problem of transportation safety was and will be exist. Transport safety is the target of the functioning of the transport organizational and technical system, that is composed for achieve the situation (set of situations) of the vehicle operating, fixed at a specific point of time, characterized by the accidents absence or the optimization of quantitative safety and environmental performance indicators over a specified period of time. Violation of this equilibrium leads to emergencies. It is necessary to have an operational safety management system in place for transport that works to prevent, preservating accidents and reduce the risk of their occurrence. Promising direction for improvement of monitoring information support of auto transport systems is driver operative informing by telematics ways about system technical condition while driving. In the event of a problem situation, the specialist will play out scenarios for its solution. To make the right and operative decision, the specialist must be an expert, and the path to the expert lasts at least 10 years. There is a necessity to create intelligent expert systems that will determine the actual condition of the vehicle that will based on the obtained parameters, through engineering knowledge, will let to make decisions and to pass it on to the device, that will informing the driver for necessity to execute a specific scenario. While solving most of the tasks related to ensuring the safety of traffic and the organization of passengers and cargo transportation in economic activity process, there is a necessity to ensure the monitoring of motor transport systems through the introduction of informational, telecommunication and satellite technologies of automotive systems and units diagnostic centers. In the presence of sufficient quantity and quality of parametric sensors that record and transmit data on the current technical condition of truck systems and units and the presence of operating diagnostic algorithms in remote informational and analytical centers, sudden failures of truck systems and units that are performing transport work and are located at a considerable distance from their own service stations can be avoided.

Keywords: road safety management model, subject area of activity; systematic analysis, scenario; monitoring; traffic safety, informational monitoring.

References

1. Petrashevskyi O.L., Redziuk A.M., Alieksieienko O.V. Metodolohyia kontseptualno–lohycheskoho y proektnoho modelyrovanyia tselei systemy upravlenyia bezopasnostiu dorozhnoho dvyzhenyia

(Methodology of conceptual-logical and project modeling of the goals of the road safety management system) / Problemy transportu: Zbirnyk naukovykh prats: Vypusk 6.- Kyiv: NTU, 2009.- S.82 (S.76-89). [in Ukrainian]

2. Petrashevskyi O.L., Redziuk A.M. Morfolohyia oblasty predmetnoi deiatelnosty po obespechenyiu bezopasnosty na transporte (Morphology of the field of transport safety) // Rynok posluh kompleksnykh transportnykh system ta prykladni problemy lohistyky. Materialy 6-oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Kyiv, 2004. – S.43-46. [in Ukrainian]

3. Petrashevskyi O.L., Redziuk A.M., Korbut V.V., Rabotnev V.H. Struktura systemy upravlenyia obespechenyem bezopasnosty na transporte (The structure of the transport safety management system) // Rynok posluh kompleksnykh transportnykh system ta prykladni problemy lohistyky. Materialy 7-oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Kyiv, 2005. – S. 127 – 130. [in Ukrainian]

4. Petrashevskyi O.L., Alieksieienko O.V. Udoskonalennia informatsiinoho zabezpechennia monitorynhu avtotransportnykh system (Improving of information security monitoring of auto transport systems) // Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu, №13, 2006. – S. 53 – 58. [in Ukrainian]

5. Petrashevskyi O.L., Korbut V.V., Rabotnov V.H. Identyfikatsiia kontseptualnykh ta lohiko-linhvistychnykh modelei transportnykh orhanizatsiino-tekhnichnykh system za rivniamy pobudovy (Identification of conceptual and logical-linguistic models of transport organisation-technical systems behind the levels) // Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. – K., 2003. – Vypusk 8. – S.117-120. [in Ukrainian]

6. I.M. Udovyk, H.M. Korotenko, L.M. Korotenko, V.O. Trusov, A.T. Khar Metody ta systemy shtuchnoho intelektu Navchalnyi posibnyk – D.: Derzhavnyi VNZ «Natsionalnyi hirnychyi universytet», 2017. – 105 s. [in Ukrainian]

7. Zheldak T.A., Koriashkina L.S., Us S.A. Nechitki mnozhyny v systemakh upravlinnia ta pryiniattia rishen, za redaktsiieiu S.A. Us ; M-vo osvity i nauky Ukrainy, Nats. Tekhn. Un-t «Dniprovska politekhnika». – Dnipro : NTU «DP», 2020. – 387 s. [in Ukrainian]

8. Petrashevskyi O.L., Korbut V.V. Pryntsypy postroenyia poniatyinoho apparata deiatelnosty po upravlenyiu bezopasnosty avyatsyy obshcheho naznachenyia (The principles of constructing the conceptual framework of activities for the management of general aviation safety). Zbirnyk dopovidei V Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii “Avia – 2003”. – K.: NAU, 2003. – S.134-136. [in Ukrainian]

9. Petrashevskyi O.L., Rabotnev V.H. Termyny y opredelenyia systemy upravlenyia obespechenyem bezopasnosty sudokhodstva (Terms and definitions of shipping safety management system) // Problemy transportu: Zb. nauk. pr. Vypusk 2. – K.: 2005. – S.111 – 114. [in Ukrainian]

10. Petrashevskyi O.L., Redziuk A.M., Alieksieienko A.V., Modely termynov y opredelenyi systemy upravlenyia obespechenyem bezopasnosty na transporte (Models of terms and definitions of the transport safety management system). Problemy transportu: Zb. nauk. pr. Vypusk 5. – K.: 2008. S. 28 – 36.

11. Osnovy teorii system i upravlinnia: navch. posib. – Rivne: NUVHP, 2021. – 272 s. [in Ukrainian]

12. Svítek, Miroslav & Pribyl, Pavel. (2001). Inteligentní dopravní systémy ISBN: 80-7300-029-6. [in Chech]

13. Petrashevskyi O.L. Metodolohichni aspekty doslidzhennia i proektuvannia transportnykh orhanizatsiino-tekhnichnykh system. Visnyk Pivnichnoho naukovoho tsentru transportnoi akademii Ukrainy. – 2003. Vyp. 6. – S.31 – 33. [in Ukrainian]

14. Alieksieienko O.V., Artemchuk Yu.V. Metodolohiia modeliuvannia tsilei systemy upravlinnia bezpekoiu dorozhnoho rukhu ta protsesiv dostavky vantazhiv // «SCIENTIFIC LETTERS OF ACADEMIC SOCIETY OF MICHAL BALUDANSKY». – 2019 Kosice, Slovakia, №7.– C.15 – 22. ISSN 1338-9432.

15. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BA%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C

16. https://www.wired.com/2016/08/self-driving-car-levels-sae-nhtsa/

17. https://www.sae.org

УДК 624.04:629.01 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-045-054**
UDC 624.04:629.01

ВРАХУВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ПОПЕРЕЧНОГО ЗСУВУ ПРИ ОБЧИСЛЕННІ ПРОГИНІВ В БАЛКАХ ТОНКОСТІННОГО ПЕРЕРІЗУ

TRANSVERSE SHEAR DEFORMATIONS FOR DEFLECTIONS OF THIN-WALLED BEAMS



***Ільченко Ірина Олексіївна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент, кафедра опору матеріалів та машинознавства, Національний транспортний університет, budivmeh@gmail.com, тел. +380442804368*

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



***Марченко Ніна Григоріївна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент, кафедра опору матеріалів та машинознавства, Національний транспортний університет, nina.marchenkogr@gmail.com, тел. +380442804368*

https://orcid.org/0000-0001-8212-811X



***Гриневицький Борис Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри опору матеріалів та машинознавства, Національний транспортний університет, bvgryn@gmail.com, тел. +380442804368*

https://orcid.org/0000-0002-2220-6654

Анотація. При визначенні прогинів балок використовується класична теорія Ейлера-Бернуллі, яка враховує тільки деформації чистого згинання, а деформаціями поперечного зсуву нехтує. В роботі розглянуто шарнірно обперті балки та консолі з тонкостінними поперечними перерізами: двотавром та кільцем. Розглянуто два типи навантаження: рівномірно розподілене по довжині балки та консолі, а також зосереджена сила посередині шарнірно обпертої балки та на краю консолі. Для зазначених випадків, а також для круглого та прямокутного поперечних перерізів, було виведено формули для коефіцієнта уточнення, який враховує деформацію поперечного зсуву. Для тонкостінних перерізів показано, при якій довжині балки відносно її висоти уточнений прогин перевищує класичний на 5%.

Ключові слова: балка Ейлера-Бернуллі, балка Тимошенка-Еренфеста, деформації поперечного зсуву, класичний прогин, уточнений прогин.

Вступ. Розрахунок будівельних конструкцій виконують з метою забезпечення необхідної міцності, жорсткості та стійкості при мінімальній затраті матеріалів, коштів і праці. Ще Галілео Галілей

на початку XVII ст. вивчав властивості різних металів і першим дослідив міцність балок. Протягом наступним століть методи розрахунку вдосконалювались і будівельники з доступною для їхнього часу точністю визначали зусилля в конструкціях і необхідні розміри перерізів.

Балка – один з найважливіших елементів будівельних споруд. Балки та теорія згинання балок зіграли велику роль в забезпеченні можливості технічного прогресу як такого. При проектуванні споруд часто виникає задача визначення прогинів балок, а сама величина прогинів може бути обмежена різноманітними факторами: технологічними, конструктивними, фізіологічними, естетико-психологічними тощо [4].

При визначенні прогинів в балках, в основному, використовується теорія Ейлера-Бернуллі або класична теорія, яка враховує тільки деформації чистого згинання. Згідно класичної теорії згинання балок при обчисленні прогинів не враховуються деформації поперечного зсуву, а довжина балки відносно її висоти приймається $L \geq 5h$. Проте саме врахування зсуву може уточнити класичний прогин при певних співвідношеннях довжини балки відносно її висоти.

Метою дослідження є отримання формули для коефіцієнта уточнення класичного прогину при врахуванні деформацій поперечного зсуву в простих однопрольотних балках та консолях з ізотропними поперечними перерізами.

Об'єкт дослідження – шарнірно обперті балки та консолі.

Основна частина дослідження. Найпростішим аналітичним варіантом обчислення прогину в плоских балках є використання формули Максвелла-Мора.

Згадана формула складається з двох частин: враховуються деформації чистого згинання та поперечного зсуву [3]:

$$\Delta_{mn} = \Delta_B^{(M+Q)} = \Delta_B^{(M)} + \Delta_B^{(Q)} = \sum_{j=1}^{n} \int_0^l \frac{\overline{M_m} \cdot M_n}{EI} dx + \sum_{j=1}^{n} \int_0^l \mu \cdot \frac{\overline{Q_m} \cdot Q_n}{GF} dx, \quad (1)$$

де $\Delta_B^{(M+Q)}$ – повний прогин в т. B (довільній точці) за напрямком фіктивної сили F_m, отриманий від дії дійсного навантаження, що враховує деформації чистого згинання та зсуву; $\Delta_B^{(M)}$ – частина прогину, що враховує лише дію згинального моменту; $\Delta_B^{(Q)}$ – частина прогину, що враховує лише дію поперечної сили; n – кількість ділянок балки; j – порядковий номер ділянки балки; l – довжина ділянки балки; M_n – згинальний момент, отриманий від дії дійсного навантаження на балку; $\overline{M_m}$ – згинальний момент, отриманий від дії фіктивного навантаження на балку (одинична зосереджена сила F_m, прикладена в точці, де обчислюється прогин); EI – згинальна жорсткість ділянки балки; E – модуль пружності матеріалу, I – момент інерції поперечного перерізу, GF – зсувна жорсткість ділянки балки, G – модуль зсуву матеріалу, F – площа поперечного перерізу. Інтегрування відбувається вздовж осі балки (координатна вісь x).

Для знаходження прогину, що враховує лише деформації чистого згинання, використовується скорочена формула Максвелла-Мора:

$$\Delta_B^{(M)} = \sum_{j=1}^{n} \int_0^l \frac{\overline{M_m} \cdot M_n}{EI} dx, \quad (2)$$

Поправочний коефіцієнт в формулі (1) μ згідно [8] визначається наступним чином:

$$\mu = \frac{F}{(I)^2} \int \frac{\left(S_y^*\right)^2}{(b(z))^2} dF, \quad (3)$$

Складові у цій формулі мають ті самі значення, що і при визначенні дотичних напружень в балці при плоскому поперечному згинанні.

Коефіцієнт μ – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує нерівномірність розподілу дотичних напружень по висоті поперечного перерізу балки. Величина μ залежить лише від форми поперечного перерізу. Згідно [7] для деяких перерізів він становить:

Таблиця 1 – Значення поправочного коефіцієнта μ для деяких форм поперечного перерізу
Table 1 – The value of the correction coefficient μ for some cross sections

Переріз	$\boldsymbol{\mu}$	**Переріз**	$\boldsymbol{\mu}$
Прямокутник	1,2	Двотавр	$\frac{F}{F_{\text{ст}}}$ (F – площа поперечного перерізу всього двотавра, $F_{\text{ст}}$ – площа стінки двотавра)
Трикутник рівнобедрений	1,2		
Круг	32/27≈1,18		
Тонкостінне кільце	2,0		

Позначимо прогин, обчислений при врахуванні лише чистого згинання, як $w_{\text{кл}}$, а прогин, знайдений з врахуванням деформацій чистого згинання і поперечного зсуву, як $w_{\text{ут}}$.

Очевидно, що співвідношення між уточненим і класичним прогинами дорівнює деякому коефіцієнту $k_{\text{ут}}$:

$$k_{\text{ут}} = \frac{\Delta_B^{(M+Q)}}{\Delta_B^{(M)}} = \frac{w_{\text{ут}}}{w_{\text{кл}}}. \quad (4)$$

З формули (4) випливає, що на основі класичного прогину можна обчислювати уточнений:

$$w_{\text{ут}} = k_{\text{ут}} \cdot w_{\text{кл}}. \quad (5)$$

Для застосування формули (5) необхідно отримати $k_{\text{ут}}$ для балок з різними умовами закріплення і навантаження.

Розглянемо наступні розрахункові схеми балок: шарнірно обперту балку та консоль з двома видами навантаження на них: рівномірно розподіленим та зосередженою силою (рис. 1).

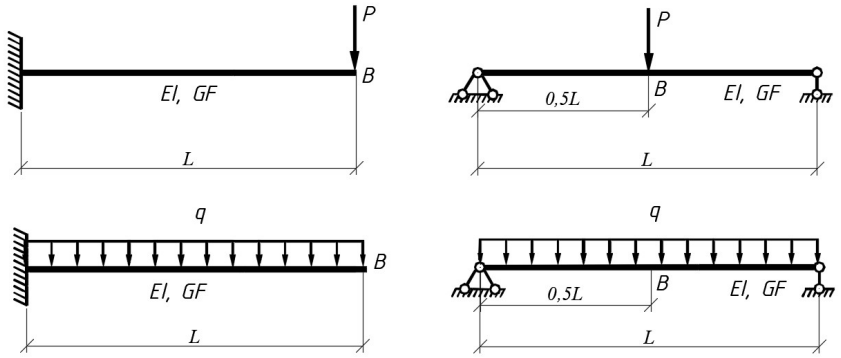


Рисунок 1 – Розрахункові схеми балок

Figure 1 – The beams calculation schemes

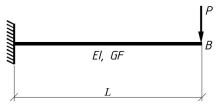
В роботі розглянуті два тонкостінні перерізи: двотавровий та кільце.

В таблицях 2-5 показані формули для коефіцієнта уточнення, що були отримані авторами на основі формул (1)-(5). Подано загальну формулу, а також формули для окремих випадків при різних поперечних перерізах.

Деякі формули для визначення $w_{\text{ут}}$ можна зустріти в літературі. Наприклад, в [1] така формула подана для консолі вилітом L з двотавровим поперечним перерізом (навантаження: зосереджена сила на краю консолі). Зазначена формула збігається з відповідною формулою в таблиці 2.

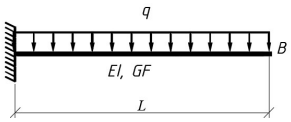
Таблиця 2 – Формули для коефіцієнта уточнення при визначенні максимального прогину консолі від дії зосередженої сили

Table 2 – Formulas for the correction coefficient for determining the maximum deflection of the cantilever with a vertical concentrated force

		$w_{\text{кл}} = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot EI}, \quad w_{\text{ут}} = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot EI} + \mu \frac{P \cdot L}{GF}$	
Загальна формула			
$k_{\text{ут}} = 1 + \mu \cdot \frac{3 \cdot E \cdot I}{GF \cdot L^2}$			
Матеріал – ізотропний			
Тонкостінні профілі металопрокату	$k_{\text{ут}} = 1 + \mu \cdot \frac{6 \cdot (1+\nu)}{L^2} \cdot \frac{I}{F}$	Круг	$k_{\text{ут}} = 1 + \frac{64 \cdot (1+\nu)}{9} \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^2$
Прямокутник	$k_{\text{ут}} = 1 + \frac{3 \cdot (1+\nu)}{5} \cdot \left(\frac{h}{L}\right)^2$	Тонкостінне кільце	$k_{\text{ут}} = 1 + \frac{3 \cdot (1+\nu)}{4} \cdot \frac{D^2 + d^2}{L^2}$

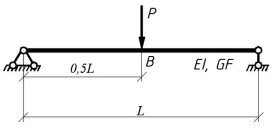
Таблиця 3 – Формули для коефіцієнта уточнення при визначенні максимального прогину консолі під рівномірно розподіленим навантаженням

Table 3 – Formulas for the correction coefficient for determining the maximum deflection of the cantilever with an uniformly distributed load

		$w_{\text{кл}} = \frac{q \cdot L^4}{8 \cdot EI}, \quad w_{\text{ут}} = \frac{q \cdot L^4}{8 \cdot EI} + \mu \frac{q \cdot L^2}{2 \cdot GF}$	
Загальна формула			
$k_{\text{ут}} = 1 + \mu \cdot \frac{4 \cdot EI}{GF \cdot L^2}$			
Матеріал – ізотропний			
Тонкостінні профілі металопрокату	$k_{\text{ут}} = 1 + \mu \cdot \frac{8 \cdot (1+\nu)}{L^2} \cdot \frac{I}{F}$	Круг	$k_{\text{ут}} = 1 + \frac{256 \cdot (1+\nu)}{27} \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^2$
Прямокутник	$k_{\text{ут}} = 1 + \frac{4 \cdot (1+\nu)}{5} \left(\frac{h}{L}\right)^2$	Тонкостінне кільце	$k_{\text{ут}} = 1 + (1+\nu) \cdot \frac{D^2 + d^2}{L^2}$

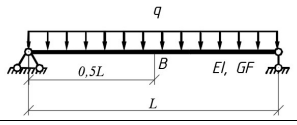
Таблиця 4 – Формули для коефіцієнта уточнення при визначенні максимального прогину шарнірно обпертої балки від дії зосередженої сили

Table 4 – Formulas for the correction coefficient for determining the maximum deflection of the simply supported beam with a vertical concentrated force

<table>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2">$w_{\text{кл}} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot EI}, \qquad w_{\text{ут}} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot EI} + \mu \frac{P \cdot L}{4GF}$</td></tr>
<tr><td colspan="4">Загальна формула</td></tr>
<tr><td colspan="4">$k_{\text{ут}} = 1 + \mu \cdot \frac{12 \cdot EI}{GF \cdot l^2}$</td></tr>
<tr><td colspan="4">Матеріал – ізотропний</td></tr>
<tr><td>Тонкостінні профілі металопрокату</td><td>$k_{\text{ут}} = 1 + \mu \cdot \frac{24 \cdot (1+\nu)}{L^2} \cdot \frac{I}{F}$</td><td>Круг</td><td>$k_{\text{ут}} = 1 + \frac{16 \cdot (1+\nu)}{9} \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^2$</td></tr>
<tr><td>Прямокутник</td><td>$k_{\text{ут}} = 1 + \frac{12 \cdot (1+\nu)}{5} \cdot \left(\frac{h}{L}\right)^2$</td><td>Тонкостінне кільце</td><td>$k_{\text{ут}} = 1 + 3 \cdot (1+\nu) \cdot \frac{D^2 + d^2}{L^2}$</td></tr>
</table>

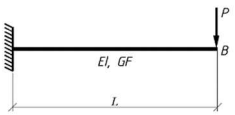
Таблиця 5 – Формули для коефіцієнта уточнення при визначенні максимального прогину шарнірно обпертої балки під рівномірно розподіленим навантаженням

Table 5 – Formulas for the correction coefficient for determining the maximum deflection of the simply supported beam with an uniformly distributed load

<table>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2">$w_{\text{кл}} = \frac{5q \cdot L^4}{384 \cdot EI}, \qquad w_{\text{ут}} = \frac{5q \cdot L^4}{384 \cdot EI} + \mu \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot GF}$</td></tr>
<tr><td colspan="4">Загальна формула</td></tr>
<tr><td colspan="4">$k_{\text{ут}} = 1 + \mu \cdot \frac{48 \cdot EI}{5 \cdot GF \cdot L^2}$</td></tr>
<tr><td colspan="4">Матеріал – ізотропний</td></tr>
<tr><td>Тонкостінні профілі металопрокату</td><td>$k_{\text{ут}} = 1 + \mu \cdot \frac{96 \cdot (1+\nu)}{5L^2} \cdot \frac{I}{F}$</td><td>Круг</td><td>$k_{\text{ут}} = 1 + \frac{64 \cdot (1+\nu)}{45} \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^2$</td></tr>
<tr><td>Прямокутник</td><td>$k_{\text{ут}} = 1 + \frac{48 \cdot (1+\nu)}{25} \cdot \left(\frac{h}{L}\right)^2$</td><td>Тонкостінне кільце</td><td>$k_{\text{ут}} = 1 + \frac{12 \cdot (1+\nu)}{5} \cdot \frac{D^2 + d^2}{L^2}$</td></tr>
</table>

Аналіз таблиць 2-5 показує, що для ізотропних матеріалів коефіцієнт уточнення $k_{ут}$ залежить від наступних чинників: умов закріплення балки, типу навантаження, поправочного коефіцієнта (тобто, від форми поперечного перерізу), коефіцієнта Пуассона, моменту інерції та площі поперечного перерізу.

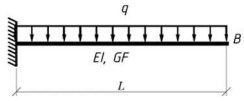
Таблиця 6 – Порівняння прогинів сталевої консолі від дії зосередженої сили
Table 6 – Comparison of deflections of the steel cantilever with a concentrated vertical force



$E = 2{,}0601 \cdot 10^5$ МПа, $G = \frac{E}{2\cdot(1+\upsilon)}$, $\frac{G}{E} = \frac{1}{2{,}6}$, $\nu = 0{,}3$
P=10кН, Δ - різниця в значеннях уточнених прогинів

$l-$ довжина балки	Значення прогинів, обчислених за МСЕ з використанням SCAD++, мм		Значення прогинів, обчислених за формулами таблиць 2-5, мм			$k_{ут}$
	$w_{кл}$	$w_{ут}$	$w_{кл}$	$w_{ут}$	Δ, %	
Двотавр № 20 [5]						
$L = 15h$	23,743043	24,133189	23,743043	24,140489	*0*	1,02
$L = 10h$	7,034976	7,295073	7,034976	7,299939	*0,1*	1,04
$L = 5h$	0,879372	1,009420	0,879372	1,011854	*0,2*	1,15
Тонкостінне кільце 219х2,5 (зовнішній діаметр D=21,9 см,товщина t=0,25см) [6]						
$L = 15D$	57,565928	58,053531	57,565869	58,053512	*0*	1,01
$L = 10D$	17,056571	17,381638	17,056554	17,381650	*0*	1,02
$L = 5D$	2,132071	2,294605	2,132069	2,294617	*0*	1,08

Таблиця 7 – Порівняння прогинів сталевої консолі під рівномірно розподіленим навантаженням
Table 7 – Comparison of deflections of the steel cantilever with an uniformly distributed load



$E = 2{,}0601 \cdot 10^5$ МПа, $G = \frac{E}{2\cdot(1+\upsilon)}$, $\frac{G}{E} = \frac{1}{2{,}6}$, $\nu = 0{,}3$
q=10кН/м, Δ - різниця в значеннях уточнених прогинів

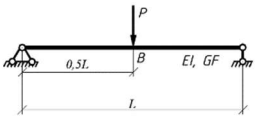
$l-$ довжина балки	Значення прогинів, обчислених за МСЕ з використанням SCAD++, мм		Значення прогинів, обчислених за формулами таблиць 2-5, мм			$k_{ут}$
	$w_{кл}$	$w_{ут}$	$w_{кл}$	$w_{ут}$	Δ, %	
Двотавр № 20 [5]						
$L = 15h$	26,710922	27,296141	26,710924	27,307092	*0*	1,02
$L = 10h$	5,276232	5,536329	5,276232	5,541195	*0,1*	1,05
$L = 5h$	0,329764	0,394789	0,329764	0,396005	*0,3*	1,20
Тонкостінне кільце 219х2,5 (зовнішній діаметр D=21,9 см,товщина t=0,25см) [6]						
$L = 15D$	70,914030	71,714915	70,913955	71,714909	*0*	1,01
$L = 10D$	14,007710	14,363658	14,007695	14,363675	*0*	1,03
$L = 5D$	0,875482	0,964469	0,875481	0,964476	*0*	1,10

В таблицях 6-9 подані значення максимальних прогинів (уточненого та класичного) для балок з різними умовами закріплення та навантаження, а також з різними поперечними перерізами, виконаних з ізотропних матеріалів (наприклад, сталь). Максимальні прогини, обчислені за формулами таблиць 2-5, було порівняно з прогинами, знайденими за методом скінченних елементів з

використанням SCAD++ [2]. В якості скінченного елемента використовувалися наступні: стрижень без врахування деформацій поперечного зсуву (стрижень Ейлера-Бернуллі) та стрижень з врахуванням деформацій поперечного зсуву (стрижень Тимошенка-Еренфеста). Збіжність результатів для зазначених балок є кращою, ніж для шаруватих систем [9].

Таблиця 8 – Порівняння прогинів сталевої шарнірно обпертої балки від дії зосередженої сили

Table 8 – Comparison of deflections of the steel simply supported beam with a concentrated vertical force



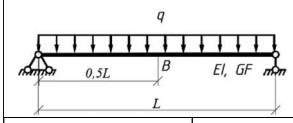
$E = 2{,}0601 \cdot 10^5$ МПа, $G = \frac{E}{2\cdot(1+\upsilon)}$, $\frac{G}{E} = \frac{1}{2{,}6}$, $\nu = 0{,}3$

P=10кН, Δ - різниця в значеннях уточнених прогинів

l – довжина балки	Значення прогинів, обчислених за МСЕ з використанням SCAD++, мм		Значення прогинів, обчислених за формулами таблиць 2-5, мм			$k_{ут}$
	$w_{кл}$	$w_{ут}$	$w_{кл}$	$w_{ут}$	Δ, %	
Двотавр сталевий № 20 [5]						
$L = 15h$	1,483940	1,581477	1,483940	1,583302	*0,1*	1,07
$L = 10h$	0,439686	0,504710	0,439686	0,505927	*0,2*	1,15
$L = 5h$	0,054961	0,0874729	0,0549607	0,0880812	*0,7*	1,60
Тонкостінне кільце 219х2,5 (зовнішній діаметр D=21,9 см,товщина t=0,25см) [6]						
$L = 15D$	3,597870	3,719771	3,597867	3,719778	*0*	1,03
$L = 10D$	1,066036	1,147303	1,066035	1,147309	*0*	1,08
$L = 5D$	0,133254	0,173888	0,133254	0,173891	*0*	1,30

Таблиця 9 – Порівняння прогинів сталевої шарнірно обпертої балки під рівномірно розподіленим навантаженням

Table 9 – Comparison of deflections of the steel simply supported beam with an uniformly distributed load



$E = 2{,}0601 \cdot 10^5$ МПа, $G = \frac{E}{2\cdot(1+\upsilon)}$, $\frac{G}{E} = \frac{1}{2{,}6}$, $\nu = 0{,}3$

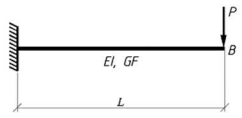
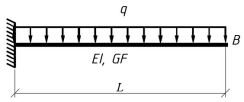
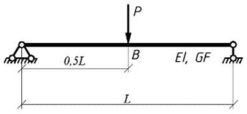
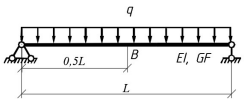
q=10кН/м, Δ - різниця в значеннях уточнених прогинів

l – довжина балки	Значення прогинів, обчислених за МСЕ з використанням SCAD++, мм		Значення прогинів, обчислених за формулами таблиць 2-5, мм			$k_{ут}$
	$w_{кл}$	$w_{ут}$	$w_{кл}$	$w_{ут}$	Δ, %	
Двотавр сталевий № 20 [5]						
$L = 15h$	2,782388	2,928692	2,782388	2,931430	*0,1*	1,05
$L = 10h$	0,549607	0,614632	0,549607	0,615848	*0,2*	1,12
$L = 5h$	0,0343505	0,0506065	0,0343505	0,0509107	*0,6*	1,48
Тонкостінне кільце 219х2,5 (зовнішній діаметр D=21,9 см,товщина t=0,25см) [6]						
$L = 15D$	7,386878	7,587099	7,386870	7,587109	*0*	1,03
$L = 10D$	1,459136	1,548123	1,459135	1,548130	*0*	1,06
$L = 5D$	0,0911960	0,113443	0,0911959	0,113445	*0*	1,24

Коефіцієнт уточнення класичного прогину $k_{ут}$ в таблицях 6-9 відповідає балці, виконаної з будь-якого ізотропного матеріалу (сталь, алюміній).

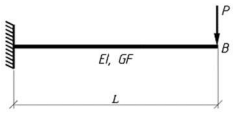
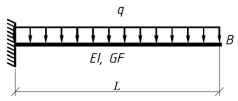
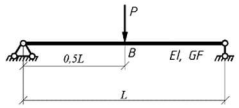
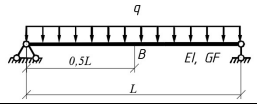
Таблиця 10 – Значення довжини балки L відносно висоти її поперечного перерізу h (сталевий двотавр [5]), при якому $k_{\text{ут}}$ збільшує класичний прогин на 5% і більше

Table 10 – The length L of the beam relative to the height (steel I-beam [5]), at which $k_{\text{ут}}$ increases the classical deflection by more than 5%

Схема балки	Значення довжини балки L відносно висоти її поперечного перерізу h, при якому $k_{\text{ут}}$ збільшує класичний прогин на 5% і більше					
Номер двотавра згідно [5]	10	20	30	40	50	60
	$\leq 9h$	$\leq 8{,}7h$	$\leq 8{,}2h$	$\leq 7{,}7h$	$\leq 7{,}3h$	$\leq 7h$
	$\leq 10{,}3h$	$\leq 10h$	$\leq 9{,}5h$	$\leq 8{,}9h$	$\leq 8{,}4h$	$\leq 8{,}1h$
	$\leq 17{,}9h$	$\leq 17{,}4h$	$\leq 16{,}4h$	$\leq 15{,}5h$	$\leq 14{,}5h$	$\leq 14h$
	$\leq 16h$	$\leq 15{,}5h$	$\leq 14{,}7h$	$\leq 13{,}8h$	$\leq 13h$	$\leq 12{,}5h$

Таблиця 11 – Значення довжини балки L відносно зовнішнього діаметру D (сталеве тонкостінне кільце згідно [6]), при якому $k_{\text{ут}}$ збільшує класичний прогин на 5% і більше

Table 11 – The length L of the beam relative to the diameter (steel thin circular ring [6]), at which $k_{\text{ут}}$ increases the classical deflection by more than 5%

Схема балки	Значення довжини балки L відносно зовнішнього діаметру D, при якому $k_{\text{ут}}$ збільшує класичний прогин на 5% і більше			
Номер тонкостінного кільця згідно [6]	30x1	219x2,5	630x7	1420x20
	$\leq 6D$	$\leq 6{,}2D$	$\leq 6{,}2D$	$\leq 6{,}1D$
	$\leq 7D$	$\leq 7{,}2D$	$\leq 7{,}2D$	$\leq 7{,}1D$
	$\leq 12{,}1D$	$\leq 12{,}4D$	$\leq 12{,}3D$	$\leq 12{,}3D$
	$\leq 10{,}8D$	$\leq 11{,}1D$	$\leq 11D$	$\leq 11D$

Зазначимо ще раз, що згідно класичної теорії згинання балок при обчисленні прогинів довжина балки відносно її висоти приймається $L \geq 5h$, проте з попереденіх розрахунків видно, що це значення залежить від умов закріплення балки, навантаження та жорсткості балок. В таблицях 10-11 подані

значення довжини балки відносно висоти її поперечного перерізу, при якому уточнений прогин перебільшує класичний прогин на 5%.

Для тих розмірів двотаврів, що не увійшли в таблицю 10, відносну довжину балки можна обчислити за допомогою відповідних формул для $k_{\text{ут}}$, поданих у таблицях 2-5. Для розмірів тонкостінних кілець, що не увійшли в таблицю 11, відносну довжину балки можна обчислити за допомогою відповідних формул для $k_{\text{ут}}$, поданих в таблицях (2)-(5).

Аналіз таблиць 2-11 показує:

– шарнірно обперта балка є більш жорсткою в порівнянні з консоллю (при одному й тому самому навантаженні та поперечному перерізі), але більш піддатливою деформаціям поперечного зсуву;

– вплив деформацій поперечного зсуву зростає при зменшенні відношення довжини балки до висоти її поперечного перерізу;

– вплив зсуву є більшим при дії на розрахункову схему шарнірно обпертої балки зосередженої сили в порівнянні з дією рівномірно розподіленого навантаження, а для консолі вплив зсуву є більшим при дії на розрахункову схему рівномірно розподіленого навантаження в порівнянні з дією зосередженої сили;

– між значеннями прогинів, обчисленими за МСЕ (SCAD++), та прогинами, обчисленими за аналітичними формулами, існує достатня збіжність (двотавр № 20 та кільце 219х2,5);

– порівняння результатів розрахунків для поперечних перерізів, виконаних з двотавра та тонкостінного кільця з товщиною, співрозмірній товщині стінки двотавра, показує, що тонкостінне кільце є менш жорстким перерізом, але двотавр є більш піддатливим деформаціям зсуву;

– обчислення коефіцієнту уточнення класичного прогину вказує на те, що враховувати деформації поперечного зсуву необхідно навіть для достатньо тонких балок.

Висновки

1. В роботі проаналізавано серію балок з різними умовами закріплення, навантаження та з різними тонкостінними поперечними перерізами. Для таких балок знайдено класичні та уточнені максимальні прогини. Виконано перевірку значень прогинів з відповідними прогинами, розрахованими за методом скінченних елементів з використанням обчислювального комплексу SCAD++.

2. Отримано формули для коефіцієнта уточнення класичного прогину $k_{\text{ут}}$, який дозволяє отримувати максимальні прогини з врахуванням деформацій поперечного зсуву для шарнірно обпертих балок та консолей при різних видах навантаження та різних поперечних перерізах.

3. Для двотаврового поперечного перерізу (ДСТУ 8768:2018) та тонкостінного кільця (ДСТУ 8943:2019) виявлено співвідношення довжини балки до її висоти, при яких уточнений прогин перевищує класичний на 5%.

4. Показано, що враховувати деформації поперечного зсуву при визначенні максимального прогину необхідно навіть для достатньо тонких балок.

Перелік посилань

1. Чихладзе Е.Д. Будівельна механіка: Підручник. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. С. 121-123.

2. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++. В.С.Карпиловский, Э.З.Криксунов, А.А.Маляренко, С.Ю.Фиалко, А.В.Перельмутер, М.А.Перельмутер, 2015.

3. Karnovsky, I.A., Lebed, O. Advanced methods of structural analysis. Springer Nature. 2010. P. 160.

4. ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Прогини і переміщення. Вимоги проектування (укр).

5. ДСТУ 8768:2018 Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент – УЧСБ.

6. ДСТУ 8943:2019 Труби сталеві електрозварювальні. Технічні умови.

7. Любошиц М.И., Ицкович Г.М. Справочник по сопротивлению материалов. Изд. 2-е, "Вышэйш. школа", 1969. С. 224.

8. В.С. Карпиловський, Е.З. Криксунов, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер. Формування перерізів та їх геометричних характеристик (Structure CAD: Інтегрована система аналізу конструкцій). – К.: ВВП «Компас», 2000. С. 62.

9. Визначення прогинів в плитах типу сандвіч аналітичним та числовим методами. Implementation Of The Innovative Materials And Technologies In The Field Of Design, Construction, And Exploitation Of The Objects Of Transport Infrastructure During Great Construction Program 2022-11-25. DOI:https://doi.org/10.33744/978-966-632-317-3-2023-2

TRANSVERSE SHEAR DEFORMATIONS FOR DEFLECTIONS OF THIN-WALLED BEAMS

Ilchenko Iryna, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Strength of Materials and Mechanical Engineering, e-mail: budivmeh@gmail.com, tel. +380442804368, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 113, https://orcid.org/0000-0002-9355-5632

Marchenko Nina, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Strength of Materials and Mechanical Engineering, e-mail: nina.marchenkogr@gmail.com, tel. +380442804368, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 113, https://orcid.org/0000-0001-8212-811X

Grinevitzkiy Boris, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Strength of Materials and Mechanical Engineering, e-mail: bvgryn@gmail.com, +380442804368, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 113 https://orcid.org/0000-0002-2220-6654

Summary. The Euler-Bernoulli theory (classical theory) is mainly used when beam deflections are determined. Classical theory takes into account only pure bending while transverse shear deformations are neglected. The paper examines statically determined thin-walled beams (I-beam and thin circular ring): simply supported beams and cantilevers. The load is uniformly distributed along the length of the beam and cantilever and a concentrated force applied at the center of the simply supported beam and at the edge of the cantilever. For the specified cases, as well as for round and rectangular beams, formulas for the correction coefficient were derived. The coefficient takes into account the deformation of the transverse shear. It is shown at what relative length of the thin-wallde beams, the specified deflection exceeds the classical one by more than 5%.

Keywords: Euler-Bernoulli beam, Timoshenko-Ehrenfest beam, shear deformation, classical deflection, specified deflection.

References

1. Chikhladze E.D. Structural mechanics: Textbook. - Kharkiv: UkrDAZT, 2011. P. 121-123.

2. SCAD Office. Version 21. SCAD++ computer complex. V.S. Karpilovsky, E.Z. Kryksunov, A.A. Malyarenko, S.Yu. Fialko, A.V. Perelmuter, M.A. Perelmuter, 2015.

3. Karnovsky, I.A., Lebed, O. Advanced methods of structural analysis. Springer Nature. 2010. P. 160.

4. DSTU B V.1.2-3:2006. Deflections and displacement. Design requirements (Ukrainian).

5. DSTU 8768:2018. Hot-rolled steel I-beams. Assortment.

6. DSTU 8943:2019. Electric welding steel pipes. Specifications.

7. Lyuboshits M.I., Itskovich H.M. Handbook of resistance of materials. Ed. 2nd, "Vysheishaja shkola", 1969. P. 224.

8. V.S. Karpylovskyi, E.Z. Kryksunov, A.V. Perelmuter, M.A. Perelmuter. Modelling of cross sections and calculations of their geometric characteristics (Structure CAD: Integrated system of structural analysis). - K.: VVP "Kompas", 2000. C. 62.

9. Determining deflections in sandwich-type slabs by analytical and numerical methods. Implementation Of The Innovative Materials And Technologies In The Field Of Design, Construction, And Exploitation Of The Objects Of Transport Infrastructure During Great Construction Program 2022-11-25 | Theses DOI:https://doi.org/10.33744/978-966-632-317-3-2023-2

УДК 625.7/.8 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-055-064**
UDC 625.7/.8

ШУМОЗАХИСНІ ЕКРАНИ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

NOISE PROTECTION MEASURES ON HIGHWAYS



Ковальчук Віталій Володимирович, *доктор технічних наук, доцент, професор кафедри транспортні технології, Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна,*
e-mail: Vitalii.V.Kovalchuk@lpnu.ua, тел.+380972237243

https://orcid.org/0000-0003-4350-1756



Янчук Леонід Леонідович, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: leonid.ianchuk@gmail.com, тел.+380503587337

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



Маковійчук Катерина Вікторівна, *студентка, Національний транспортний університет, Київ, Україна,*
e-mail: Ekmak523@gmail.com, тел.+380637326460

https://orcid.org/0009-0005-1564-2860

Анотація: У роботі висвітлено проблеми шумового забруднення навколишнього середовища від автомобільних доріг та шляхи їх вирішення. Проаналізовано шумозахисні заходи на автомобільних дорогах та питання шумової безпеки прилеглих до автомобільної дороги територій. Зазвичай, шум виникає внаслідок руху автомобілів, їх двигунів та дорожнього покриття. Об'єктами дослідження є шумозахисні споруди і заходи на автомобільних дорогах.

Однією з ключових стратегій щодо шумозахисту є вибір правильного місця для будівництва автомобільної дороги та використання спеціальних геометричних рішень, які можуть сприяти зменшенню шумового навантаження на прилеглі території. Також важливим елементом є встановлення звукоізоляційних бар'єрів. Одним із видів цього впливу є шумова забрудненість, яка, згідно з даними вітчизняних і міжнародних джерел, на сьогодні є однією з найбільш шкідливих фізичних складових [1, 2, 3]. Людину постійно переслідує зростаюче навантаження від шуму, яке може мати серйозний вплив

на її здоров'я та психоемоційний стан. Ці негативні наслідки особливо виражені на придорожніх територіях, де рівні шуму є надмірно високими.

Ключові слова: автомобільна дорога, шумове навантаження, шумозахисні екрани, шумопоглинаючі конструкції, акустичне проектування, шумозахисні принципи, геометрія дороги, транспортні засоби, шумове забруднення, шумозахисні конструкції.

Вступ. Наукові дослідження показали, що шум, який генерується транспортними засобами, негативно впливає на здоров'я людей. Тому необхідні вдосконалені рішення в галузі проектування та планування автомобільних доріг для зменшення шумового навантаження на житлові території.

Зазвичай, шум виникає внаслідок руху автомобілів, їх двигунів та дорожнього покриття. Цей шум може призводити до стресу, проблем зі сном, погіршення концентрації та інших проблем з фізичним і психологічним здоров'ям.

Однією з ключових стратегій щодо шумозахисту є вибір правильного місця для будівництва автомобільної дороги та використання спеціальних геометричних рішень, які можуть сприяти зменшенню шумового навантаження на прилеглі території. Також важливим елементом є встановлення звукоізоляційних бар'єрів.

Матеріали та методи. Стаття носить оглядовий характер. У статті використовується системний підхід, який представляє собою сукупність загальнонаукових методологічних принципів (вимог), в основі яких лежить розгляд об’єктів як систем. Об’єктами в даній статті є шумозахисні споруди і заходи на автомобільних дорогах.

Метою роботи є дослідження та аналіз можливих рішень шумозахисту прилеглих до автомобільної дороги селитебних територій від шумового навантаження автомобільних доріг.

Виклад основного матеріалу. Різні екологічні аспекти значно впливають на якість житлового середовища. Одним із видів цього впливу є шумова забрудненість, яка, згідно з даними вітчизняних і міжнародних джерел, на сьогодні є однією з найбільш шкідливих фізичних складових [1, 2, 3]. Людину постійно переслідує зростаюче навантаження від шуму, яке може мати серйозний вплив на її здоров'я та психоемоційний стан. Надмірний шум може призвести до нервового виснаження, психічної пригніченості, вегетативних неврозів, виразкової хвороби, розладу ендокринної та серцево-судинної систем, а також призвести до швидкого втомлення, погіршення пам'яті, концентрації уваги та гостроти зору.

Ці негативні наслідки особливо виражені на придорожніх територіях, де рівні шуму є надмірно високими. Високі рівні шуму також негативно впливають на продуктивність та якість праці, а також збільшують ризик травм. Наприклад, навіть збільшення рівня шуму на 10 децибелів може знизити продуктивність на 5-8% [4, 5]. Для підтримання нормального рівня продуктивності при підвищенні рівня шуму від 70 до 90 децибелів, працівник повинен витратити на 10-20% більше фізичних і нервових зусиль.

Проблема шуму, пов'язаного з автомобільними дорогами, є актуальною та поширеною у численних населених районах всього світу. Зростання автомобільного транспорту, розширення мережі доріг та підвищення швидкостей руху спричиняють збільшення шумового навантаження на прилеглі території, особливо в житлових районах, навколо шкіл та медичних закладів.

Шум, який виникає від автомобільних доріг, має значний негативний вплив на якість життя людей. Він може спричинити проблеми зі сном, викликати стан збудження, погіршити здатність до концентрації уваги, сприяти стресовим реакціям та погіршенню як фізичного, так і психологічного здоров'я. Крім того, тривала експозиція до високих рівнів шуму може призвести до серйозних проблем із слухом.

Ця проблема стає все більше актуальною в сучасному світі, і вирішення її вимагає комплексних заходів у галузі дорожньої інфраструктури та звукоізоляції для забезпечення здорового та комфортного життя мешканців відповідних районів.Зазвичай, шум виникає внаслідок руху автомобілів, їх двигунів та дорожнього покриття. Цей шум може призводити до стресу, проблем зі сном, погіршення концентрації та інших проблем з фізичним і психологічним здоров'ям. Шумове забруднення може складати навіть більше 70 дБ.

Ефективним способом боротьби з шумовим навантаженням від автомобільних доріг є встановлення шумозахисних екранів. Ці екрани можуть мати різні матеріали та геометричну структуру.



Рисунок 1 – Шумозахисні екрани на автомобільних дорогах.

Figure 1 – Noise protection screens on highways

Розглянемо деякі шумозахисні екрани з різних типів матеріалів.

Сталеві шумозахисні бар'єри відомі своєю міцністю і довговічністю. Виготовлені з високоякісних сталевих матеріалів, ці бар'єри спроектовані таким чином, щоб витримувати випробування часом і суворими умовами різних середовищ. Встановлені вздовж автомобільних доріг, на промислових майданчиках або в комерційних приміщеннях, сталеві шумозахисні бар'єри забезпечують надійний захист від вторгнення шуму, зберігаючи спокій оточуючих.



Рисунок 2 **–** Сталевий шумозахисний екран

Figure 2 **–** Steel noise shield

Сталеві шумозахисні екрани мають свої плюси та мінуси. Ось кілька з них:

Плюси сталевих шумозахисних екранів:

- Висока міцність: Сталеві екрани дуже міцні і стійкі до зовнішніх факторів, таких як вітер, дощ, сніг, навала автомобілів під час аварій і ультрафіолетове випромінювання.
- Довгий термін служби: Сталеві конструкції зазвичай мають довгий термін служби, що означає, що вони не потребують частої заміни або ремонту.
- Висока шумозахисна якість: Сталеві екрани можуть ефективно зменшити рівень шуму, що доходить до навколишнього середовища, забезпечуючи комфорт для жителів або робітників у районі забудови.
- Відсутність обслуговування: Вони не потребують значного обслуговування і можуть служити протягом багатьох років без істотних витрат на ремонт.

Мінуси сталевих шумозахисних екранів:

- Вага: Сталеві екрани важкі, і для їх встановлення потрібна відповідна інфраструктура та обладнання.
- Високі витрати на виробництво і встановлення: Сталеві екрани можуть бути дорогими як в процесі виготовлення, так і в процесі монтажу. В процесі виготовлення, екрани мають бути надійно оброблені антикорозійними засобами.
- Естетичний вигляд: Деякі можуть вважати сталеві екрани менш привабливими з естетичної точки зору порівняно з іншими матеріалами, такими як дерево або скло.
- Обмежена конфігурація: Сталеві екрани можуть мати обмежені можливості для індивідуалізації та адаптації до конкретних потреб, оскільки вони зазвичай виготовляються у стандартних розмірах і формах.

При виборі сталевих шумозахисних екранів слід враховувати конкретні потреби та умови місцевості, а також розглядати альтернативні матеріали та конструкції для досягнення найкращих результатів у питанні шумозахисту і естетики.

Шумозахисні екрани з алюмінію також мають свої плюси та мінуси. Ось кілька з них:

Плюси алюмінієвих шумозахисних екранів:

- Легка вага: Алюміній вага набагато легше, ніж сталь, що полегшує транспортування, встановлення та обслуговування алюмінієвих шумозахисних екранів.
- Довгий термін служби: Алюміній є корозійностійким матеріалом, що означає, що алюмінієві екрани мають довгий термін служби і не вимагають частого обслуговування чи покриття антикорозійними засобами.
- Ефективність у зменшенні шуму: Алюмінієві шумозахисні екрани можуть бути добре спроектовані для зменшення рівня шуму від дорожнього руху, промисловості чи інших джерел шуму.
- Естетичні можливості: Алюміній може бути сформованим в різноманітні форми та дизайни, що дає більше можливостей для індивідуалізації та адаптації до архітектурного середовища.

Мінуси алюмінієвих шумозахисних екранів:

- Вищі витрати порівняно зі сталлю: Алюміній може бути дорожчим матеріалом, ніж сталь, і це може вплинути на вартість виготовлення та встановлення алюмінієвих шумозахисних екранів.
- Менша міцність: Алюміній не такий міцний, як сталь, і вимагає більшої товщини для досягнення аналогічної міцності, що може збільшити вагу та вартість конструкції.
- Можливість корозії: Хоча алюміній є корозійностійким, він все ж може піддаватися корозії, особливо в агресивних середовищах, якщо поверхня пошкоджена.
- Обмеження в висоті: Алюмінієві шумозахисні екрани можуть бути обмежені в висоті порівняно з вимогами звукоізоляції, особливо в тих випадках, де необхідні високі бар'єри для шуму.



Рисунок 3 **–** Шумозахисний екран з алюмінію

Figure 3 **–** Aluminum noise shield

Вибір матеріалу для шумозахисних екранів залежить від конкретних умов, бюджету та дизайну. Важливо ретельно розглянути всі переваги та недоліки алюмінієвих шумозахисних екранів, щоб зробити оптимальний вибір для конкретного проекту.

Скляні шумозахисні екрани є свідченням поєднання прозорості та зменшення шуму. Виготовлені з високоякісних скляних панелей, ці бар'єри переосмислюють традиційні стратегії зниження шуму. Легко інтегруючись у різні середовища, скляні шумозахисні бар'єри представляють особливий підхід до створення спокійного простору без шкоди для візуальної естетики.



Рисунок 4 **–** Скляний шумозахисний екран

Figure 4 **–** Glass noise shield

Скляні шумозахисні екрани мають свої плюси та мінуси, і вибір матеріалу повинен базуватися на конкретних потребах та умовах проекту. Ось деякі з переваг та недоліків скляних шумозахисних екранів:

Переваги скляних шумозахисних екранів:

- Естетичний вигляд: Скло має сучасний та елегантний вигляд, і скляні шумозахисні екрани можуть інтегруватися в архітектурну запроєктовану зону без великої втрати естетики.
- Прозорість: Скляні екрани дозволяють світлу проходити через них, що створює відчуття відкритості та збереження видимості на місці. Варіанти прозорості: Скляні шумозахисні екрани доступні в різних варіантах, від прозорого скла для безперешкодного огляду до матового скла для балансу між прозорістю та приватністю.
- Високий ступінь шумозахисту: Скло має високу здатність до зменшення рівня шуму, і правильно спроектований скляний шумозахисний екран може надавати високий рівень шумозахисту.
- Можливість індивідуалізації: Скло може бути оброблено та прикрашено для створення унікальних дизайнів та структур, що задовольняють потреби конкретного проекту.

Недоліки скляних шумозахисних екранів:

- Вищі витрати: Скляні екрани зазвичай вимагають більших витрат на виготовлення та встановлення порівняно з іншими матеріалами.
- Можливість пошкодження: Скло є більш крихким матеріалом порівняно з металом чи пластиком, і воно може ламатися чи тріскати внаслідок зовнішнього впливу.
- Висока обслуговуваність: Скло може вимагати регулярного очищення та обслуговування, оскільки на ньому можуть з'являтися подряпини, сліди від дощу і інші дефекти, що впливають на прозорість та естетику.
- Обмеження в шумозахисті: В порівнянні з іншими матеріалами, скло може бути менш ефективним у зменшенні шуму від надмірного шуму, особливо якщо воно не має внутрішнього шумопоглинаючого шару.

Вибір скляних шумозахисних екранів підходить для ситуацій, де дизайн та естетика є важливими факторами і де високі витрати можуть бути виправданими. Однак слід враховувати потреби в обслуговуванні та можливість пошкодження матеріалу.

Бетонні шумозахисні екрани є одним із засобів для зменшення шуму від транспорту та інших джерел на шляхах та в інших громіздких об'єктах.



Рисунок 5 – Бетонний шумозахисний екран

Figure 5 – Concrete noise protection screen

Вони мають свої плюси і мінуси:

Плюси бетонних шумозахисних екранів:

- Ефективність у зменшенні шуму: Бетонні шумозахисні екрани можуть значно знизити рівень шуму від дорожнього руху та інших джерел, завдяки своїй масивності та висоті.
- Довговічність: Бетонні конструкції зазвичай мають довгий термін служби і не вимагають частої заміни або обслуговування.
- Стійкість до погодних умов: Бетон стійкий до впливу погодних умов, таких як дощ, сніг, мороз, і витримує екстремальні температурні умови.
- Естетичний вигляд: Завдяки різноманітним дизайнам і можливості фарбування, бетонні шумозахисні екрани можуть бути естетично виглядаючими та добре вписуватися в навколишнє середовище.

Мінуси бетонних шумозахисних екранів:

- Висока вартість: Виробництво та встановлення бетонних шумозахисних екранів може бути витратним процесом.
- Великі габарити: Бетонні шумозахисні екрани зазвичай потребують великої площі та висоти, що може бути проблемою в обмежених просторах або на місцях з обмеженою доступністю.

- Ефект «тунелю»: Для деяких людей великі бетонні шумозахисні екрани можуть створювати відчуття замкнутості і тунелю на дорозі, що може викликати дискомфорт.
- Потреба в регулярному обслуговуванні: Хоча бетон стійкий до погодних умов, його зовнішній вигляд може погіршитися з часом через забруднення або пошкодження, і його слід регулярно підтримувати.

Загалом, бетонні шумозахисні екрани можуть бути корисними для зменшення шуму в певних ситуаціях, але їхній вибір слід робити, враховуючи конкретні умови місця та витрати.

У прагненні до інновацій ми усвідомлюємо, що майбутнє шумозаглушення лежить у площині конвергенції передових матеріалів. Сучасні композитні шумозахисні екрани втілюють цей далекоглядний підхід, пропонуючи поєднання найсучасніших компонентів, які переосмислюють поняття шумопоглинання.



Рисунок 6 – Шумозахисний екран з композитних матеріалів.

Figure 6 – Soundproof screen made of composite materials

Сучасні композитні шумозахисні бар'єри є результатом злиття різних матеріалів, таких як скловолокно, полімери та інші композитні матеріали. Кожен з цих матеріалів вносить свої унікальні властивості в загальне рішення. Поєднуючи високоміцні компоненти, ці екрани створюють синергію, яка ефективно знижує рівень шуму, водночас відкриваючи нові виміри універсальності та продуктивності.

Переваги передових композитних шумозахисних бар'єрів поширюються на багато аспектів:

- Оптимізоване зниження шуму: Різноманітні компоненти сучасних композитних матеріалів працюють в гармонії, забезпечуючи виняткове зниження шуму, що перевершує можливості окремих матеріалів.

- Структурна ефективність: Композитні матеріали мають високе співвідношення міцності до ваги, що дозволяє створювати надійні шумозахисні бар'єри з мінімальним навантаженням на конструкцію.
- Ефективність, що налаштовується: Сучасні композитні матеріали можуть бути адаптовані до конкретних вимог щодо зниження шуму, що дозволяє точно налаштувати акустичні властивості.
- Естетична гнучкість: Універсальна природа композитних матеріалів сприяє творчому підходу до дизайну, дозволяючи створювати бар'єри, які гармонійно поєднуються з навколишнім середовищем.

Висновки. Шумозахисні екрани, будинки та шумозахисні вікна є важливими складовими в сучасних стандартах житла і міського планування, оскільки забезпечують не лише комфорт та здоров'я мешканців, але й покращують якість середовища. Ці засоби зменшення шуму не тільки відокремлюють житлову зону від шуму автомобільних доріг, але й можуть служити захисними бар'єрами, що допомагають знизити шумове навантаження на прилеглі території та дозволяють створювати комфортні та безпечні середовища для проживання.

Підвищена звукоізоляція вікон і дверей сприяє захисту внутрішнього простору житла від надмірного шуму, забезпечуючи тишу та спокій для мешканців. Ці вікна і двері можуть також бути обладнані спеціальними вентиляційними системами, що дозволяють забезпечити свіже повітря без шуму та забруднення зовнішнього середовища.

Шумозахисні екрани є одним з найефективніших засобів зменшення рівня шуму, не лише від транспортного руху, але й для захисту житлових зон. Вони отримали широке визнання та застосування в Сполучених Штатах, країнах Європи та Азії, і тепер активно впроваджуються в Україні. За своєю структурою, шумозахисні екрани виглядають як відносно тонкі суцільні стінки, які зменшують рівні шуму на території, що перебуває за ними. Дослідження впливу різних параметрів конструкції екрану та взаємного розташування джерела звуку та зони, яку вони захищають від шуму, почалося ще у 50-их роках двадцятого століття і продовжується до наших днів.

Застосування шумозахисних екранів, будинків та вікон сприяє зниженню шумового забруднення, покращенню якості життя та збереженню здоров'я мешканців, що робить їх важливою складовою сучасного житлового будівництва та розвитку міських інфраструктур.

Перелік посилань

1. Гільов В. В. Забезпечення екологічної безпеки промислового регіону. В.В. Гильов, В.Н. Макарова. Вісник Придніпровської державної академії академії та архітектури. – Дніпропетровськ:, 2015. - №4 (205). – 75 с. – С. 62–67.

2. Гільов В.В. Оцінка якості та безпеки життєдіяльності населення, яке проживає на території з багатоповерховою забудовою за фактором шумового забруднення. В.В. Гільов, В.Н. Макарова, М.Ю. Трошин. International Scientific Journal. – Київ: «Спринт-Сервіс», 2015. – № 1. – С. 14– 17.

3. Road traffic noise and health-related quality of life : A cross-sectional study [Онлайн ресурс]. D. Welch, D. Shepherd, K.N Dirks, D. McBride, S. Marsh // Noise & Health — Vol.15. — 2013. — P. 224–230 http://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=1463-1741;year=2013;volume=15;issue=65;spage=224;epage=230;aulast=Welch

4. Stephen A. Stansfeld Noise pollution: non-auditory effects on health [Онлайн ресурс]. A. Stansfeld Stephen, P. Matheson Mark. British Medical Bulletin. — 2003. — Vol. 68. — P. 243—257 https://bmb.oxfordjournals. org/content/68/1/243.full.pdf

5. Summary of Noise Barriers Constructed By December 31, 2010. - Washington, DC: U.S. Department of Transportation, July 2012.

NOISE PROTECTION MEASURES ON HIGHWAYS

Kovalchuk Vitalii V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Transport Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: Vitalii.V.Kovalchuk@lpnu.ua tel. +380972237243, https://orcid.org/0000-0003-4350-1756 .

Yanchuk Leonid L., PhD (Candidate of Technical Science) , Associate Professor, Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: leonid.ianchuk@gmail.com, tel.+380503587337, https://orcid.org/0000-0003-1269-1251.

Makoviichuk Kateryna V., student, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: Ekmak523@gmail.com tel.+380637326460, https://orcid.org/0009-0005-1564-2860

Summary. The paper highlights the problems of noise pollution of the environment from highways and ways to solve them. Noise protection measures on highways and issues of noise safety of areas adjacent to the highway were analyzed. Typically, noise is caused by traffic, engines, and road surfaces. The objects of the study are noise protection structures and measures on highways.

One of the key strategies for noise protection is to choose the right location for road construction and use special geometric solutions that can help reduce the noise load on the surrounding areas. Another important element is the installation of sound barriers. One of the types of this impact is noise pollution, which, according to domestic and international sources, is currently one of the most harmful physical components [1, 2, 3]. A person is constantly harassed by the growing burden of noise, which can have a serious impact on his health and psycho-emotional state.

These negative effects are particularly pronounced in roadside areas where noise levels are excessively high.

Keywords: highway, noise load, noise barriers, noise-absorbing structures, acoustic design, noise protection principles, road geometry, vehicles, noise pollution, noise protection structures.

References

1. Ensuring environmental safety of an industrial region. V.V. Gilev, V.N. Makarova. Bulletin of the Prydniprovska State Academy of Academy and Architecture. - Dnipropetrovs'k:, 2015. - No. 4 (205). - 75 p. - P. 62-67.

2. Evaluation of the quality and safety of life of the population living in the territory with multi-storey buildings by the factor of noise pollution. V.V. Gilev, V.N. Makarova, M.Y. Troshin. International Scientific Journal. - Kyiv: "Sprint-Service", 2015. - No. 1. - pp. 14-17.

3. Road traffic noise and health-related quality of life : A cross-sectional study [Онлайн ресурс]. D. Welch, D. Shepherd, K.N Dirks, D. McBride, S. Marsh // Noise & Health — Vol.15. — 2013. — P. 224–230 http://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=1463-1741;year=2013;volume=15;issue=65;spage=224;epage=230;aulast=Welch

4. Stephen A. Stansfeld Noise pollution: non-auditory effects on health [Онлайн ресурс]. A. Stansfeld Stephen, P. Matheson Mark. British Medical Bulletin. — 2003. — Vol. 68. — P. 243—257 https://bmb.oxfordjournals. org/content/68/1/243.full.pdf

5. Summary of Noise Barriers Constructed By December 31, 2010. - Washington, DC: U.S. Department of Transportation, July 2012.

УДК 539.3 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-065-075**
UDC 539.3

РОЗРАХУНКОВІ СПІВВІДНОШЕННЯ НАПІВАНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЗМАТИЧНИХ ТІЛ ДЛЯ СКІНЧЕНОГО ЕЛЕМЕНТА НА ОСНОВІ ПОДАННЯ ПЕРЕМІЩЕНЬ ПОЛІНОМАМИ

CALCULATED RELATIONS OF THE SEMI-ANALYTICAL FINITE ELEMENT METHOD OF PRISMATIC BODIES FOR A FINITE ELEMENT BASED ON THE REPRESENTATION OF DISPLACEMENTS BY POLYNOMIALS



Кузьмінець Микола Петрович, *доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: kuzminecmp@ukr.net, тел. +380983600812*

https://orcid.org/0009-0001-1841-694X



Максим'юк Юрій Всеволодович, д*октор технічних наук, професор, професор кафедри будівельної механіки, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна,*

https://orcid.org/0000-0002-5814-6227



Мартинюк Іван Юрійович, к*андидат технічних наук, докторант кафедри будівельної механіки, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна,*

https://orcid.org/0000-0001-7957-2068

Анотація. У роботах [8, 10] розроблено варіант напіваналітичного методу скінченних елементів для розрахунку призматичних тіл при використанні в якості системи координатних функції рядів Фур'є. Застосування тригонометричних рядів забезпечує максимальну ефективність напіваналітичного методу скінчених елементів, однак, на торцях тіла вдається задовольнити лише граничним умовам, що відповідають спиранню об'єкта на абсолютно жорстку у своїй площині та гнучку діафрагму. В результаті виконаних досліджень отримані подання переміщень поліномами, що дозволяє значно розширити коло граничних умов на торцях тіла. У цьому випадку звести розв'язання вихідної просторової крайової задачі до послідовності двовимірних задач не є можливим, тому особливого значення набуває обґрунтований вибір відповідних поліномів. Від їх правильного вибору залежить як обумовленість матриці системи розв'язувальних рівнянь і, отже, збіжність інтеграційних алгоритмів її розв'язання, так і універсальність підходу щодо можливості задоволення різних варіантів граничних умов на торцях тіла.

Ключові слова. метод скінчених елементів; напіваналітичний метод скінчених елементів; призматичні тіла складної форми; скінчений елемент (СЕ1); призматичний скінчений елемент (СЕ2); теорія пружності; вузлові р2232й еакції; матриця жорсткості.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток МСЕ характеризується прагненням до універсалізації алгоритмічних схем побудови розв'язувальних співвідношень за рахунок введення мінімуму вихідних припущень і гіпотез щодо реальних законів деформування. Накопичено значний досвід застосування до аналізу конструкцій просторових скінченних елементів дозволяють з єдиних позицій досліджувати масивні і тонкостінні об'єкти [1, 3-6, 14]. Як зазначено в роботі [7], такий підхід дозволяє охоплювати більш широкий клас практичних задач, усуваючи необхідність введення декількох видів СЕ, заснованих на різних вихідних рівняннях [2], що ускладнює правильний вибір розрахункової схеми, ускладнює формування умов контакту між окремими елементами і призводить до громіздкого обчислювального комплексу. У зв'язку з цим в даній роботі прийнята орієнтація на використання універсальних скінчених елементів.

До числа факторів, що визначають ефективність універсальних скінчених елементів, відноситься форма СЕ, закон розподілу переміщень і методика виведення матриці жорсткості.

Вузлові реакції та коефіцієнти матриці жорсткості СЕ на основі представлення переміщень поліномами

Представлення переміщень у вигляді розкладання по поліномах наведено в роботі [9]. Виразивши у співвідношенні (1)

$$
\begin{aligned}
\overset{0}{\varepsilon}_{\alpha(\alpha)} &= \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\frac{1}{2}\overset{0}{Z}{}^{\gamma'}_{,\alpha}\,S_{(\alpha)}U_{\gamma'(S_1,S_2)}, \\
\overset{0}{\varepsilon}_{12} &= \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\frac{1}{4}\left(\overset{0}{Z}{}^{\gamma'}_{,1}\,S_2+\overset{0}{Z}{}^{\gamma'}_{,2}\,S_1\right)U_{\gamma'(S_1,S_2)}, \\
\overset{0}{\varepsilon}_{\alpha3} &= \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\frac{1}{8}\left(\overset{0}{Z}{}^{\gamma'}_{,\alpha}U_{\gamma'(S_1,S_2),3}+2\overset{0}{Z}{}^{3'}_{,3}\,S_2U_{3'(S_1,S_2)}\right), \\
\overset{0}{\varepsilon}_{33} &= \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\frac{1}{4}\overset{0}{Z}{}^{3'}_{,3}\,U_{3'(S_1,S_2),3}, \\
\overset{0}{\varepsilon}_{\alpha(\alpha),(3-\alpha)} &= \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\frac{1}{2}\begin{pmatrix}\overset{0}{Z}{}^{\gamma'}_{,12}\,S_2+\\ +2\overset{0}{Z}{}^{\gamma'}_{,\alpha}\,S_1S_2\end{pmatrix}U_{\gamma'(S_1,S_2)}, \\
\overset{0}{\varepsilon}_{\alpha3,(3-\alpha)} &= \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\left\{\begin{matrix}\frac{1}{8}\begin{pmatrix}\overset{0}{Z}{}^{\gamma'}_{,12}+\\ +2\overset{0}{Z}{}^{\gamma'}_{,\alpha}\,S_{(3-\alpha)}\end{pmatrix}U_{\gamma'(S_1,S_2),3}+\\ +\frac{1}{2}\overset{0}{Z}{}^{3'}_{,3}\,S_1S_2U_{3'(S_1,S_2)}\end{matrix}\right\}, \\
\overset{0}{\varepsilon}_{33,\alpha} &= \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\frac{1}{2}\overset{0}{Z}{}^{3'}_{,3}\,S_\alpha U_{3'(S_1,S_2),3},
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

переміщення у відповідності з (2)

$$U_{n'} = \sum_{\iota=0}^{L} \bar{U}^{\iota}_{n'} \varphi^{(\iota)} \tag{2}$$

Отримаємо:

$$\varepsilon^{0}_{\alpha(\alpha)} = \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\sum_{\iota=0}^{L} \frac{1}{2} Z^{0}_{,\alpha}{}^{\gamma'} S_{(\alpha)} \varphi^{(\iota)} \bar{U}^{\iota}_{\gamma'(S_1,S_2)}$$

$$\varepsilon^{0}_{12} = \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\sum_{\iota=0}^{L} \frac{1}{4} \left(Z^{0}_{,1}{}^{\gamma'} S_2 + Z^{0}_{,2}{}^{\gamma'} S_1 \right) \varphi^{(\iota)} \bar{U}^{\iota}_{\gamma'(S_1,S_2)}$$

$$\varepsilon^{0}_{\alpha 3} = \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\sum_{\iota=0}^{L} \frac{1}{8} \left(\begin{array}{l} Z^{0}_{,\alpha}{}^{\gamma'} \varphi^{(\iota)}_{,3} \bar{U}^{\iota}_{\gamma'(S_1,S_2)} + \\ +2 Z^{0}_{,3}{}^{3'} S_\alpha \varphi^{(\iota)} \bar{U}^{\iota}_{3'(S_1,S_2)} \end{array} \right)$$

$$\varepsilon^{0}_{33} = \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\sum_{\iota=0}^{L} \frac{1}{4} Z^{0}_{,3}{}^{3'} \varphi^{(\iota)}_{,3} \bar{U}^{\iota}_{3'(S_1,S_2)}$$

$$\varepsilon^{0}_{\alpha(\alpha),(3-\alpha)} = \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\sum_{\iota=0}^{L} \frac{1}{2} \left(\begin{array}{l} Z^{0}_{,12}{}^{\gamma'} S_\alpha + \\ +2 Z^{0}_{,\alpha}{}^{\gamma'} S_1 S_2 \end{array} \right) \varphi^{(\iota)} \bar{U}^{\iota}_{\gamma'(S_1,S_2)}$$

$$\varepsilon^{0}_{\alpha 3,(3-\alpha)} = \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\sum_{\iota=0}^{L} \frac{1}{4} \left[\left(\begin{array}{l} \frac{1}{2} Z^{0}_{,12}{}^{\gamma'} + \\ + Z^{0}_{,\alpha}{}^{\gamma'} S_{(3-\alpha)} \varphi^{(\iota)}_{,3} \end{array} \right) \bar{U}^{\iota}_{\gamma'(S_1,S_2)} + \right.$$

$$\left. + 2 Z^{0}_{,3}{}^{3'} S_1 S_2 \varphi^{(\iota)} \bar{U}^{\iota}_{3'(S_1,S_2)} \right] \tag{3}$$

$$\varepsilon^{0}_{33,\alpha} = \sum_{S_1=\pm1}\sum_{S_2=\pm1}\sum_{\iota=0}^{L} \frac{1}{2} Z^{0}_{3}{}^{3'} S_\alpha \varphi^{(\iota)}_{,3} \bar{U}^{\iota}_{3'(S_1,S_2)}$$

Зв'язок між коефіцієнтами розкладання деформацій до ряду Маклорена та коефіцієнтами розкладання переміщень по поліномах запишемо в матричній формі:

$$\left\{\overset{0}{\varepsilon}\right\}=\sum_{t=0}^{L}\left(\left[\overset{0}{\bar{B}}_{1}\right]\varphi^{(t)}+\left[\overset{0}{\bar{B}}_{2}\right]\varphi_{,3}^{(t)}\right)\left\{\bar{U}\right\}_{t}$$

$$\left\{\overset{0}{\varepsilon}_{,1}\right\}=\sum_{t=0}^{L}\left(\left[\overset{0}{\bar{B}}_{1,1}\right]\varphi^{(t)}+\left[\overset{0}{\bar{B}}_{2,1}\right]\varphi_{,3}^{(t)}\right)\left\{\bar{U}\right\}_{t} \qquad (4)$$

$$\left\{\overset{0}{\varepsilon}_{,2}\right\}=\sum_{t=0}^{L}\left(\left[\overset{0}{\bar{B}}_{1,2}\right]\varphi^{(t)}+\left[\overset{0}{\bar{B}}_{2,2}\right]\varphi_{,3}^{(t)}\right)\left\{\bar{U}\right\}_{t}$$

де

$$\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1}\right]=\left[\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1}\right]^{(-1,-1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1}\right]^{(+1,-1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1}\right]^{(-1,+1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1}\right]^{(+1,+1)}\right]$$

$$\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2}\right]=\left[\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2}\right]^{(-1,-1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2}\right]^{(+1,-1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2}\right]^{(-1,+1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2}\right]^{(+1,+1)}\right]$$

$$\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1,1}\right]=\left[\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1,1}\right]^{(-1,-1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1,1}\right]^{(+1,-1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1,1}\right]^{(-1,+1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1,1}\right]^{(+1,+1)}\right]$$

$$\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,1}\right]=\left[\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,1}\right]^{(-1,-1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,1}\right]^{(+1,-1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,1}\right]^{(-1,+1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,1}\right]^{(+1,+1)}\right] \qquad (5)$$

$$\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1,2}\right]=\left[\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1,2}\right]^{(-1,-1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1,2}\right]^{(+1,-1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1,2}\right]^{(-1,+1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1,2}\right]^{(+1,+1)}\right]$$

$$\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,2}\right]=\left[\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,2}\right]^{(-1,-1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,2}\right]^{(+1,-1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,2}\right]^{(-1,+1)}\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,2}\right]^{(+1,+1)}\right]$$

$$\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1}\right]^{(S_1,S_2)},\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2}\right]^{(S_1,S_2)},\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1,1}\right]^{(S_1,S_2)},\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,1}\right]^{(S_1,S_2)},\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1,2}\right]^{(S_1,S_2)},\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,2}\right]^{(S_1,S_2)}$$

Елементи підматриць і обчислюються згідно (3) і представлені матрицями 1-6 відповідно

$$\left[\overset{0}{\underline{B}}_1\right]^{(S_1,S_2)} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}Z^{1'}_{,1}S_1 & \frac{1}{2}Z^{2'}_{,1}S_1 & 0 \\ \frac{1}{2}Z^{1'}_{,2}S_2 & \frac{1}{2}Z^{2'}_{,2}S_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2}\left(Z^{1'}_{,1}S_2 + Z^{1'}_{,2}S_1\right) & \frac{1}{2}\left(Z^{2'}_{,1}S_2 + Z^{2'}_{,2}S_1\right) & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}Z^{3'}_{,3}S_1 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}Z^{3'}_{,3}S_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\left[\overset{0}{\underline{B}}_2\right]^{(S_1,S_2)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{4}Z^{3'}_{,3} \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{4}Z^{1'}_{,1} & \frac{1}{4}Z^{2'}_{,1} & 0 \\ \frac{1}{4}Z^{1'}_{,2} & \frac{1}{4}Z^{2'}_{,2} & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\left[\overset{0}{\underline{B}}_{1,1}\right]^{(S_1,S_2)} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}\left(Z^{1'}_{,12}S_2 + 2Z^{1'}_{,2}S_1S_2\right) & \frac{1}{2}\left(Z^{2'}_{,12}S_2 + 2Z^{2'}_{,2}S_1S_2\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z^{3'}_{,3}S_1S_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,1}\right]^{(S_1,S_2)}=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}\overset{0}{Z}{}^{3'}_{,3}S_1 \\ \frac{1}{4}\left(\begin{matrix}\overset{0}{Z}{}^{1'}_{,12}+\\ +2\,\overset{0}{Z}{}^{1'}_{,2}S_1\end{matrix}\right) & \frac{1}{4}\left(\begin{matrix}\overset{0}{Z}{}^{2'}_{,12}+\\ +2\,\overset{0}{Z}{}^{2'}_{,2}S_1\end{matrix}\right) & 0 \end{bmatrix} \tag{9}$$

$$\left[\underline{\overset{0}{B}}_{1,2}\right]^{(S_1,S_2)}=\begin{bmatrix} \frac{1}{2}\left(\begin{matrix}\overset{0}{Z}{}^{1'}_{,12}S_1+\\ +2\,\overset{0}{Z}{}^{1'}_{,1}S_1S_2\end{matrix}\right) & \frac{1}{2}\left(\begin{matrix}\overset{0}{Z}{}^{2'}_{,12}S_1+\\ +2\,\overset{0}{Z}{}^{2'}_{,1}S_1S_2\end{matrix}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \overset{0}{Z}{}^{3'}_{,3}S_1S_2 \end{bmatrix} \tag{10}$$

$$\left[\underline{\overset{0}{B}}_{2,2}\right]^{(S_1,S_2)}=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}\overset{0}{Z}{}^{3'}_{,3'}S_2 \\ \frac{1}{4}\left(\begin{matrix}\overset{0}{Z}{}^{1'}_{,12}+\\ +2\,\overset{0}{Z}{}^{1'}_{,1}S_2\end{matrix}\right) & \frac{1}{4}\left(\begin{matrix}\overset{0}{Z}{}^{2'}_{,12}+\\ +2\,\overset{0}{Z}{}^{2'}_{,1}S_2\end{matrix}\right) & 0 \end{bmatrix} \tag{11}$$

Виразимо співвідношення

$$\delta\omega=\int_{x^3=-1}^{x^3=1}\left\{\begin{matrix}\left(\delta\left\{\overset{0}{\varepsilon}\right\}^T\right)\left\{\overset{0}{\sigma}\right\}+\\ +\frac{1}{12}\left[\begin{matrix}\left(\delta\left\{\overset{0}{\varepsilon}_{,1}\right\}\right)\left\{\overset{0}{\sigma}_{,1}\right\}+\\ +\left(\delta\left\{\overset{0}{\varepsilon}_{,2}\right\}\right)\left\{\overset{0}{\sigma}_{,2}\right\}\end{matrix}\right]\end{matrix}\right\}\sqrt{\overset{0}{g}}\,dx^3 \tag{12}$$

коефіцієнтами розкладання деформацій до ряду Маклорена відповідно до (4). Тоді варіацію енергії можна надати через коефіцієнти розкладання переміщень по поліномах та вузлові реакції $\left\{\underline{\overset{0}{r}}\right\}$ скінченого елемента

$$\delta W = \sum_{\iota=0}^{L}\left(\delta \left\{\bar{U}\right\}_{\iota}^{T} \right)\left\{\underline{\overset{0}{r}}\right\}_{\iota} \tag{13}$$

де

$$\begin{aligned}\left\{\underline{\overset{0}{r}}\right\}_{\iota} = &\left[\left[\underline{\overset{0}{B}_1}\right]^{T}\int_{x^3=-1}^{x^3=1}\left\{\overset{0}{\sigma}\right\}\varphi^{(\iota)}dx^3 + \left[\underline{\overset{0}{B}_2}\right]^{T}\int_{x^3=-1}^{x^3=1}\left\{\overset{0}{\sigma}\right\}\varphi_{,3}^{(\iota)}dx^3 + \right.\\ &+\frac{1}{12}\left(\left[\underline{\overset{0}{B}_{1,1}}\right]^{T}\int_{x^3=-1}^{x^3=1}\left\{\overset{0}{\sigma}_{,1}\right\}\varphi^{(\iota)}dx^3 + \left[\underline{\overset{0}{B}_{2,1}}\right]^{T}\int_{x^3=-1}^{x^3=1}\left\{\overset{0}{\sigma}_{,1}\right\}\varphi_{,3}^{(\iota)}dx^3 + \right.\\ &\left.\left.+\left[\underline{\overset{0}{B}_{1,2}}\right]^{T}\int_{x^3=-1}^{x^3=1}\left\{\overset{0}{\sigma}_{,2}\right\}\varphi^{(\iota)}dx^3 + \left[\underline{\overset{0}{B}_{2,2}}\right]^{T}\int_{x^3=-1}^{x^3=1}\left\{\overset{0}{\sigma}_{,2}\right\}\varphi_{,3}^{(\iota)}dx^3\right)\right]\sqrt{\overset{0}{g}}\end{aligned} \tag{14}$$

Виконавши в (14) чисельне інтегрування по x^3 відповідно до формули Гауса

$$\begin{aligned}\left\{\underline{\overset{0}{\sigma}_1}\right\}_{\iota} &= \sum_{m=1}^{M}\left(\left\{\overset{0}{\sigma}\right\}\varphi^{(\iota)}H_m\right)_{\left(x_m^3\right)}\\ \left\{\underline{\overset{0}{\sigma}_2}\right\}_{\iota} &= \sum_{m=1}^{M}\left(\left\{\overset{0}{\sigma}\right\}\varphi_{,3}^{(\iota)}H_m\right)_{\left(x_m^3\right)}\\ \left\{\underline{\overset{0}{\sigma}_{1,1}}\right\}_{\iota} &= \sum_{m=1}^{M}\left(\left\{\overset{0}{\sigma}_{,1}\right\}\varphi^{(\iota)}H_m\right)_{\left(x_m^3\right)}\\ \left\{\underline{\overset{0}{\sigma}_{2,1}}\right\}_{\iota} &= \sum_{m=1}^{M}\left(\left\{\overset{0}{\sigma}_{,1}\right\}\varphi_{,3}^{(\iota)}H_m\right)_{\left(x_m^3\right)}\\ \left\{\underline{\overset{0}{\sigma}_{1,2}}\right\}_{\iota} &= \sum_{m=1}^{M}\left(\left\{\overset{0}{\sigma}_{,2}\right\}\varphi^{(\iota)}H_m\right)_{\left(x_m^3\right)}\\ \left\{\underline{\overset{0}{\sigma}_{2,2}}\right\}_{\iota} &= \sum_{m=1}^{M}\left(\left\{\overset{0}{\sigma}_{,2}\right\}\varphi_{,3}^{(\iota)}H_m\right)_{\left(x_m^3\right)}\end{aligned} \tag{15}$$

отримуємо формулу для обчислення вузлових реакцій скінченого елемента з усередненими в перерізі $x^3 = const$ механічними та геометричними параметрами (СЕ1) [9] через коефіцієнти розкладання напруги в ряд Маклорена:

$$\left\{\overset{0}{r}\right\}_{\iota}=\left[\left[\overset{0}{B}_{1}\right]^{T}\left\{\overset{0}{\sigma}_{1}\right\}_{\iota}+\left[\overset{0}{B}_{2}\right]^{T}\left\{\overset{0}{\sigma}_{2}\right\}_{\iota}+\frac{1}{12}\left(\left[\overset{0}{B}_{1,1}\right]^{T}\left\{\overset{0}{\sigma}_{1,1}\right\}_{\iota}+\left[\overset{0}{B}_{2,1}\right]^{T}\left\{\overset{0}{\sigma}_{2,1}\right\}_{\iota}+\right.\right.$$
$$\left.\left.+\left[\overset{0}{B}_{1,2}\right]^{T}\left\{\overset{0}{\sigma}_{1,2}\right\}_{\iota}+{}_{\iota}\left[\overset{0}{B}_{2,2}\right]^{T}\left\{\overset{0}{\sigma}_{2,2}\right\}\right]\right)\sqrt{\overset{0}{g}} \tag{16}$$

Представимо у співвідношенні

$$\delta\omega=\int_{x^3=-1}^{x^3=1}\left\{\left(\delta\left\{\overset{0}{\varepsilon}\right\}^{T}\right)\left[\overset{0}{D}\right]\left\{\overset{0}{\varepsilon}\right\}+\frac{1}{12}\left[\left(\delta\left\{\overset{0}{\varepsilon}_{,1}\right\}^{T}\right)\left[\overset{0}{D}_{1}\right]\left\{\overset{0}{\varepsilon}_{,1}\right\}+\left(\delta\left\{\overset{0}{\varepsilon}_{,2}\right\}^{T}\right)\left[\overset{0}{D}_{2}\right]\left\{\overset{0}{\varepsilon}_{,2}\right\}\right]\right\}\sqrt{\overset{0}{g}}dx^3 \tag{17}$$

коефіцієнти розкладання деформацій у ряд Маклорена через коефіцієнти розкладання переміщень по поліномах:

$$\delta W=\int_{x^3=-1}^{x^3=+1}\left\{\sum_{\iota=0}^{L}\left(\delta\left\{\bar{U}\right\}_{\iota}^{T}\right)\left(\left[\overset{0}{B}_{1}\right]^{T}\varphi^{(\iota)}+\left[\overset{0}{B}_{2}\right]^{T}\varphi_{,3}^{(\iota)}\right)\cdot\left[\overset{0}{D}\right]\sum_{n=0}^{L}\left(\left[\overset{0}{B}_{1}\right]\varphi^{(n)}+\left[\overset{0}{B}_{2}\right]\varphi_{,3}^{(n)}\right)\left\{\bar{U}\right\}_{n}+\right.$$
$$+\frac{1}{12}\left[\sum_{\iota=0}^{L}\left(\delta\left\{\bar{U}\right\}_{\iota}^{T}\right)\left(\left[\overset{0}{B}_{1,1}\right]^{T}\varphi^{(\iota)}+\left[\overset{0}{B}_{2,1}\right]^{T}\varphi_{,3}^{(\iota)}\right)\cdot\left[\overset{0}{D}_{1}\right]\sum_{n=0}^{L}\left(\left[\overset{0}{B}_{1,1}\right]\varphi^{(n)}+\left[\overset{0}{B}_{2,1}\right]\varphi_{,3}^{(n)}\right)\left\{\bar{U}\right\}_{n}+\right.$$
$$\left.\left.+\sum_{\iota=0}^{L}\left(\delta\left\{\bar{U}\right\}_{\iota}^{T}\right)\left(\left[\overset{0}{B}_{1,2}\right]^{T}\varphi^{(\iota)}+\left[\overset{0}{B}_{2,2}\right]^{T}\varphi_{,3}^{(\iota)}\right)\cdot\left[\overset{0}{D}_{2}\right]\sum_{n=0}^{L}\left(\left[\overset{0}{B}_{1,2}\right]\varphi^{(n)}+\left[\overset{0}{B}_{2,2}\right]\varphi_{,3}^{(n)}\right)\left\{\bar{U}\right\}_{n}\right]\right\}\sqrt{\overset{0}{g}}dx^3 \tag{18}$$

Запишемо вираз варіації у вигляді:

$$\delta W=\sum_{\iota=0}^{L}\sum_{n=0}^{L}\left(\delta\left\{\bar{U}\right\}_{\iota}^{T}\right)\left[\overset{0}{K}\right]_{(\iota n)}\left\{\bar{U}\right\}_{n} \tag{19}$$

де коефіцієнти матиці жорсткості $\left[\overset{0}{K}\right]_{(m)}$ призматичного скінченого елемента із усередненими у перерізі механічними та геометричними параметрами (СЕ2) визначаються за формулою:

$$\left[\overset{0}{K}\right]_{\iota n}=\left[\left[\overset{0}{B}_{1}\right]^{T}\left[\overset{0}{D}\right]\left[\overset{0}{B}_{1}\right]G_{1}^{\iota n}+\left[\overset{0}{B}_{2}\right]^{T}\left[\overset{0}{D}\right]\left[\overset{0}{B}_{1}\right]G_{2}^{\iota n}+\left[\overset{0}{B}_{1}\right]^{T}\left[\overset{0}{D}\right]\left[\overset{0}{B}_{2}\right]G_{3}^{\iota n}+\right.$$
$$\left[\overset{0}{B}_{2}\right]^{T}\left[\overset{0}{D}\right]\left[\overset{0}{B}_{2}\right]G_{4}^{\iota n}+\frac{1}{12}\left(\left[\overset{0}{B}_{1,1}\right]^{T}\left[\overset{0}{D}_{1}\right]\left[\overset{0}{B}_{1,1}\right]G_{1}^{\iota n}+\left[\overset{0}{B}_{2,1}\right]^{T}\left[\overset{0}{D}_{1}\right]\left[\overset{0}{B}_{1,1}\right]G_{2}^{\iota n}+\right.$$
$$+\left[\overset{0}{B}_{1,1}\right]^{T}\left[\overset{0}{D}_{1}\right]\left[\overset{0}{B}_{2,1}\right]G_{3}^{\iota n}+\left[\overset{0}{B}_{2,1}\right]^{T}\left[\overset{0}{D}_{1}\right]\left[\overset{0}{B}_{2,1}\right]G_{4}^{\iota n}++\left[\overset{0}{B}_{1,2}\right]^{T}\left[\overset{0}{D}_{2}\right]\left[\overset{0}{B}_{1,2}\right]G_{1}^{\iota n}+ \tag{20}$$
$$\left.\left.+\left[\overset{0}{B}_{2,2}\right]^{T}\left[\overset{0}{D}_{2}\right]\left[\overset{0}{B}_{1,2}\right]G_{2}^{\iota n}+\left[\overset{0}{B}_{1,2}\right]^{T}\left[\overset{0}{D}_{2}\right]\left[\overset{0}{B}_{2,2}\right]G_{3}^{\iota n}+\left[\overset{0}{B}_{2,2}\right]^{T}\left[\overset{0}{D}_{2}\right]\left[\overset{0}{B}_{2,2}\right]C_{4}^{\iota n}\right)\sqrt{\overset{0}{g}}\right.$$

Висновки

Отримані формули для обчислення вузлових реакцій та коефіцієнтів матриці жорсткості дозволяю використовувати для представлення переміщень різні системи координатних функцій, побудовані на основі поліномів. Відмінна особливість цих співвідношень у порівнянні з аналогічними, виведеними при використанні для подання переміщень рядів Фур'є, полягає в тому, що не рівні нулю коефіцієнти не тільки діагональних, але і периферійних підматриць і розв'язання систем рівнянь, що одержуються на їх основі, прямими методами стає недоцільним. До чинників, визначальних у разі ефективність напіваналітичного методу скінчених елементів, ставляться, насамперед, простота завдання умов закріплення на торцях тіла, і величина обсягу обчислень, обумовлена швидкістю збіжності інтеграційного процесу розв'язання систем рівнянь.

Перелік посилань

1. Баженов В.А. Метод скінченних елементів у задачах деформування та руйнування тіл обертання при термосиловому навантаженні / В.А. Баженов, С.О. Пискунов, Ю.В. Максим'юк – Київ: Вид-во "Каравела", 2018. – 316с.

2. Баженов В.А. Напіваналітичний метод скінченних елементів в просторових задачах деформування, руйнування та формозмінення тіл складної структури / В.А. Баженов, Ю.В. Максим'юк, І.Ю. Мартинюк, О.В. Максим'юк – Київ: Вид-во "Каравела", 2021. – 280с.

3. Баженов В.А. Чисельне моделювання процесів нелінійного деформування тіл з урахуванням великих пластичних деформацій / В.А. Баженов, Ю.В. Максим'юк, І.І. Солодей, Р.Л. Стригун – Київ: Вид-во "Каравела", 2019. – 223с.

4. Баженов В. А. Напіваналітичний метод скінченних елементів в задачах руйнування просторових тіл: Монографія / В.А. Баженов, О.І. Гуляр, С.О. Пискунов, О.С. Сахаров – К. : КНУБА, 2005. – 298 с.

5. Баженов В. А. Напіваналітичний метод скінченних елементів в задачах динаміки просторових тіл: Монографія / В.А. Баженов, О.І. Гуляр, О.С. Сахаров, І.І. Солодей– К. : КНУБА, 2012. – 248 с.

6. Баженов В. А. Напіваналітичний метод скінченних елементів в задачах континуального руйнування просторових тіл: Монографія / В.А. Баженов, О.І. Гуляр, С.О. Пискунов, О.С. Сахаров – К. : «Каравела», 2014. – 236 с.

7. Ворошко П.П. К построению разрешающих соотношений МКЭ для задач теории упругости. Сообщение 1. – Проблемы прочности, 1981, № 10, с.76-78.

8. Іванченко Г.М. Побудова розв'язувальних рівнянь напіваналітичного методу скінченних елементів для призматичних тіл складної форми / Г.М. Іванченко, Ю.В. Максим'юк, А.А. Козак, І.Ю. Мартинюк // Управління розвитком складних систем: Наук.-техн. збірн. – К.: КНУБА, 2021 – Вип.46 – С. 55-62.

9. Максим'юк Ю. Вузлові реакції та коефіцієнти матриці жорсткості скінченого елемента на основі представлення переміщень поліномами / Ю. Максим'юк, О. Шкриль, І. Мартинюк, В. Бучко // Будівельні конструкції теорія і практика. – 2021. – Вип. 9. – С. 54–62.

10.Максим'юк Ю. Особливості виведення формул т для обчислення вузлових реакцій і коефіцієнтів матриці жорсткості скінченого елемента з усередненими механічними і геометричними параметрами / Ю. Максим'юк, А. Козак, І. Мартинюк, О. Максим'юк // Будівельні конструкції теорія і практика. – 2021. – Вип. 8. – С. 97–108.

11.Максим'юк Ю.В. Вихідні співвідношення нелінійного динамічного формозмінення вісесиметричних та плоскодеформівних тіл / Ю.В Максим'юк, І.І. Солодей, Р.Л. Стригун // Опір матеріалів і теорія споруд – 2019. – Вип. 102. – С. 252–262.

12.Максим'юк Ю.В. Розрахункові співвідношення універсального скінченого елемента на основі моментної схеми скінчених елементів / Ю.В Максим'юк // Опір матеріалів і теорія споруд – 2015. – Вип. 94. – С. 244–251.

13.Максим'юк Ю.В. Скінчений елемент загального типу для розв'язку вісесиметричної задачі нестаціонарної теплопровідності / Ю.В Максим'юк // Опір матеріалів і теорія споруд – 2016. – Вип. 96. – С. 148–157. 161

14.Постнов В.А., Черенков Н.И. Расчет осесимметричной деформации толстых оболочек вращения с помощью метода конечных элементов. – Сб. НТО Судпрома, 1970, вып 149, с.19-28.

CALCULATED RELATIONS OF THE SEMI-ANALYTICAL FINITE ELEMENT METHOD OF PRISMATIC BODIES FOR A FINITE ELEMENT BASED ON THE REPRESENTATION OF DIS-PLACEMENTS BY POLYNOMIALS

Kuz′minets′ Mykola P., doktor tekhnichnykh nauk, profesor, zaviduvach kafedroyu komp'yuternoyi, inzhenernoyi hrafiky ta dyzaynu, Natsional′nyy transportnyy universytet, Kyyiv, Ukrayina, e-mail: kuzminecmp@ukr.net, tel. *+380983600812*, Ukrayina, 01103, m. Kyyiv, vul. M. Boychuka, 40 A. https://orcid.org/0000-0002-9636-919X

Maksym″yuk Yuriy V., doktor tekhnichnykh nauk, profesor, profesor kafedry budivel′noyi mekhaniky, Kyyivs′kyy natsional′nyy universytet budivnytstva i arkhitektury, Kyyiv https://orcid.org/0000-0002-5814-6227

Martynyuk Ivan YU., kandydat tekhnichnykh nauk, doktorant kafedry budivel′noyi mekhaniky, Kyyivs′kyy natsional′nyy universytet budivnytstva i arkhitektury, Kyyiv https://orcid.org/0000-0001-7957-2068

Abstract. In article [8, 10], a variant of the semi-analytical finite element method for the calculation of prismatic bodies was developed using the Fourier series function as a coordinate system. The use of trigonometric series ensures maximum efficiency of the semi-analytical finite element method, however, at the ends of the body it is possible to satisfy only the boundary conditions corresponding to the support of the object on an absolutely rigid in its plane and flexible diaphragm. As a result of the performed researches the basis of representation of movements by polynomials is received that allows to expand considerably a range of boundary conditions on end faces of a body. In this case, it is not possible to reduce the solution of the original spatial boundary value problem to a sequence of two-dimensional problems, so a reasonable choice of appropriate polynomials becomes especially important. Their correct choice depends on the conditionality of the matrix of the system of separate equations and, consequently, the convergence of integration algorithms for its solution, and the universality of the approach to the possibility of satisfying different variants of boundary conditions at the ends of the body.

Keywords. finite element method, semi-analytical finite element method; prismatic bodies of complex shape; finite element (FE1), prismatic finite element (FE2); theory of elasticity; nodal reactions; stiffness matrix.

References

1. Bazhenov V.A. Finite element method in problems of deformation and destruction of bodies of rotation under thermoforce loading / V.A. Bazhenov, S.O. Pyskunov, Yu.V. Maksymiuk - Kyiv: "Caravela" Publishing House, 2018. - 316 p.

2. Bazhenov V.A. Semi-analytical method of finite elements in spatial problems of deformation, destruction and shape change of bodies of complex structure / V.A. Bazhenov, Yu.V. Maksymiuk, I.Yu. Martyniuk, O.V. Maksymiuk - Kyiv: "Caravela" publishing house, 2021. - 280 p.

3. Bazhenov V.A. Numerical modeling of the processes of nonlinear deformation of bodies taking into account large plastic deformations / V.A. Bazhenov, Yu.V. Maksymiuk, I.I. Solodei, R.L. Strigun - Kyiv: "Caravela" Publishing House, 2019. - 223p.

4. Bazhenov V.A. Semi-analytical method of finite elements in problems of destruction of spatial bodies: Monograph / V. A. Bazhenov, O.I. Gulyar, S.O. Pyskunov, O.S. Sakharov - K.: KNUBA, 2005. - 298 p.

5. Bazhenov V.A. Semi-analytical method of finite elements in problems of dynamics of spatial bodies: Monograph / V. A. Bazhenov, O.I. Gulyar, O.S. Sakharov, I.I. Solodei– K.: KNUBA, 2012. – 248 p.

6. Bazhenov V. A. Semi-analytical method of finished elements in the problems of continual destruction of expanses of bodies: Monograph / V.A. Bazhenov, O.I. Gulyar, S.O. Piskunov, O.S. Sakharov - K .: "Karavela", 2014. - 236 p.

7. Voroshko P.P. To the construction of resolving relations of the FEM for problems of the theory of elasticity. Message 1. - Problems of Strength, 1981, No. 10, pp. 76-78.

8. Ivanchenko G.M. Construction of solving equations of semi-analytical method of finished elements of finished elements for prismatic bodies of complex share / G.M. Ivanchenko, Yu.V. Maksim'yuk, A.A. Kozak, I.Yu. Martinyuk // Management of development of folding systems: Nauk.-tekhn. sbirn. - K .: KNUBA, 2021 - Vip.46 - S. 55-62.

9. Maksim'yuk Yu. Vuzlovi reactions and coefficients of the density matrix of the reduced element based on the representation of displacement by polynomials / Yu. Maksim'yuk, O. Shkril, I. Martinyuk, V. Buchko // Budivelni konstruktsiї teoriya i praktika. - 2021. - VIP. 9. – P. 54–62.

10. Maksim'yuk Yu. Features of derivation of formulas for calculation of nodal reactions and coefficients of matrix of rigidity of a finite element with averaged mechanical and geometrical parameters / Yu. Maksim'yuk, A. Kozak, I. Martinyuk, O. Maksimyuk // Budivelni konstruktsiї teoriya i praktika. - 2021. - VIP. 8. – P. 97–108.

11. Maksim'yuk Yu.V. Vihidni svivvidshenija neliniynogo dininaiy sformininininini visesimetrichnyh i ploskodformivnih til / Yu.V Maksim'yuk, I.I. Solodey, R.L. Strigun // Opir materials and theory of spores - 2019. - VIP. 102. - S. 252-262.

12. Maksim'yuk Yu.V. Rozrakhunkovi spivvidnenja universal skinchennogo elementa na osnovi ї scheme skichenih elementiv / Yu.V Maksim'yuk // Opir materials and teoriya sporud - 2015. - Вип. 94. - S. 244-251.

13. Maksim'yuk Yu.V. Clutch element of the head type for the decoupling of a weight-symmetric problem of non-stationary heat conduction / Yu.V Maksimyuk // Opir materials and theory of spores - 2016. - Vip. 96. - S. 148-157. 161

14. Postnov V.A., Cherenkov N.I. Calculation of axisymmetric deformation of thick shells of revolution using the finite element method. - Sat. NTO Sudprom, 1970, issue 149, pp. 19-28.

УДК 624.21 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-076-087**
UDC 624.21

ВИПРОБУВАННЯ МОСТІВ, ЩО ОТРИМАЛИ ПОШКОДЖЕННЯ В НАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ

TESTING OF BRIDGES DAMAGED AS A RESULT OF COMBAT ACTIONS



***Оксень Євген Іванович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри системного проєктування об'єктів транспортної інфраструктури, Національний транспортний університет», Київ, Україна, e-mail: eioksen@gmail.com, тел.: +380506744778,*

https://orcid.org/0000-0003-1075-6840,

Анотація: В роботі розглянуто застосування методів статичних і динамічних випробувань мостів, що отримали пошкодження в наслідок бойових дій. Пробиття снарядами і пошкодження вибухами конструктивних елементів окрім явних пошкоджень утворюють, ще серію скритих дефектів, визначення яких за нормами та нормативними документами регламентується здійснювати шляхом випробувань розрахунковими навантаженнями. Для випробувань мостів відповідно до вимог будівельних норм і нормативних документів використовувалося розроблене автором статті обладнання цифрової реєстрації і обробки сигналів акустичної емісії та механічних коливань. Наведені результати статичних випробувань трьох прогонового шляхопроводу зі збірного залізобетону довжиною 63,20 м по вул. Квітнева в м. Чернігів та чотирьох прогонового пішохідного мосту довжиною 263,1 м через р. Десна в парковій зоні м. Чернігів. Розглянуті особливості застосування методу акустичної емісії для визначення стану прогонових будов мосту під час статичних випробувань зі ступеневим навантаженням. Під час аналізу результатів динамічних випробувань пішохідного мосту приведені результати застосування вейвлет-аналізу для розкриття особливостей коливань нерозрізної сталевої трьох прогонової будови, що отримала імпульси динамічного навантаження та визначення власної частоти коливань прогонових будов. Результати роботи рекомендуються для застосування під час обстеження та випробування мостів, прогонові будови яких мають скриті дефекти і пошкодження, а також для проведення постійного моніторингу за спорудами.

Ключові слова: міст, скритий дефект, статичні випробування, динамічні випробування, обладнання, цифрове вимірювання, сигнал, коливання, акустична емісія, критерії руйнування, амплітудно-частотний аналіз, вейвлет-аналіз.

Вступ. Агресивна війна, яку розв'язала рф проти народу України призвела до нескінченних жертв серед громадян та значних руйнувань житлових будинків, промислових підприємств та об'єктів транспортної інфраструктури. Одними з головних цілей атак ворога стали залізничні, автодорожні та пішохідні мости. Відновлення пошкоджених мостів є життєвою необхідністю для країни як для забезпечення життєдіяльності населення, так і подальшого спротиву ворогу та нанесенні йому поразки. Вибухи та пробиття снарядами в конструктивних елементах мостів окрім явних пошкоджень утворюють, ще серію скритих дефектів, визначення яких за нормами та нормативними документами регламентується здійснювати шляхом випробувань розрахунковими навантаженнями [1÷5]. Тому тема, що присвячена випробування пошкоджених мостів, є актуальною для народного господарства України оскільки забезпечує обґрунтування рішень щодо подальшої експлуатації пошкоджених мостів, зокрема:

— підтвердження можливості подальшої безпечної експлуатації;

— обґрунтування необхідності відновлення мостів;
— планування невідкладних протиаварійних робіт,
в умовах значних пошкоджень конструкцій та наявності скритих руйнувань.

Матеріали та методи. Методологічною основою для визначення стану пошкоджених мостів є метод акустичної емісії при ступеневому статичному навантаженні [5] та метод динамічних випробувань автодорожніх мостів [3].

Метою роботи є — підвищення надійності оцінювання технічного стану мостів на підставі отримання кількісних показників деформування його конструктивних елементів під дією нормованих навантажень в умовах наявності в елементах конструкцій дефектів та пошкоджень, в тому числі і прихованих, що знижують несучу здатність і вплив яких на вантажопідйомність неможливо визначити розрахунками.

Виклад основного матеріалу. 1. Обладнання для випробувань мостів. Для випробувань мостів відповідно до вимог [3, 5] використовувалося розроблене автором статті обладнання цифрової реєстрації і обробки сигналів акустичної емісії (АЕ) та механічних коливань. В залежності від розрядності сигналів, що вимірюються, застосовуються 32 бітні з чотирма каналами індивідуального підсилення сигналів комплекти (рис. 1) на базі аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) ADA-1406 (виробник Холіт Дейта Системс, Україна) та 64 бітні восьми канальні комплекти (рис. 2) на базі АЦП USB-5817 (виробник Advantech, Китай) з високоточними зовнішніми перетворювачами сигналу IEPE виробництва Advantech ADAM-3017.



Рисунок 1 – Обладнання на базі АЦП ADA-1406

Figure 1 – Equipment based on the ADA-1406 ADC



Рисунок 2 – Обладнання на базі АЦП USB-5817

Figure 2 – Equipment based on USB-5817 ADC

a) b) c)



a) RH113; b) CT11000L; c) MPU6050

Рисунок 2 – Перетворювачі механічних коливань та сигналів акустичної емісії

a) RH113; b) CT11000L; c) MPU6050

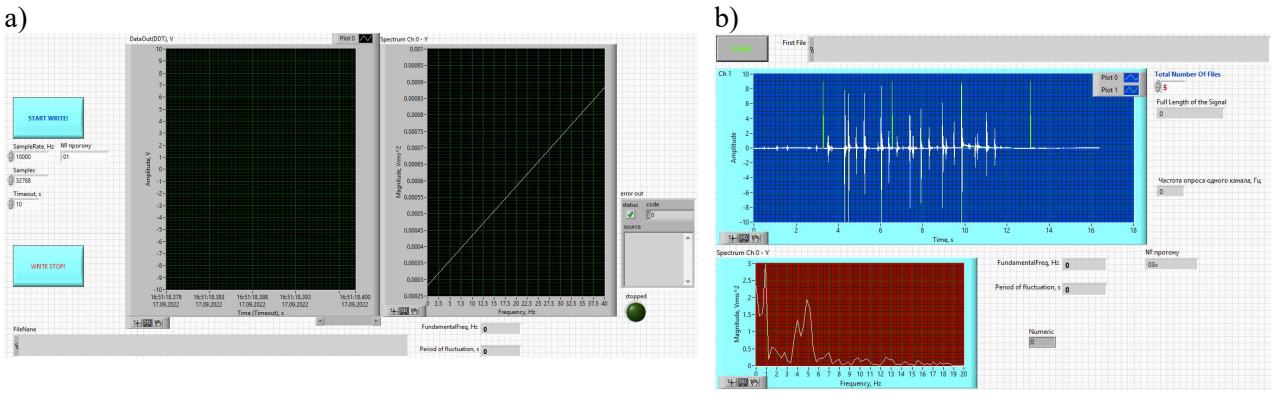
Figure 2 – Sensors of mechanical vibrations and acoustic emission signals

Для вимірювання механічних коливань та сигналів акустичної емісії застосовані:

— широкосмуговий високочутливий п'єзоелектричний перетворювач IEPE RH113 виробництва Ronds (Китай) з діапазоном вимірювання 0.1 Гц ÷ 10 кГц;

— низькочастотний п'єзоелектричний перетворювач IEPE CT11000L виробництва Sensing Tech (Китай) з діапазоном вимірювання 0.2 ÷ 500 Гц;

— низькочастотний мікроелектронний механічний перетворювач MEMS 10DOF-MPU6050-MODULE виробництва ATNSINC (Китай) з діапазоном вимірювання 0.0 ÷ 250 Гц.



a) програма запису сигналів; b) програма експрес-аналізу результатів вимірювання

Рисунок 3 – Робочі вікна програм випробування

a) signal recording program; b) a program for express analysis of measurement results

Figure 3 – Working windows of test programs

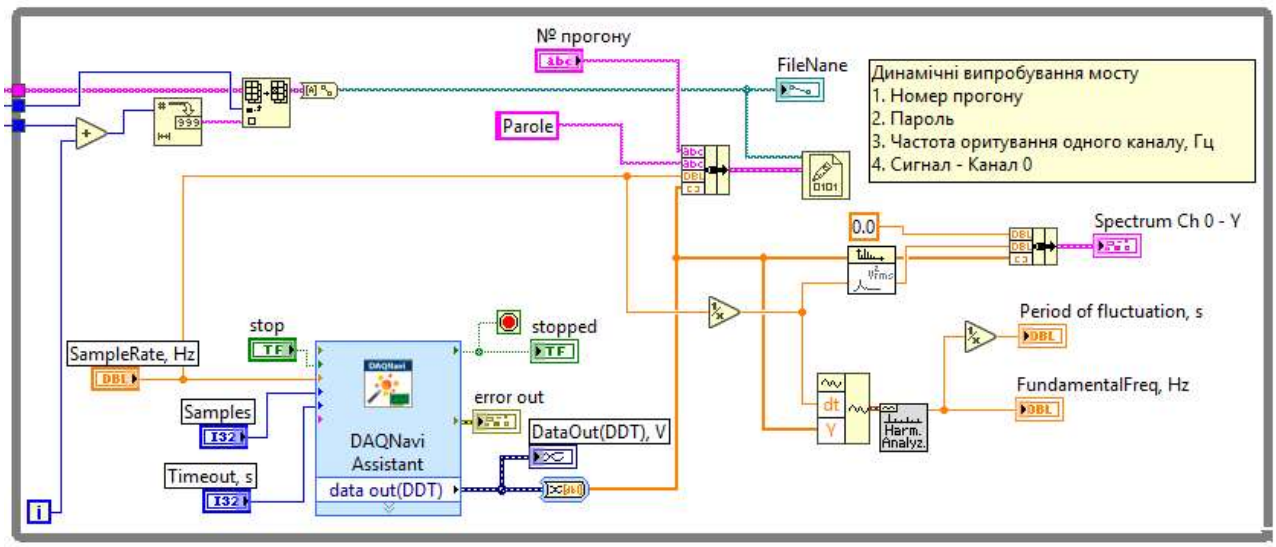


Рисунок 4 – Модуль опитування АЦП та запису у файл сигналу одного каналу

Figure 4 – A module for interrogating the ADC and recording the signal of one channel to a file

Програмне забезпечення для випробування розроблено в програмному середовищі LabVIEW (виробник США) і є уніфікованим для 32 та 64 бітних версій. Функціонально програмне забезпечення призначено для:

— тестування каналів вимірювання після встановлення і під'єднання перетворювачів;

— запису сигналів механічних коливань та сигналів акустичної емісії;

— моніторингу за станом конструктивних елементів мостів під час ступеневого навантаження;

— експрес-аналізу результатів вимірювання;

— аналізу стану конструктивних елементів мостів за результатами випробувань;

— віддаленого моніторингу за станом конструктивних елементів мостів з передачею протоколів спостереження користувачам через мережу Internet за протоколом MQTT.

Приклади робочих вікон програм запису сигналів та експрес-аналізу результатів вимірювання наведені на рис. 3. Для підвищення надійності збереження інформації запис результатів вимірювання здійснюється в послідовність коротких файли в бінарному форматі. Розмір файлу запису встановлюється програмно відповідно до потреб. Так, при збереженні $2^{15} = 32768$ вимірювань в одному каналі з частотою записів 10 кГц в файлі фіксується приблизно 3,25 с коливального процесу, а його довжина при цьому складає 262 КБайт. Пакети файлів з результатами вимірювань для кожного з випробувань надалі заносяться в базу даних і зберігаються на окремих архівних накопичувачах. Оскільки ділянки сигналів, що містять самі імпульси вібраційних коливань, займають в загальному об'ємі записів лише деяку частину пошук, тому виділення та аналіз безпосередньо таких фрагментів сигналів здійснюються в спеціалізованій програмі обробки результатів вимірювань.

Фрагмент блок-діаграми програми запису сигналів в програмному середовищі LabVIEW, а саме модулю опитування АЦП та запису у файл сигналу одного каналу, наведено на рис. 4.

Застосовані при розробці програмного забезпечення модульні принципи є доволі гнучкими і дозволяють оперативно реагувати на зміни виробниками номенклатури комплектуючих, що сприяє подальшому удосконаленню обладнання.

2. Статичні випробування автодорожніх мостів. Статичні випробування проводять для визначення максимального допустимого навантаження на міст шляхом поступового ступеневого нарощування випробувального навантаження. Випробуванням передує розрахунки та моделювання схем статичних навантажень від транспортних засобів зі ступеневим нарощуванням силових впливів (згинальних моментів та поперечних сил) на елементи конструкцій з визначенням їх розрахункових деформацій, таких як прогини балок або ферм в центрі прогонів. Відповідність зареєстрованих прогинів основних несучих елементів прогонових будов розрахунковим, наприклад, в центрі прогонів, є першим критерієм працездатності мосту.

Одночасно з реалізацією ступеневого навантаження здійснюють акустико-емісійний контроль [5÷8] за інтенсивністю випромінювання акустичних сигналів від деформування та руйнування конструктивних елементів, які супроводжують розвиток тріщин в контрольованих бетонних, залізобетонних та металевих елементах конструкцій автодорожніх мостових споруд.

Під час ведення бойових дій в 2022 р. трьох прогоновий шляхопровід збірного залізобетону довжиною 63,20 м, побудований за схемою 3×21,0 м, з габаритом по ширині Г-17 по вул. Квітнева в м. Чернігів (рис. 5) отримав пошкодження, з яких визначальним для експлуатаційного стану став наскрізний пробій прогонової будови в прогоні П1–2 в місті розташування шва омонолічування балок Б6 та Б7 з руйнуванням полиць балок прогонової будови з площею пошкодження орієнтовно 8 м^2 (рис. 5).

Для вимірювання акустично-емісійної активності руйнівних процесів під час випробувальних навантажень на балки прогонів були встановлені перетворювачі акустичної емісії (рис. 6). Випробувальне навантаження нарощувалось в три етапи шляхом послідовного розташування в прогоні трьох завантажених автомобілів МАЗ 5516 загальною вагою 40 тс кожний (рис. 7).

a) b)



a) загальний вид прогону П1-2; b) наскрізний пробій прогонової будови в прогоні П1–2
Рисунок 5 – Шляхопровід по вул. Квітнева в м. Чернігів

a) general view of P1-2 run; b) through failure of the span structure in span P1–2
Figure 5 – Highway along the street Kvitneva in Chernihiv

При проведенні випробувань шляхопроводу на кожному вимірювались як загальні прогини балок в центрі прогонів, так і сигнали акустичної емісії в балках прогонів. Вимірювання контрольованих параметрів при статичному завантаженні шляхопроводу виконувались після витримки випробувального навантаження в установлених схемах завантаження з безперервною фіксацією сигналів акустичної емісії. Час витримки складав від 20 до 25 хвилин. Нарощування випробувального навантаження здійснювалось по крокам, поступовим його збільшенням, шляхом викочування чергового завантаженого автомобіля.

Прогини прогонових будов вимірювались тахеометричною зйомкою тахеометром за прогинами поверхні мостового полотна в місцях розташування геодезичних марок. Геодезичні марки були нанесені повздовж центральних осей симетрії прогонових будов згідно з розміткою місць накочування навантаження, в місцях розташування проміжок між автомобілями-самоскидами МАЗ 5516 для забезпечення доступу до них при встановленні призми-відблискувача. Графічне представлення розподілу деформацій в процесу деформування прогонів під час випробувань наведено на діаграмах (рис. 8).



Рисунок 6 – Встановлення перетворювача акустичної емісії на балці за допомогою неодимового магніту

Figure 6 – Installation of the acoustic emission converter on beam using a neodymium magnet



Рисунок 7 – Розташування випробувального навантаження (три автомобілі МАЗ 5516)

Figure 7 – Test load location (three MAZ 5516 cars)

Типовий вигляд діаграм сигналів акустичної емісії, що зареєстровані під час витримки, наведено на рис. 9. Оцінювання стану прогонової будови здійснювалося за критерієм небезпеки розвитку процесу руйнування:

$$E = a \cdot P^b, \tag{1}$$

де $E_i = \sum_{k=0}^{N_i} \left| S_{AE_k} \cdot t_{SR} \right|$ — сумарне значення накопиченої енергії сигналів АЕ під час витримки під навантаженням на ступенях навантаження;

S_{AE_k} — поточне значення сигналу АЕ в векторі даних вимірювань, м/с^2;

t_{SR} — інтервал опитування, с;

N_i — довжина (потужність) вектору сигналу на i-тій ступені навантаження, включаючи всі значення вектору сигналу АЕ від початку вимірювання.

В рівнянні (1) критеріальним параметром відповідно до методики [5] є показник ступеню b, який за умовами відсутності руйнувань в конструктивних елементах прогону (в балках) не повинен перевищувати $b < 3$.

Визначення складових a та b рівняння (1) для результатами вимірювань для відповідних схем навантаження прогонової будови на кожному i-тому кроці навантаження здійснювалось програмним комплексом численним методом шляхом ітераційного рішення системи рівнянь:

$$\begin{cases} E_{i-1} = a \cdot P_{i-1}^{\ b} \\ E_i = a \cdot P_i^b \end{cases}. \tag{2}$$

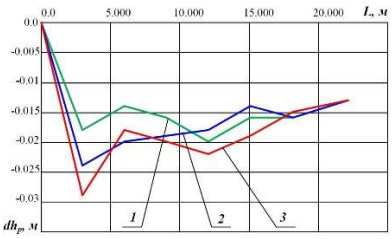


Рисунок 8 – Прогини для відповідних схем навантаження

Figure 8 – Deflections for the corresponding load patterns

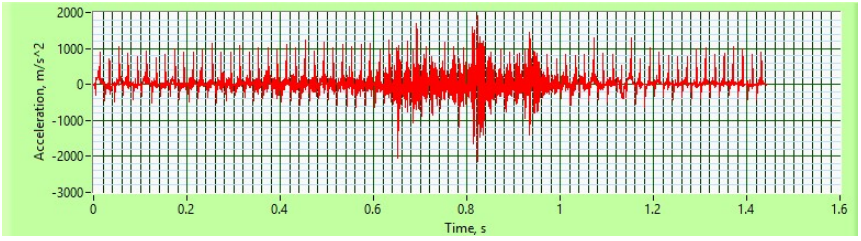


Рисунок 9 – Загальний вид групи імпульсів акустичної емісії

Figure 9 – A general view of a group of acoustic emission pulses

Чисельним аналізом експериментальних даних встановлені значення констант ступеневої залежності між приведеним згинальним моментом та значеннями накопичення енергії сигналів АЕ під час витримки на ступенях навантаження в 25-ти хвилинному часовому інтервалі витримки в балках. Максимальне абсолютне значення показника ступеню досягає для балок Б10 — 2.07 та для Б3 — 2.86. Встановлене абсолютне значення показника ступеня для схем навантаження прогону трьома вантажними автомобілями не перевищує граничне за рекомендаціями [5] значення критерію небезпеки розвитку процесу. Це дозволяє визнати, що дефекти, котрі розвиваються в структурі матеріалу, не є небезпечними. Шляхопровід по вул. Квітнева в м. Чернігів рекомендовано до проведення капітального ремонту шляхом омонолічування зруйнованої частини плити прогонової будови, а до виконання

ремонту може бути допущений до пропуску транспортних засобів на полосах руху незруйнованої частини з обмеженням швидкості.

3. Динамічні випробування автодорожніх мостів. Динамічні випробування є обов'язковою процедурою під час визначення технічного стану прогонових будов з розрахунковою довжиною прольоту 35 м і більше, а також для всіх мостів, які розташовані в районах із сейсмічністю 7 балів і більше та мають прогонові будови довжиною понад 18 м [1, 3].



Рисунок 10 – Загальний вид пішохідного мосту

Figure 10 – General view of the pedestrian bridge



Рисунок 11 – Руйнування снарядами балки мосту

Figure 11 – Destruction of a bridge beam by projectiles

Чотирьох прогоновий пішохідний міст (рис. 10) довжиною 263,1 м через р. Десна, що побудований за схемою «52.8+136.5+52.8 м нерозрізна металева + 21,0 м залізобетон», розташований в парковій зоні м. Чернігів на продовженні вулиці Нова правого берегу р. Десна з виходом на дорогу, що прокладена повздовж лівого берегу і в подальшому спрямована на перетин з автомобільною дорогою регіонального значення Р-67 «Чернігів — Ніжин — Прилуки — Пирятин». Внаслідок ведення бойових дій пішохідний міст в 2022 р. отримав пошкодження у вигляді пробиттів сталевого коробу балки снарядами та внутрішніх вибухів. Найбільші пошкодження отримала металева прогонова будова П3-4 (рис. 11) біля опори ОП3.

За результатами обстеження пішохідного мосту були визначені перетини сталевої балки мосту (рис. 12), які отримали найбільші пошкодження та виконані розрахунки втрати вантажопідйомності. Відповідно до вимог [4] встановлено, що в прогоновій будові П3-4 внаслідок пошкоджень, що отримані в наслідок бойових дій, є втрата вантажопідйомності за згинальним моментом, яка складає 27,0 %. Тому за зниженням вантажопідйомності прогонових будов пішохідному мосту через р. Десна в м. Чернігів призначено експлуатаційний Стан 4 — Обмежено працездатний.

Однак, оскільки прогонові будови металевої частини мосту мають довжину, більшу ніж 35 м, і мають схильність до виникнення резонансних явищ під час руху натовпу пішоходів та впливу вітру підвищеної швидкості, для визначення впливів руйнувань конструктивних елементів мосту на зміну жорсткості, і відповідно, частот власних коливань, були проведені динамічні випробування пішохідного мосту. Задача випробувань — експериментальне встановлення частот власних коливань металевих прогонів трьох прогонової нерозрізної частини пішохідного мосту модальним контролюванням (аналізом вільних коливань), яке включає визначення спектру частот власних коливань трьох прогонової статично невизначеної металевої нерозрізної одно коробчастої балки на чотирьох опорах (прогони П1-2, П2-3 та П3-4) як суцільної конструкції з урахуванням внесків кожного з прогонів в загальні коливання. Визначення внеску окремих прогонів в загальні коливання прогонової будови оцінюється зіставленням спектрів коливань в кожному з вказаних прогонів при ініціюванні коливань імпульсним навантаженням.

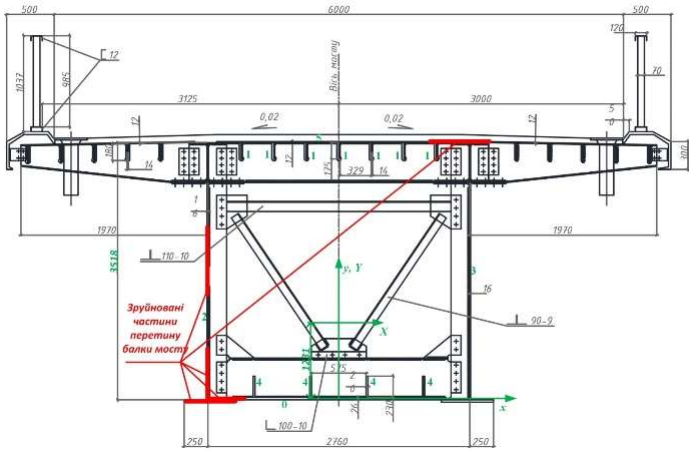
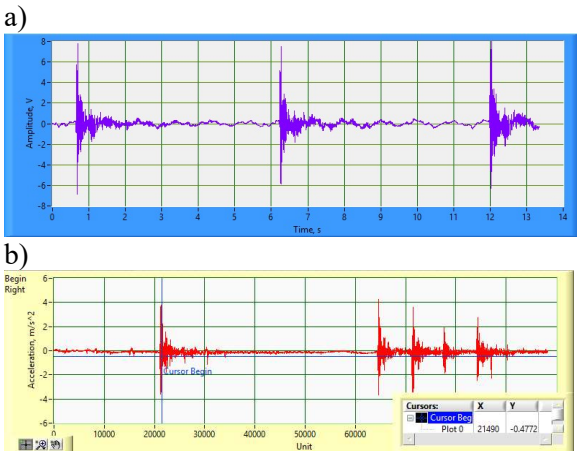


Рисунок 12 – Руйнування снарядами балки мосту

Figure 12 – Destruction of a bridge beam by projectiles



a) три послідовні імпульси навантаження;
b) визначення вікна аналізу
Рисунок 13 – Діаграма коливань прогону П2-3

a) three consecutive load pulses;
b) definition of the analysis window
Figure 13 –Diagram of oscillations of run P2-3

Методика динамічних випробувань пішохідного мосту через р. Десна в м. Чернігів складалася з послідовності наступних операцій вимірювання:

— визначення геодезичними вимірюваннями розташування центральних точок поверхні мостового полотна кожного з прогонів з похибкою 0,1 м;

— закріплення в центральній точці поверхні мостового полотна, що випробовується, відносно поверхні одновісного перетворювача прискорення (див. рис. 2с) з орієнтацією осі вимірювання з максимальним відхиленням від вертикальної осі 3°;

— підготовка обладнання фіксації сигналів коливання поверхні мостового полотна прогону до запису;

— розташування відносно центральної точки поверхні мостового полотна прогону спеціальної групи з чотирьох пішоходів (фрагмент натовпу), що створює навантаження, близьке до проектних 400 кгс/м^2;

— вмикання обладнання фіксації сигналів коливання поверхні мостового полотна прогону для запису сигналів;

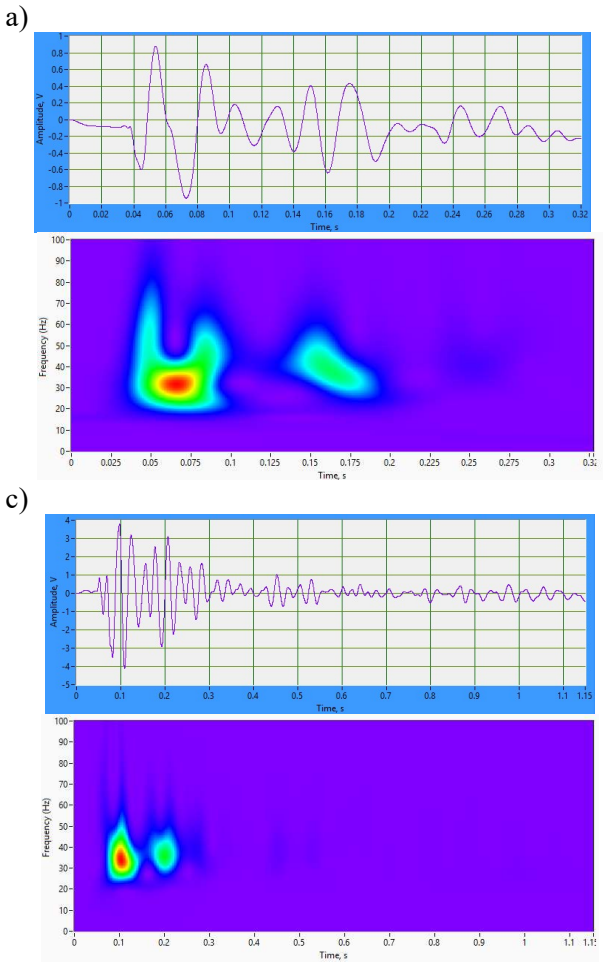
— ініціювання коливального імпульсу в прогоновій будові шляхом підстрибування з жорстким приземленням групи з чотирьох пішоходів;

— витримка часу для запису коливань в прогоновій будові до повного згасання.

Обробка результатів вимірювань з визначенням частот власних коливань прогонових будов для мосту здійснювалась в оригінальному програмному комплексі, який забезпечує експертне призначення положення і розміри вікна аналізу в просторі сигналу (рис. 13).

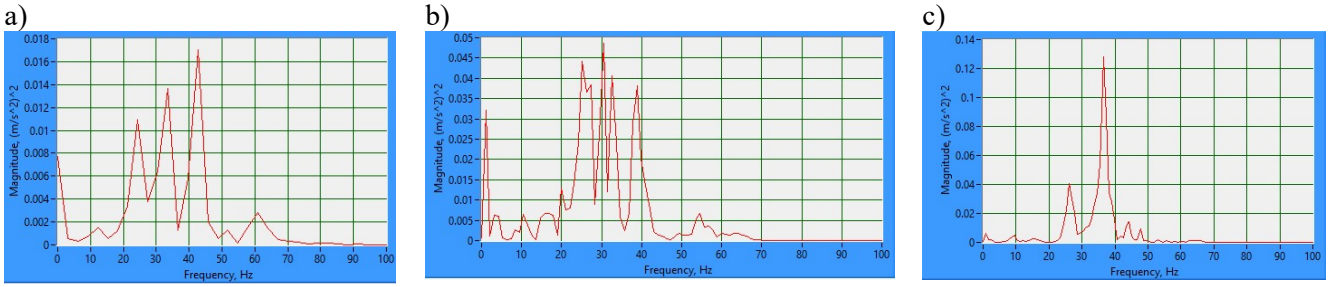
Таблиця 1 – Значення частот власних коливань прогонів пішохідного мосту
Table 1 – The value of frequencies of natural oscillations of spans of a pedestrian bridge

№ прогону	Частота власних коливань, Гц	Середньо квадратичне відхилення, Гц	Коефіцієнт варіації, %
1	2	3	4
1-2	42,21	0,868	2,056
2-3	30,07	0,370	1,389
3-4	36,66	0,267	0,643



a) коливання прогонової будови П1-2;
b) коливання прогонової будови П2-3;
c) коливання прогонової будови П3-4
Рисунок 14 – Вейвлет-аналіз фрагментів сигналів коливань мосту під дією імпульсів динамічних навантажень

a) oscillations of the span structure P1-2;
b) oscillations of the span structure P2-3;
c) oscillations of the span structure P3-4
Figure 14 – Wavelet analysis of bridge vibration signal fragments under the influence of dynamic load pulses



a) прогонова будова П1-2; b) прогонової будови П2-3; c) прогонової будови П3-4
Рисунок 15 – Амплітудно-частотна характеристика фрагменту сигналу власних коливань
a) span structure P1-2; b) span structure P2-3; c) span structure P3-4
Figure 15 – Amplitude-frequency characteristics of a fragment of the natural oscillation signal

Оскільки ініціювання коливального процесу в прогонах здійснювалося ударним імпульсом, для визначення межі фаз «ініціація коливань — власні коливання» застосовувалось аналітичне безперервне вейвлет-перетворення (AWT) на основі складних вейвлетів Морле, яке надає інформацію про величину та фазу сигналів у шкалі часу. Ця перевага AWT дозволяє в просторі вікна сигналу побудувати його часову амплітудно-частотну характеристику і визначити початок фази «власних коливань». На рис. 14 наведені віконні фрагменти сигналів коливань прогонових будов мосту під дією ударного імпульсу і відповідні скейлограми сигналів (часові амплітудно-частотні характеристики). Одночасно для визначених ділянок сигналів з власними коливаннями прогонів швидким Фур'є перетворенням були побудовані амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) (рис. 15) та визначені частоти власних коливань як максимальні значення діаграм АЧХ (табл. 1).

Порівняння частот коливання за виконаними випробуваннями, що встановленні при збудженні прогонової будови вертикальними поштовхами, з частотами вертикальних коливань, які отримані при проведенні випробувань в 1990 році, показало співпадіння їх значень з середнім відхиленням 4,1%. Найбільша розбіжність має місце для третьої моди коливань і складає 28,6%. Найменше значення частоти власних коливань, яке має прогонова будова, притаманне найбільш протяжному прогону П2-3 і складає 30,07 ± 0,37 Гц, що значно вище межі утворення резонансних явищ для пішохідних мостів. Пошкодження, які отримали конструктивні елементи мосту внаслідок військових дій, привели до суттєвих змін динамічних характеристик металевої прогонової будови. Так, для прогону з найбільшими руйнуваннями П3-4 в порівнянні з однотипним прогоном П1-2 зі значно меншими руйнування перша мода власних коливань має зниження на 15,1 %.

За результатами обстеження та динамічних випробувань встановлено, що по мосту дозволяється рух з пішоходів за умов огородження зруйнованих частин мостового полотна і перильної огорожі при обмеженні одночасного находження на мосту не більш 50 осіб та поодиноких технологічних транспортних засобів за вагою не більш 5 тс з обмеження в швидкості руху не більш 5 км/г. Для пішохідного мосту рекомендується виконати капітальний ремонт мосту з відновленням до проектних показників зруйнованих елементів конструкцій прогонових будов.

Висновки. 1. Для проведення статичних та динамічних випробувань мостів розроблено обладнання цифрової реєстрації і обробки сигналів акустичної емісії та механічних коливань з застосуванням 32 бітних та 64 бітних USB-модулів аналогово-цифрових перетворювачів. Обладнання пройшло апробацію про виконанні статичних випробувань трьох прогонового залізобетонного шляхопроводу вул. Квітнева в м. Чернігів та динамічних випробувань сталевої частини чотирьох прогонового пішохідного мосту через р. Десна в м. Чернігів, які отримали пошкодження в наслідок бойових дій і мали скриті дефекти.

2. Чисельним аналізом сигналів акустичної емісії, отриманими під час ступеневого навантаження прогонових будов випробувальним автомобільним транспортом встановлено, що дефекти, котрі розвиваються в структурі матеріалу, не є небезпечними для мосту. Шляхопровід по вул. Квітнева в м. Чернігів рекомендовано до проведення капітального ремонту шляхом омонолічування зруйнованої частини плити прогонової будови, а до виконання ремонту може бути допущений до пропуску транспортних засобів на полосах руху незруйнованої частини з обмеженням швидкості.

Аналітичним безперервним вейвлет-перетворення на основі складних вейвлетів Морле отримана інформацію про величину та фазу сигналів від випробувальних динамічних навантажень у шкалі часу. Для визначених ділянок сигналів з власними коливаннями прогонів швидким Фур'є перетворенням були побудовані амплітудно-частотні характеристики та визначені частоти власних коливань. За результатами динамічних випробувань дозволено рух з пішоходів за умов огородження зруйнованих частин мостового полотна і перильної огорожі при обмеженні одночасного находження на мосту не більш 50 осіб та поодиноких технологічних транспортних засобів за вагою не більш 5 тс.

3. Розроблене обладнання, програмне забезпечення та методологія проведення статичних і динамічних випробувань рекомендується для застосування при визначенні стану мостів, що отримали пошкодження в наслідок бойових дій або мають скриті дефекти.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-6:2009 Мости та труби. Обстеження і випробування.
2. ДСТУ 9123:2021 Настанова з обстеження та випробування мостів і труб.
3. ДСТУ 8748:2017 Настанова щодо проведення динамічних випробувань автодорожніх мостів.
4. ДСТУ 9181:2022 Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів.
5. МВВ 218-03450778-240-2004 Метод акустико-емісійного діагностування технічного стану мостів при статичних випробуваннях.
5. ДСТУ 9181:2022 Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів.
6. Ramesh Singh Acoustic Emission Testing (AET) // «Applied Welding Engineering. Processes, Codes, and Standards», 2012, p. 307-319. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391916-8.00028-5
7. Zhanjun Wu, Kausttabh Kumar Ghosh, Xinlin Qing, Vistasp Karbhari Structural health monitoring of composite repair patches in bridge rehabilitation // Mechanical and Aerospace SystemsAt: San Diego. Volume: 6174, p. 178-201. https://doi.org/10.1117/12.667177
8. Markovic M., Krauberger N., Saje M., Planinc I., Bratina S. Non-linear analysis of pre-tensioned concrete planar beams // Engineering Structures, Volume 46, January 2013, Pages 279-293. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.08.004

TESTING OF BRIDGES DAMAGED AS A RESULT OF COMBAT ACTIONS

Oksen Yevhen I., Doctor of Technical Sciences., Professor, Professor of the department of system design of transport infrastructure objects and geodesy, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: eioksen@gmail.com, tel. +380506744778, https://orcid.org/0000-0003-1075-6840.

Summary. The work examines the application of methods of static and dynamic testing of bridges damaged as a result of hostilities. Penetration by projectiles and damage by explosions of structural elements, in addition to obvious damage, also form a series of hidden defects, the determination of which according to norms and regulatory documents is regulated to be carried out by means of tests with calculated loads. For testing bridges in accordance with the requirements of construction standards and regulatory documents, the equipment developed by the author of the article was used for digital registration and processing of signals of acoustic emission and mechanical vibrations. The results of static tests of three span overpasses made of precast concrete with a length of 63.20 m along the street are presented. Kvitneva in the city of Chernihiv and a four-span pedestrian bridge with a length of 263.1 m across the Desna River in the park zone of the city of Chernihiv. The peculiarities of the application of the acoustic emission method for determining the state of the span structures of the bridge during static tests with step loading are considered. During the analysis of the results of the dynamic tests of the pedestrian bridge, the results of the application of wavelet analysis were translated to reveal the characteristics of the oscillations of a non-separable steel three-span structure that received dynamic load impulses and determine the natural frequency of oscillations of the span structures. The results of the work are recommended for use during the examination and testing of bridges, the girder structures of which have hidden defects and damage, as well as for constant monitoring of the structures.

Keywords: bridge, hidden defect, static tests, dynamic tests, equipment, digital measurement, signal, oscillation, acoustic emission, failure criteria, amplitude-frequency analysis, wavelet analysis.

References

1. DBN V.2.3-6:2009 Bridges and pipes. Examination and testing.
2. DSTU 9123:2021 Guidelines for examination and testing of bridges and pipes.
3. DSTU 8748:2017 Guidelines for conducting dynamic tests of road bridges.
4. DSTU 9181:2022 Guidelines for assessing and predicting the technical condition of highway bridges.
5. MVV 218-03450778-240-2004 Method of acoustic-emission diagnosis of the technical condition of bridges during static tests.
6. Ramesh Singh Acoustic Emission Testing (AET) // «Applied Welding Engineering. Processes, Codes, and Standards», 2012, p. 307-319. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391916-8.00028-5
7. Zhanjun Wu, Kausttabh Kumar Ghosh, Xinlin Qing, Vistasp Karbhari Structural health monitoring of composite repair patches in bridge rehabilitation // Mechanical and Aerospace SystemsAt: San Diego. Volume: 6174, p. 178-201. https://doi.org/10.1117/12.667177
8. Markovic M., Krauberger N., Saje M., Planinc I., Bratina S. Non-linear analysis of pre-tensioned concrete planar beams // Engineering Structures, Volume 46, January 2013, Pages 279-293. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.08.004

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-088-098

ВПЛИВ ЯКІСНОГО СТАНУ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИВУ МОСТІВ НА ХАРАКТЕР РУХУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

THE INFLUENCE OF THE QUALITY CONDITION OF THE ROAD SURFACE OF BRIDGES ON THE CHARACTER OF VEHICLE TRAFFIC



***Разбойніков Олександр Олександрович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, e-mail: razboyn1k@ukr.net, тел.: +380972214790,*

https://orcid.org/0000-0003-3024-0999



***Давиденко Олександр Олександрович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд,, Національний транспортний університет, e-mail: oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua, тел. +380504713399,*

http://orcid.org/0000-0003-0176-3256



***Козарчук Ігор Анатолійович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: igorkozarchuk@ntu.edu.ua, тел. +380938895646,*

http://orcid.org/0000-0003-4972-6016



***Клочан Арсен Євгенійович,** асистент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mailvarsenchuk@gmail.com, тел.+380683528126,*

https://orcid.org/0000-0002-4225-9382

Анотація: У даній статті представлено дослідження, спрямоване на ідентифікацію типових деформацій дорожнього покриву та визначення їх геометричних параметрів. Ці деформації не лише впливають на характер руху автотранспортних засобів, але й обумовлюють надмірні динамічні навантаження на автодорожні мости.

У процесі дослідження використовуються різноманітні методи, включаючи вимірювання параметрів руху автомобіля, діагностику дефектів мостового полотна. Особлива увага приділяється вивченню впливу цих дефектів на режим руху транспортних засобів та їх вплив на несні мостові конструкції.

Отримані в статті результати ґрунтуються на об'єднанні та аналізі відомостей, які отримані від фахівців у галузях дорожнього будівництва та автомобілебудування. Ці результати є підґрунтям для математичного моделювання руху великовагових автотранспортних засобів мостами з пошкодженим дорожнім покривом.

Ключові слова: автомобіль, автомобільна дорога, дефекти, дорожній покрив, макропрофіль мікропрофіль, міст, нерівності.

Вступ. Режим руху великовагового транспортного засобу формується за рахунок комплексного впливу сил. Водій має можливість регулювати тягові, гальмівні та поперечні сили на колесах під час різних маневрів, таких як розгін, гальмування або зміна напрямку руху. Однак існують сили, які не залежать від водійських дій, такі як аеродинамічні, динамічні сили, що виникають при контакті колеса з дефектом дорожнього покриву.

Деформації на дорожньому покриві можуть спричиняти як вимушені, так і вільні коливання автомобіля, що виникають у процесі їх подолання. Рівень коливань транспортного засобу, економічність витрат енергії на коливання, швидкість руху, міжремонтний пробіг, ефективність використання та надійність визначаються якісним станом дорожнього покриву [1].

При цьому, коливання підресорених та непідресорених мас автомобіля супроводжуються динамічними навантаженнями на дорожній покрив як при подоланні дефектів, так і після цього. Цей аспект важливий не лише для дослідження експлуатаційних характеристик транспортного засобу, але й для визначення динамічного впливу на дорожній покрив, особливо на мостові конструкції.

Оскільки забезпечення надійності автодорожніх мостів має стратегічне значення, важливість проведення досліджень у цьому напрямку є актуальною. Для успішного вивчення цього питання необхідно проаналізувати типові дефекти дорожнього покриву та їх геометричні параметри, що впливають на характер руху автотранспортних засобів і породжують значні динамічні навантаження на несні конструкції мосту.

Автодорожні мости складаються з семи груп конструктивних елементів, визначених згідно з ДСТУ 9181:2022 «Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів». Три з цих груп – фундаменти, опори та прогонові будови – є визначальними й обумовлюють несну здатність мосту. Мостове полотно включає покрив проїзної частини, гідроізоляцію, бар'єри безпеки, бордюрний камінь, систему водовідведення, тротуари та їх покрив, перилове огородження і деформаційні шви.

Загалом, мостове полотно виконує кілька ключових завдань. Серед них захист несних елементів від транспортного засобу агресивного середовища, забезпечення безпечного руху автотранспорту та пішоходам. Однак при наявності дефектів і пошкоджень цих елементів можуть виникати проблеми, які суттєво впливають на надійність, тривалість служби та безпеку руху.

Порушення поздовжніх та поперечних профілів на підходах до мосту і самій споруді може призвести до втрати плавності руху та додаткових динамічних навантажень в області стоянів та на самому мостовому переході. Комбінація дефектів на мостовому полотні прямо впливає на погіршення умов роботи несних елементів мосту, збільшуючи динамічні впливи, які створюють елементи підвіски автомобіля та колесо під час подолання дефектів. Це, в свою чергу, становить значущий фактор для безпеки та тривалості служби мостової конструкції.

Мета роботи. Мета даного дослідження полягає у визначенні впливу якісного стану дорожнього покриву на рух автотранспортних засобів, що обумовлює утворення підвищених динамічних навантажень на автодорожні мости.

У ході виконання наукового дослідження ставилися та були досягнуті наступні основні завдання:

1. Провести аналіз існуючих літературних джерел щодо впливу якісного стану дорожнього покриву на режим руху автомобіля.

2. Визначити найбільш поширені форми деформацій дорожнього покриву мосту.

3. Провести аналіз руху автотранспортного засобу під час долання дефектів проїзної частини автодорожніх мостів. Визначити вплив цих дефектів на динаміку руху та створення додаткових навантажень на мостові конструкції.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботі [1] запропоновано застосування нейронних мереж типу YOLO (You Only Look Once) та зображень із високою та низькою розділовою здатністю для виявлення дефектів прогонових будов та опор залізобетонних мостів. Запропонований у роботі підхід може бути використаний для швидкого виявлення дефектів мосту в режимі реального часу. В даній роботі розглядаються наступні види дефектів: розтріскування бетонної поверхні, оголення арматури та корозія.

Робота [2] присвячена наукометричному та систематичному аналізу сучасних досліджень пов'язаних із оцінкою дефектів залізобетонних мостів за допомогою методів неруйнівного контролю. У роботі в якості дефектів розглядаються поверхневі та підповерхневі аномалії у залізобетонних мостах.

У роботі [3] представлені результати систематичного огляду автоматизованих підходів та засобів, зокрема методів комп'ютерного бачення, для виявлення дефектів доріг та аномалій, а також їх вплив на безпеку дорожнього руху. Серед основних видів дефектів, які розглядаються в даній роботі можна виділити наступні: вибоїни, тріщини, відшарування, розтріскування, усадка і здуття дорожніх шарів та інші. Дослідники розглядають проблему дефектів та пошкоджень до мостового полотна з точки зору безпеки дорожнього, а також пішохідного руху та наводять наступну класифікацію (рис. 1).



Рисунок 1 – Типи категорій небезпеки на дорозі в контексті виявлення аномалій та дефектів засобами комп'ютерного зору [3]

Figure 1 – Types of road hazard categories in the context of detecting anomalies and defects by means of computer vision [3]

Робота [4] присвячена розгляду питання розпізнавання дефектів із використанням візуальних методів контролю та нейромереж із глибоким навчання шляхом виявлення обмежувальної рамки кожного дефекту. Запропонований підхід не може бути застосований для отримання геометричних властивостей кожного окремого дефекту. У даній роботі розглядаються також дефекти залізобетонних конструкцій прогонових будов та опор мостів, а саме: тріщини, розколювання, оголена арматура, ділянки латання та стирання. Зазначені дефекти знижують структурну ємність і довговічність бетону, загальну безпеку та експлуатаційну придатність бетонних конструкцій.

У статті [5] розкривається питання проектування конструкції дорожнього одягу з урахуванням специфіки негабаритних та великовагових перевезень. Особливим аспектом при вирішенні даного питання є врахування міцності і несної здатності мостів і дорожньої конструкції та вибір відповідного спеціалізованого рухомого складу. У роботі розглядаються наступні види дефектів дорожнього покриву: сітка тріщин, вибоїни, поздовжні тріщини, поперечні тріщини, блочні тріщини, проломи цементобетонних плит, лущення, сколювання, раковини, викришування та інші.

У роботі [6] розглядаються особливості дорожніх конструкцій у зоні сполучення мосту та мостового підходу, а також основні види дефектів дорожнього одягу мостів та мостових підходів. Автор розглядає наступні дефекти дорожнього покриву мостів та мостових підходів: посадка ґрунту підходу, тріщини асфальтобетонного покриву, розмив ґрунту, протікання води. Зазначені види дефектів знижують надійність та довговічність асфальтобетонного покриву на мостових переходах та можуть спричинити появу небезпеки «клавішного ефекту».

У роботі [7] автори проводять визначення вартості 1 м^2 кожного виду ремонту мостів, який може бути застосований в фінансово-економічному модулі Аналітичної експертної системи управління мостами. У дослідженні пропонується експертний розподіл дефектів у залежності від їх впливу на технічний стан конструкцій або споруди в цілому:

1. Недопустимі.
2. Обмежено допустимі.
3. Допустимі.

Зазначимо, що цей експертний розподіл дефектів стосуються всіх семи груп елементів мосту.

Автори у своїй науковій праці [8] розглядають адекватність існуючої методики оцінки рівності доріг на ділянках мостових переходів, та зазначають що дефекти на штучних спорудах автомобільних доріг істотно впливають на комфортність та безпеку руху. У своїх висновках зазначають, що існуюча методика оцінки рівності автомобільних доріг не передбачає виділення ділянок, де розташовані штучні споруди, так як оцінка рівності покриву виконується покілометрово, тому мостові переходи залишається без уваги.

У Посібнику дорожніх «хвороб» розробленому за підтримки USAID [9] розглядаються такі фактори, які викликають найбільш розповсюджені деформації і руйнування дорожньої конструкції: експлуатаційні, природно-кліматичні, будівельні та проєктні фактори, а також вплив автомобіля на формування найбільш розповсюджених деформацій і руйнування дорожньої конструкції автомобільних доріг. Зазначається, що найбільш суттєвий вплив із них мають вертикальний вплив автомобіля, несвоєчасність проведення ремонту і недоліки при проєктуванні та будівництві дорожньої конструкції. У роботі виділяються наступні види деформацій і руйнування дорожньої конструкції автомобільних доріг: утворення пучин, втрата міцності, просідання, сітка тріщин, лущення, викришування, руйнування кромки, окремі тріщини, колійність, вибоїни. Ділянки мостових переходів у посібнику окремо не розглядаються.

Виклад основного матеріалу.

Дефекти дорожнього покриву характеризуються формою профілю (гармонічною, параболічною, прямокутною тощо), його розмірами (довжиною, висотою) та взаєморозташуванням. З точки зору теорії руху автомобіля нерівності опорної поверхні прийнято класифікувати в залежності від їх впливу на автомобіль. Розрізняють нерівності макропрофілю (довжина хвилі – 100 м і більше), мікропрофілю (довжина хвилі – від 10 см до 100 м) та шорсткості покриву (довжина хвилі – менше 10 см) [4]. При цьому відмічається, що перші та останні майже не впливають на процес коливання

автомобіля (нерівності макропрофілю помітно впливають лише на роботу двигуна та трансмісії (рис. 2, а), а шорсткості поглинаються шинами (рис. 2, б) [2]) [1].

Професор А.П. Солтус наголошує [3], що мікропрофіль опорної поверхні є одним з найбільш суттєвих чинників, який призводить до появи динамічності реакцій в контакті колеса з опорною поверхнею. До того ж мікропрофіль безпосередньо впливає на процес коливання автомобіля [2]. Так, з рисунка 2 видно характер зміни положення центру колеса (непідресорена маса) автотранспортного засобу та його характерної точки на кузові (підресорена маса). Положення зазначених точок до початку долання дефекту дорожнього покриву деформаційного шва мостового переходу наведено на рис. 3, а. Також наведено зміну положення цих точок підчас долання від'ємного (рис. 3, b) та додатного (рис. 3, c) кутів атаки [1] дефекту дорожнього покриву.



а) б)

Рисунок 2 – Характер долання автомобілем нерівності макропрофілю (а) та поглинання нерівності його пневматичною шиною (б) [2]

Figure 2 – The character of the car overcoming the unevenness of the macro profile (a) and the absorption of the unevenness by its pneumatic tire (b) [2]

На рис. 3, с, видно суттєве зменшення відстані між підресореною та непідресореною масами автотранспортного засобу, а також збільшення деформації його шини. Зазначене свідчить про збільшення динамічних сил, що діють як у його підвісці так і в плямі контакту між автомобільним колесом та дорожнім покривом мостового переходу. Зважаючи на те, що саме ці явища найбільш суттєво впливають на характер руху автотранспортних засобів, який призводять до динамічних навантажень на мостовий перехід, далі розглянуто нерівності мікропрофілю.

Мікропрофіль складається з нерівностей (крок нерівностей лежить у межах від 0.1 м до 100 м [2]). При цьому нерівності висотою до 1 см при довжині, що не перевищує довжину відбитка шини, зазвичай називають шорсткостями. Мінімальна довжина нерівності мікропрофілю приймається від 0,2 м до 0,4 м. Я. М. Певзнер зазначає, що найбільш інтенсивні коливання непідресорених мас автомобіля та флуктуації динамічних реакцій між колесом та дорогою спостерігаються на нерівностях довжиною хвилі від 1 м до 2 м при русі з середніми експлуатаційними швидкостями. При збільшені маси автомобіля, а також висоти нерівностей, нормальні реакції нерівної опорної поверхні зростають [1]. При цьому збільшення кута атаки дорожньої нерівності призводить до зменшення коефіцієнту стійкості автомобіля проти заносу [6].

З огляду на зазначене можна прийти до висновку, що основний вплив на характер руху автотранспортних засобів, що призводить до додаткових динамічних навантажень на міст, чинять дефекти дорожнього покриву, які за своїми геометричними параметрами відносяться до мікропрофілю, тобто довжина дефектів проїзної частини більша відбитка шини.

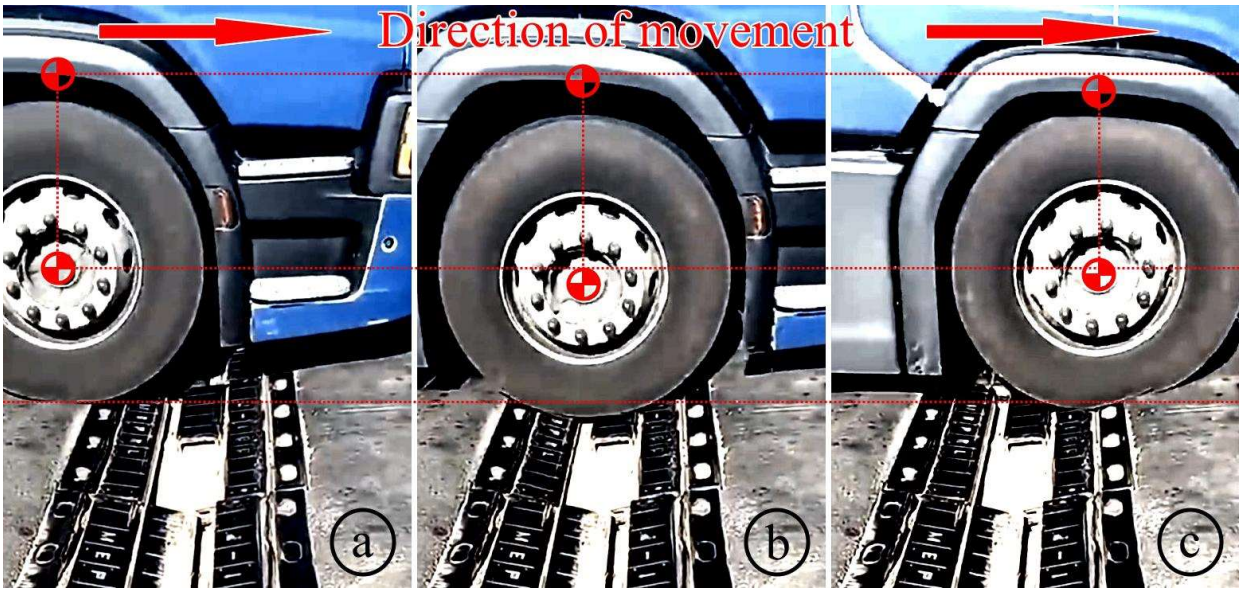


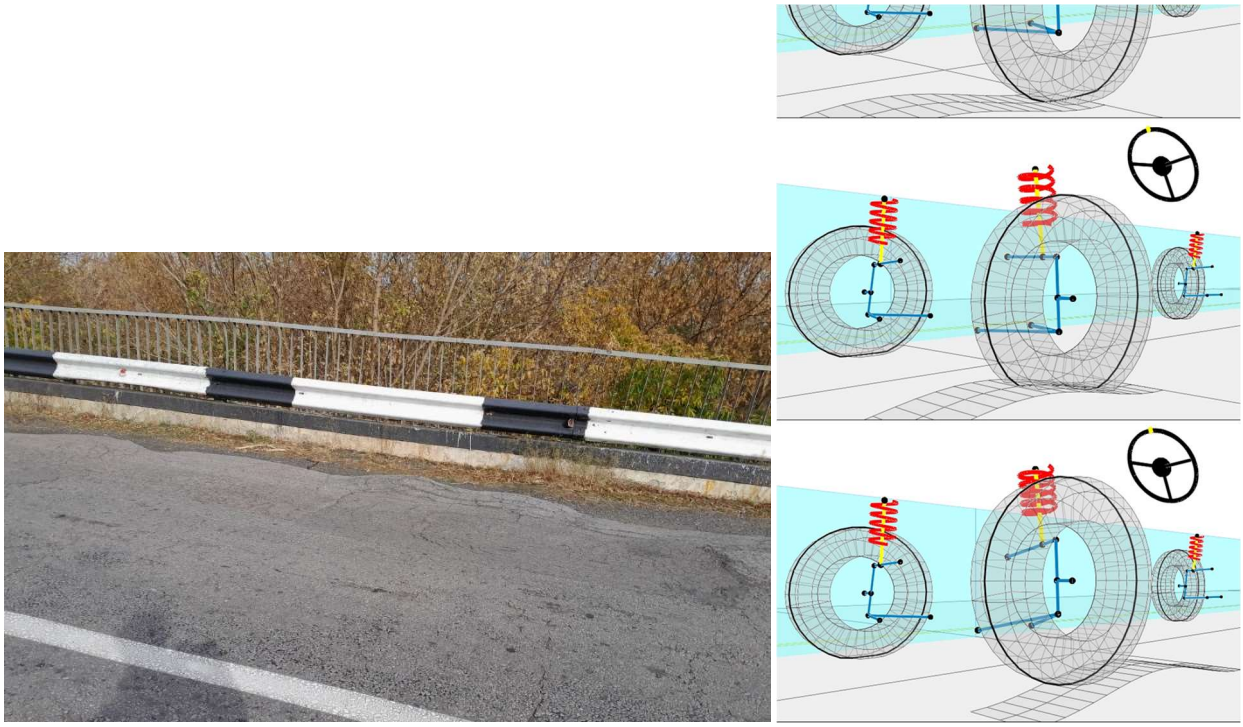
Рисунок 3 – Вплив нерівностей мікропрофілю на характер руху автотранспортного засобу

Figure 3 – Influence of microprofile irregularities on the nature of the vehicle movement

Варто зазначити, що в роботі [5] проведено аналіз збурюючого впливу від нерівностей дороги на транспортний засіб. Автор наголошує, що інтенсивну збурюючу дію мають хвилеподібні ділянки асфальтованих доріг. Вимірювання та статична обробка таких ділянок показали, що найбільш поширені довжини хвиль від 1,5 м до 4,5 м.

Разом із тим гармонічні нерівності можуть бути одиничними, як з від'ємною висотою (вибоїни, гострі краї якої згладжені під дією коліс автотранспортних засобів), так і з додатною (наприклад, виступи в області люків (рис. 4, а) [7]) [1]. Гармонічний профіль нерівності часто обирають (відповідно до стандартизованої методики розрахунку плавності ходу автомобіля) при дослідженні взаємодії колеса автомобіля з нерівною поверхнею дороги [1, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

Характерний для гармонічної нерівності профіль (рис. 4, а) дозволяє в області плями контакту шини розглядати опорну поверхню нерівності як площину, що змінює свою висоту та нахил відносно горизонту (кут атаки нерівності). Це суттєво спрощує математичне моделювання процесів, які відбуваються при взаємодії еластичної шини з нерівною поверхнею дороги (рис. 4, б) [1].



а) б)

Рисунок 4 – Фото дефекту дорожнього покриву гармонічного профілю (а) та візуалізація математичного моделювання його долання автомобілем (б) [1]

Figure 4 – Photo of a road surface defect with a harmonic profile (a) and visualization of mathematical modeling of the overcoming it with a car (b) [1]

Варто зазначити, що з точки зору мікропрофілю та його впливу на характер руху автотранспортного засобу (рис. 3), характерний дефект дорожнього покриву мостових переходів виникає в області деформаційних швів (рис. 3, рис. 5).



Рисунок 5 – Характерні дефекти дорожнього покриву мостів в зоні деформаційних швів

Figure 5 – Characteristic defects of the road surface of bridges in the area of expansion joints

З аналізу рисунків 3 та 4 видно, що з точки зору математичного моделювання взаємодії автомобільного колеса з опорною поверхнею дефекти дорожнього покриву мостових переходів в області деформаційних швів, як і вибоїни, гострі краї якої з одного боку згладжені під дією коліс автотранспортних засобів а з іншого – поглинаються пневматичною шиною (рис. 3, b), можна розглядати як нерівності гармонічного профілю з від'ємною висотою.

Висновки.

1. Аналіз літературних джерел вказує на те, що більшість досліджень, здійснених в [1, 2, 3, 4], зосереджені на фіксації та методиках виявлення дефектів несних елементів залізобетонних автодорожніх мостів. Для цього використовуються передові технології моніторингу, такі як високороздільні камери, нейромережі та штучний інтелект. Одночасно наукові роботи, представлені в [5, 6, 7, 8], фокусуються на вирішенні проблем безпеки дорожнього та пішохідного руху, а також на розробці стратегій планування часу проведення та вартості ремонтних робіт.

2. За теорією руху автомобіля, нерівності опорної поверхні класифікуються відповідно до їх впливу на транспортний засіб. Зокрема, виділяються нерівності макропрофілю, мікропрофілю та шорсткості покриву. Мікропрофіль має прямий вплив на процес коливання автомобіля і призводить до виникнення динамічних навантажень, що виникають у точці контакту автомобільного колеса з дорожнім покривом. Це важливе явище, яке враховується в контексті розгляду якісного стану дорожнього покриву та його впливу на безпеку та комфорт руху транспортних засобів.

3. Основний вплив на динаміку руху автотранспортних засобів та спричинення підвищених навантажень на мостовий перехід визначають дефекти дорожнього покриву, які за своїми геометричними параметрами відносяться до мікропрофілю (імовірність хвилі в діапазоні від 10 см до 100 м). Зокрема, на нерівностях довжиною хвилі від 1 м до 2 м під час руху з середніми експлуатаційними швидкостями спостерігаються найбільш інтенсивні коливання непідресорених мас автомобіля та флуктуації динамічних реакцій між колесом та дорожнім покривом. Гармонічний профіль нерівності переважно вибирається при вивченні взаємодії колеса автомобіля з нерівною дорожньою поверхнею, дотримуючись стандартизованої методики розрахунку плавності ходу автомобіля. Характерний для гармонічної нерівності профіль дозволяє розглядати опорну поверхню нерівності в області контакту шини як площину, що змінює свою висоту та нахил відносно горизонту. Це спрощує математичне моделювання процесів, які відбуваються при взаємодії еластичної шини з нерівною поверхнею дороги. З точки зору мікропрофілю та його впливу на характер руху автотранспортного засобу, характерний дефект дорожнього покриву мостових переходів виникає в області деформаційних швів. Математичне моделювання взаємодії автомобільного колеса з опорною поверхнею розглядає цей дефект як нерівність гармонічного профілю з від'ємною висотою, подібно до вибоїн, гострі краї яких, з одного боку, згладжуються дією коліс автотранспортних засобів, а з іншого – поглинаються пневматичною шиною.

Подяка

Дослідження, представлене в цій статті, було проведене в рамках реалізації договору «Розробка моделі навантаження за фактичними параметрами великовагового рухомого складу для визначення вантажно-пропускної здатності автодорожніх мостів при їх відновлені та експлуатації у воєнний і повоєнний періоди» з Національним фондом досліджень України.

Перелік посилань

1. Разбойніков О. О. Поліпшення курсової стійкості легкового автомобіля при русі по нерівній дорозі : дис. … канд. техн. наук : 05.22.02 / Разбойніков Олександр Олександрович. – Київ : НТУ, 2021. – 214 с.

2. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: навчальний посібник для ВНЗ. Київ : Арістей, 2010. 155 с.

3. Солтус А. П. Основы теории рабочего процесса и расчета управляющих колесных модулей : автореф. дис. … д-ра. техн. наук: 05.22.02. Киев, 1995. 43 с.

4. Богомолов В.О. Моделювання дорожньої поверхні для розрахунку динаміки руху транспортних засобів / В.О. Богомолов, В.І. Клименко, АЛ. ШИлов. Р.В. Алексеєв // Автомобільний транспорт. – 2011. – Вип. 29. – С. 37-42.

5. Гордеев В. Н. Статистическое исследование возмущающих воздействий от неровностей пути на движущиеся транспортные средства: дис. … канд. техн. наук : 01.02.06 / Днепропетровск, 1973. 126 с.

6. Клец Д. М. Оценка устойчивости автомбиля против заноса при движении по неровной дороге. Вісник НТУ «ХПІ». 2013. № 30 (1003). С. 55-61.

7. Mitschke Manfred, Wallentowitz Henring. Dynamik der Kraftfahrzeuge. Berlin : Springer, 2014. 919 p.

8. Wolfgang Matschinsky. Radführungen der Straßenfahrzeuge : Kinematik, Elasto-Kinematik und Konstruktion. München : Springer, 2007. 470 p.

9. Jazar R. N. Vehicle Dynamics : Theory and Application. New York : Springer, 2008. 1015 p.

10. Dixon J. C. Suspension geometry and computation. Chichester : Wiley, 2009. 434 p.

11. Rill G. Road Vehicle Dynamics : Fundamentals and Modeling. Boca Raton : CRC Press, 2012. 331 p.

12. Клец Д.М. Определение нормальных реакций на передних и задних колесах автомобиля при движении по неровной дороге. Вестник ХНАДУ. 2013. Вып. 61–62. С. 195-199.

13. Blundell M., Harty D. The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics : 2nd edition. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2015. 756 p.

14. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч. 2. Плавність ходу та прохідність автотранспортних засобів : навчальний посібник / В. П. Сахно, В. М. Поляков, А. В. Костенко та ін. Донецьк : ЛАНДОН-ХХІ, 2014. 354 с.

THE INFLUENCE OF THE QUALITY CONDITION OF THE ROAD SURFACE OF BRIDGES ON THE CHARACTER OF VEHICLE TRAFFIC

Razboinikov Oleksandr O., PhD (Candidate of Engineering Sciences), National Transport University, Associate Professor of the Department of Automobiles, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: razboyn1k@ukr.net, tel.: +380972214790, https://orcid.org/0000-0003-3024-0999

Davydenko Oleksandr O., PhD (Candidate of Technical Sciences), National Transport University, Associate Professor of the Department of Bridges, Tunnels and Hydrotechnical Structures, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua, tel. +380504713399, http://orcid.org/0000-0003-0176-3256

Kozarchuk Ihor A., PhD (Candidate of Technical Sciences), National Transport University, Associate Professor of the Department of Transport Construction and Property Management, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: igorkozarchuk@ntu.edu.ua, tel. +380938895646, http://orcid.org/0000-0003-4972-6016

Klochan Arsen Ye., Assistant Professor of the Department of Information Analysis and Information Security, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: varsenchuk@gmail.com, phone: +380683528126, https://orcid.org/0000-0002-4225-9382

Summary. This article presents a study aimed at identifying typical deformations of the road surface and determining their geometric parameters. These deformations not only affect the nature of the movement of motor vehicles, but also cause excessive dynamic loads on road bridges. Various methods are used in the research process, including measurement of vehicle movement parameters, diagnosis of bridge deck defects. Special attention is paid to the study of the impact of these defects on the traffic mode of vehicles and their impact on load-bearing bridge structures. The results obtained in the article are based on the combination and analysis of information received from specialists in the fields of road construction and automobile manufacturing. These results are the basis for mathematical modeling of the movement of heavy vehicles on bridges with damaged road surfaces.

Keywords: car, highway, defects, road surface, macro profile, micro profile, bridge, unevenness.

References

1. Razboinikov O.O. Improvement of directional stability of a passenger car when driving on an uneven road: dissertation. ... candidate technical Sciences: 05.22.02 / Razboinikov Oleksandr Oleksandrovych. – Kyiv: NTU, 2021. – 214 p. [in Ukrainian]

2. Soltus A.P. The theory of operational properties of a car: a study guide for universities. Kyiv: Aristei, 2010. 155 p. [in Ukrainian]

3. Soltus A.P. Fundamentals of the theory of the working process and the calculation of control wheel modules: autoref. thesis ... Dr. technical Sciences: 05.22.02. Kyiv, 1995. 43 p. [in Russian]

4. Bogomolov V.O. Modeling of the road surface for the calculation of vehicle traffic dynamics / V.O. Bogomolov, V.I. Klymenko, AL. III. R.V. Alekseev // Automobile transport. – 2011. – Issue 29. – P. 37-42. [in Ukrainian]

5. Gordeev V.N. Statistical study of disturbing effects of road irregularities on moving vehicles: dissertation. ... candidate technical Sciences: 01.02.06 / Dnipropetrovsk, 1973. 126 p. [in Russian]

6. D. M. Klets. Evaluation of the stability of a car against skidding when driving on a rough road. Bulletin of NTU "KhPI". 2013. No. 30 (1003). P. 55-61. [in Russian]

7. Mitschke Manfred, Wallentowitz Henring. Dynamik der Kraftfahrzeuge. Berlin: Springer, 2014. 919 p. [in German]

8. Wolfgang Matschinsky. Radführungen der Straßenfahrzeuge: Kinematik, Elasto-Kinematik und Konstruktion. Munich: Springer, 2007. 470 p. [in German]

9. Jazar R. N. Vehicle Dynamics: Theory and Application. New York: Springer, 2008. 1015 p. [in English]

10. Dixon J.C. Suspension geometry and computation. Chichester: Wiley, 2009. 434 p. [in English]

11. Rill G. Road Vehicle Dynamics: Fundamentals and Modeling. Boca Raton: CRC Press, 2012. 331 p.

12. Klets D.M. Determination of normal reactions on the front and rear wheels of the car when driving on a rough road. Herald of the Khnadu. 2013. Issue 61–62. P. 195-199. [in Russian]

13. Blundell M., Harty D. The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics : 2nd edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2015. 756 p. [in English]

14. Operational properties of motor vehicles. In 3 h. Part 2. Smoothness of movement and passability of motor vehicles: a study guide / V. P. Sakhno, V. M. Polyakov, A. V. Kostenko and others. Donetsk: LANDON-XXI, 2014. 354 p. [in Ukrainian]

УДК 625.7/8 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-098-105**
UDC 625.7/8

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ В ЗОНІ ПОЗДОВЖНЬОГО СТИКУ СМУГ

ASSURANCE OF THE QUALITY OF THE ASPHALT CONCRETE COATING IN THE ZONE OF THE LONGITUDINAL JOINT OF STRIPS



Сєдов Андрій Віталійович, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: avs.1708@ukr.net, тел. +380503011475,*

https://orcid.org/0000-0002-7879-6614



Фоменко Олена Олександрівна, *асистент кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: lensanfom@ukr.net, тел. +380501070802,*

https://orcid.org/0000-0002-4429-1706

Анотація. У статті розглянуті питання якісного ущільнення асфальтобетонної суміші при влаштуванні покриттів окремо по смугам руху. Визначено, що основними причинами виникнення дефектів в процесі експлуатації таких покриттів є недостатня щільність та надмірна пористість асфальтобетону у зоні стиків. В роботі проаналізовані результати досліджень, які показують, що розподіл температури суміші за шириною смуги покриття нерівномірний. Найбільш холодні та збагачені великим щебнем ділянки виявляються в зоні стиків. У статті розглянута модель розігріву холодного стику за рахунок тепла від шару гарячої суміші яка вкладається на суміжній смузі. Підвищення температури краю раніше укладеної захватки становить, залежно від різниці температури шарів, від 15 °С до 20 °С. Однака цього не достатньо для якісного ущільнення шару. Таким чином, зроблено висновок що при організації робіт з укладання асфальтобетонних сумішей сполучених смуг одним асфальтоукладачем зі зміщенням його з однієї смуги на іншу необхідно в обов'язковому порядку застосовувати системи прогріву кромки.

Ключові слова: капітальний ремонт, асфальтобетонне покриття, технологічний процес ущільнення, поздовжній стик, температура суміші, гранулометрична та температурна сегрегація, теплофізичні властивості суміші.

Вступ

Руйнування, які виникають в процесі експлуатації асфальтобетонних покриттів пов'язані, як правило, не тільки з якістю асфальтобетонної суміші, але і, в першу чергу, з порушеннями технології влаштування шару. До них належить проблема виконання надійного сполучення захваток покриття, яке влаштовується [1].

При виконанні капітального ремонту дорожнього покриття, укладання гарячої суміші в межах захватки виконують на однієї смузі, що пов’язане з організацією дорожнього руху на данній ділянці [2].

Тому наявність поздовжніх та поперечних холодних стиків є неминучою особливістю асфальтобетонних покриттів. Актуальність цього питання пов'язана з тим, що холодний стик – найбільш уразливе місце для виникнення таких дефектів покриття, як технологічні тріщини (рис. 1). Первинні дефекти у вигляді тонких тріщин утворюються протягом 5-6 місяців експлуатації [1].

В осінньо-зимовий період, в результаті численних циклів заморожування-відтавання починається лущення покриття в зоні стиків сполучення. Впливи транспортного навантаження та природно-кліматичних факторів сприяють розвитку дефектів покриття. В результаті, вже після 2-3 років експлуатації, на більшості покриттів автомобільних доріг утворюються так звані «технологічні» поздовжні тріщини, а потім вибоїни [1].



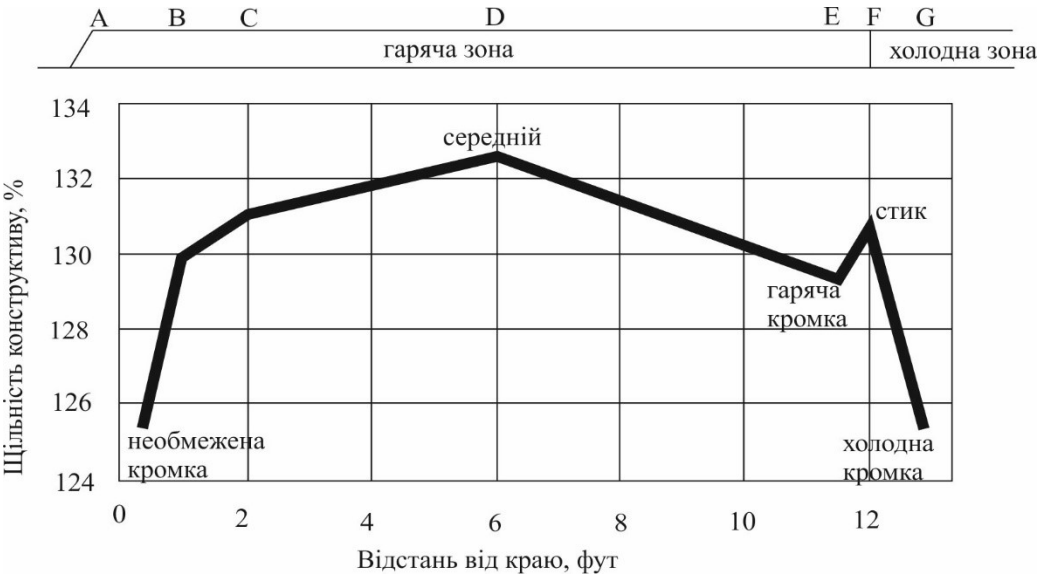
Рисунок 1 – Руйнування покриття в зоні поздовжнього стика

Figure 1 – Destruction of the coating in the zone of the longitudinal joint

Виклад основного матеріалу.

Численними дослідженнями доведено, що якість влаштування покриття залежить від температури суміші, що укладається. Якісне ущільнення асфальтобетонної суміші передбачає, що вона має однакову температуру по всій площі шару. Тому зниження температури гарячої суміші в зоні сполучення смуг покриття нижче за граничну, призводить до зниження характеристик асфальтобетонної суміші при ущільненні покриття (міцності, щільності, водонепроникності), що призводить до руйнування дорожнього покриття в процесі експлуатації.

Дослідження [3-6], які проведені у США та Європі, показують, що основними причинами виникнення дефектів є недостатня щільність та надмірна пористість асфальтобетону у зоні стиків. Так, у роботах [3, 4] зазначається, що навіть при проведенні спеціальних заходів щодо підвищення надійності стиків захваток, щільність асфальтобетону на таких ділянках нижча, ніж в основному покритті. За даними [3] мінімальні значення щільності для всіх конструкцій спостерігалися з боку кромки захватки покриття, що влаштовується, і безпосередньо в стику (рис. 2).



A – необмежена кромка; D – вісь покриття; E – обмежена кромка; F – повздовжній стик

Рисунок 2 – Залежність щільності асфальтобетону від розташування в покритті

Figure 2 – Dependence of the density of asphalt concrete on the location in the coating

Очевидно, довгострокова експлуатаційна надійність стиків суміжних смуг асфальтобетонного покриття, що влаштовуються, і, певною мірою, самого покриття може бути досягнута при мінімальній різниці величин залишкової пористості і коефіцієнта ущільнення асфальтобетону в стику і в основному покритті. Досягти однорідності цих показників у різних точках покриття досить складно. Це пов'язано в першу чергу з температурною та гранулометричною сегрегацією асфальтобетонної суміші [5, 6] у процесі її виготовлення, транспортування та укладання (рис. 3).

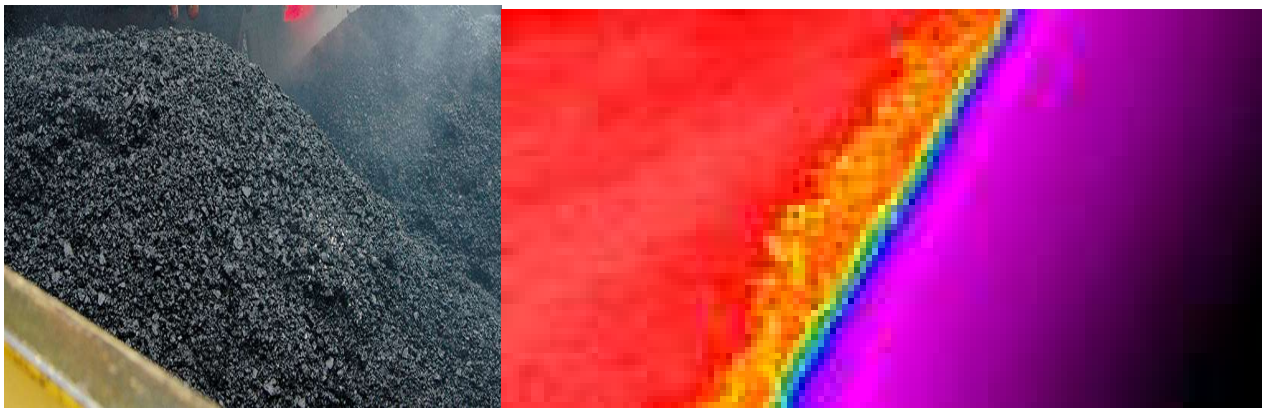
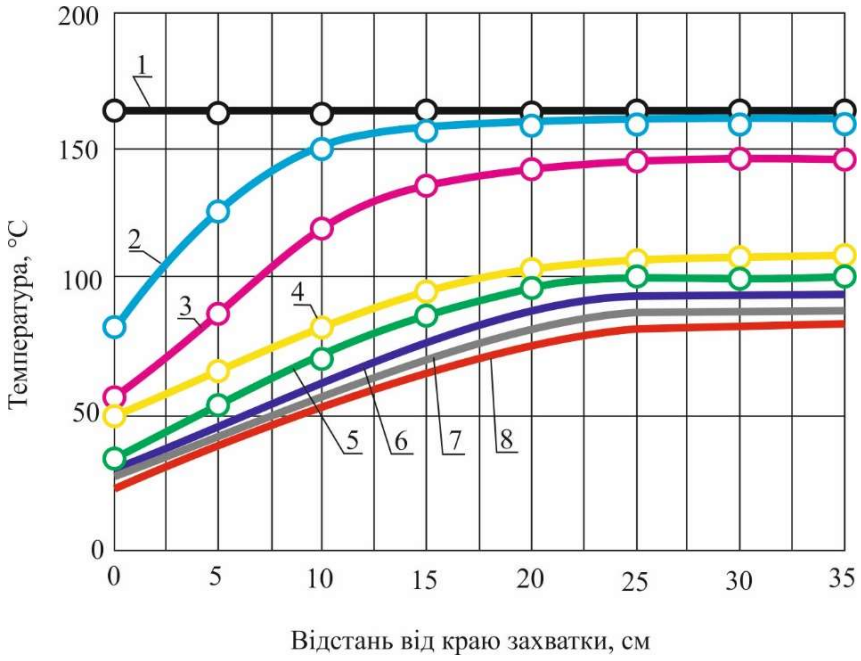


Рисунок 3 – Гранулометрична та температурна сегрегація асфальтобетонної суміші [7]

Figure 3 – Granulometric and temperature segregation of asphalt concrete mixture [7]

При укладанні гарячої асфальтобетонної суміші на основу відбувається зниження її температури в часі за рахунок віддачі тепла в навколишнє середовище і шар, що розташований нижче, за рахунок коефіцієнта теплопередачі матеріалу. Встановлено, що розподіл температури шириною смуги покриття нерівномірний. Найбільш холодні та збагачені великим щебнем ділянки виявляються в зоні стиків (рис. 3). Температура суміші в зоні стику виявляється на 20-30 °С нижче температури суміжних захваток. Такі ділянки ущільнюються гірше та характеризуються нижчою щільністю та підвищеною пористістю порівняно з асфальтобетоном основної частини покриття [1]. Ширина захватки остигання сягає 10-12 см (рис. 4) [2].



1 – після укладання; 2 – через 5 хв; 3 – 10 хв; 4 – 15 хв; 5 – 20 хв; 6 – 25 хв; 7 – 30 хв; 8 – 35 хв

Рисунок 4 – Зміна температури гарячої суміші по ширині захватки

Figure 4 – Change in the temperature of the hot mixture along the gripper width

Зона з температурою суміші, при якій процес ущільнення не відповідає температурним режимам гарячої суміші, досягає від 0,03 м до 0,1 м залежно від температури суміші при укладанні шару. У ході експлуатації ця ділянка в більшості випадків руйнується, а якщо стик схильний до великої кількості навантажень, то ремонт даної ділянки необхідно проводити після декількох років експлуатації.

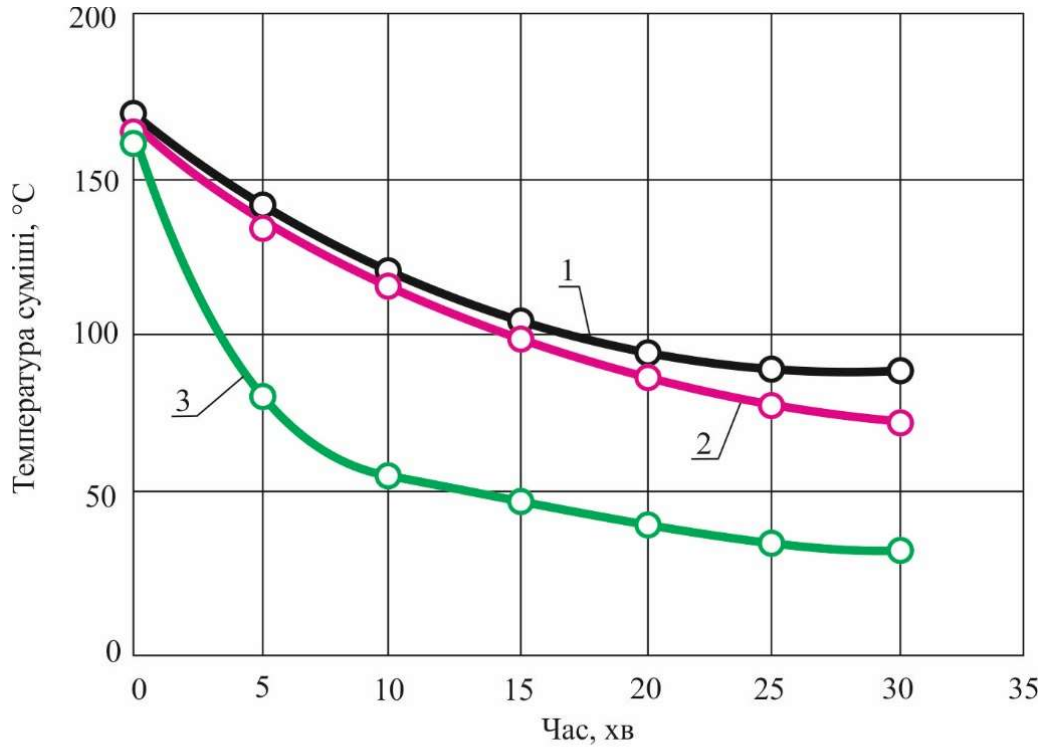
На рисунку 5 представлено розподіл температури асфальтобетону по ширині захватки покриття у часі [7].

В цьому випадку інтенсивність нагріву залежить від температури і товщини шару, що накладається, температури повітря, температури суміші першого шару, товщини укладеного раніше шару, швидкості вітру і теплофізичних властивостей суміші і загальному вигляді може бути представлена виразом [2]:

$$t_{нагр}=f(t_{сум};\ t_{пов};\ h_{шару};\ h_{од};\ t_{осн};\ v_{в};\ \tau_{нагр}), \quad (1)$$

де $t_{сум}$ – температура гарячої суміші при укладанні в дорожнє покриття;

$t_{пов}$ – температура повітря;
$h_{шару}$ – товщина шару гарячої суміші при розподілі по краю першої захватки;
$h_{од}$ – товщина шару першої захватки покриття;
$t_{осн}$ – температура краю першої захватки покриття;
$v_в$ – швидкість вітру, м/с;
$\tau_{нагр}$ – час нагрівання краю захватки до максимальної температури суміші, хв.



1 – по осі захватки; 2 – на відстані 0,2 м від краю захватки;
3 – на стику захваток

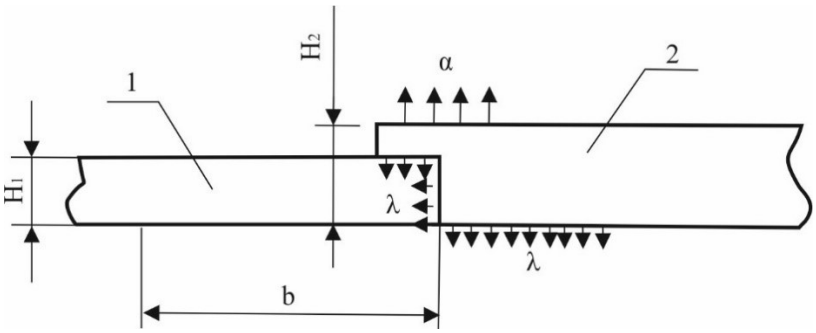
1 – по осі смуги; 2 – на відстані 0,2 м від краю смуги; 3 – на стику сполучених смуг

Рисунок 5 – Зміна температури гарячої суміші у часі

Figure 5 – Change in the temperature of the hot mixture over time

Найчастіше для підвищення якості сполучення шарів покриття, при укладанні суміжної захватки гарячу суміш нової лінії накладають на укладений раніше шар першої лінії. За рахунок теплопередачі від верхнього шару гарячої суміші відбувається нагрівання раніше покладеного шару суміші (рис. 6).

Відомо, що в залежності від часу контакту шарів покриття, температура суміші раніше покладеної захватки буде мати різне значення [8]. Підвищення температури краю раніше укладеної захватки становить, залежно від різниці температури шарів, від 15 °С до 20 °С. Аналіз результатів показав, що після укладання шару максимальна температура краю захватки, за рахунок нагріву від сполученого шару досягається через 10-20 хв (рис. 7).



1 – асфальтобетонна суміш, яка укладена на першій захватці; 2 – асфальтобетонна суміш сполученої захватки; H_i – товщина шару асфальтобетонної суміші, м; λi – коефіцієнт теплопередачі асфальтобетонної суміші; α – коефіцієнт тепловіддачі, чисельне значення якого залежить від швидкості переміщення повітряних мас

Рисунок 6 – Модель передачі тепла від шару гарячої суміші, раніше укладеному асфальтобетонному шару у захватці покриття [2]

Figure 6 – Model of heat transfer from the layer of hot mixture to the previously laid asphalt-concrete layer in the grip of the coating [2]

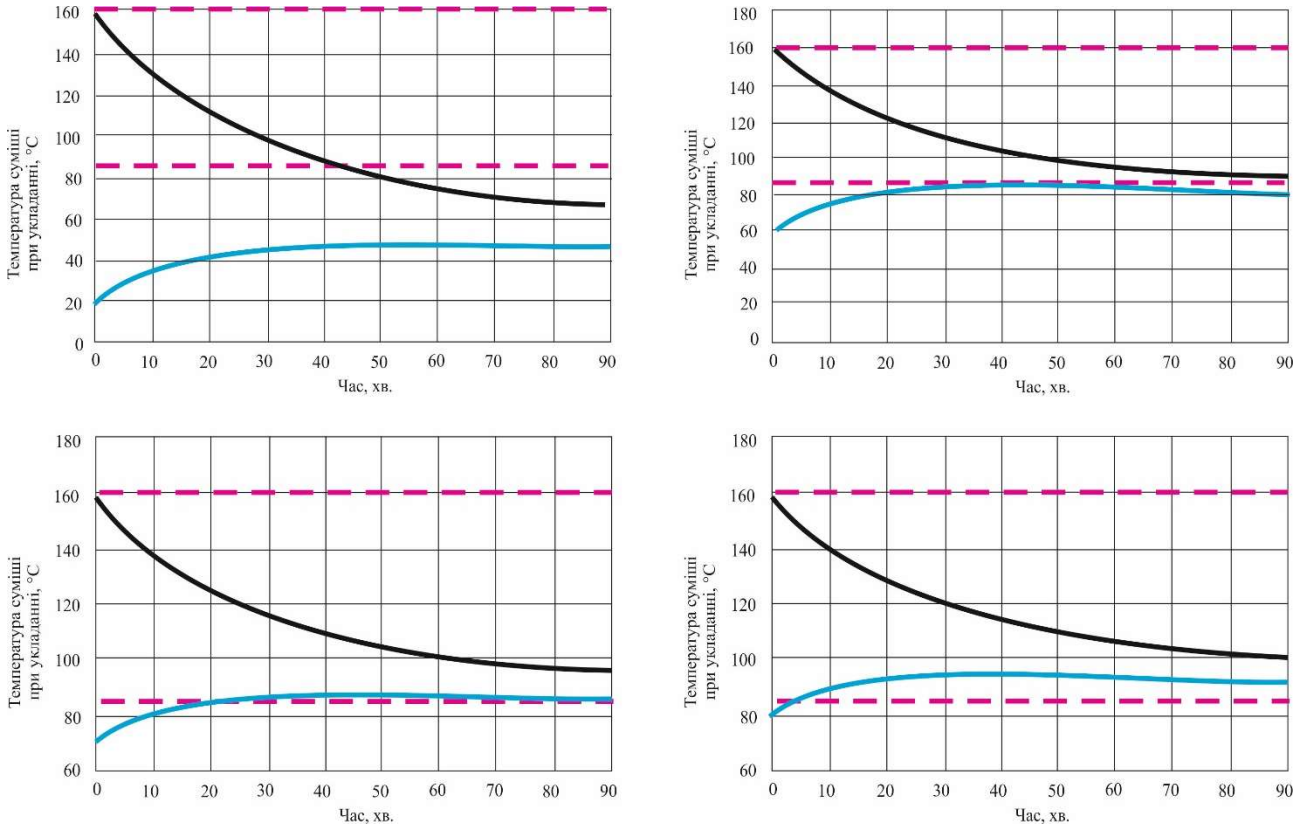


Рисунок 7 – Розподіл температури суміші в зоні стику захваток покриття [7]

Figure 7 – Temperature distribution of the mixture in the contact zone of the coating grips [7]

Аналіз результатів показує, що застосування способу нагрівання краю укладеної смуги за рахунок температури сполученого шару покриття не забезпечує нагрівання до необхідної температури суміші.

Таким чином, для підвищення якості покриття в зоні швів сполучення, при проведенні робіт одним асфальтоукладачем, необхідно обмежувати максимальну довжину смуги укладання в залежності від температури повітря. Однак це обмеження призводить не тільки до зниження продуктивності укладача на 15-20 %, але і до збільшення кількості поперечних швів сполучення, що вимагає додаткових витрат на їх влаштування і негативно впливає на рівність покриття.

Висновки та рекомендації.

При організації робіт з укладання асфальтобетонних сумішей сполучених смуг одним асфальтоукладачем зі зміщенням його з однієї смуги на іншу необхідно в обов'язковому порядку застосовувати системи прогріву кромки, які прогрівають край укладеної смуги покриття на ширину до 0,15 м.. Ці системи складаються з блоків випромінювачів, що перетворюють теплову енергію від згоряння зрідженого газу в інфрачервоне випромінювання. Блоки можуть монтуватися як на автономному шасі, так і на асфальтоукладачі. Нагрів краю асфальтобетонної смуги в залежності від типу суміші і марки бітуму здійснюють до температури 100-110 °С.

Технологічний процес ущільнення асфальтобетонної суміші в зоні стику смуг передбачає перший прохід котка по свіжоукладеній смузі з перекриттям суміжної смуги покриття на 150 мм. Аналіз даних показав, що різниця в коефіцієнтах ущільнення основного покриття та зони стику не перевищує 2 %, що підтверджує високу довгострокову ефективність даної технології.

На початку процесу ущільнення швидкість котків повинна бути 1,5-2 км/год, а після п'яти-шести проходів по одному сліду її збільшують до 3,5 км/год.

Перелік посилань

1. Влаштування дорожніх покриттів з гарячих асфальтобетонних сумішей. URL: https://studfile.net/preview/5729395/page:38/ . (дата звернення: 10.10.2023).
2. Загальні принципи технології будівництва дорожнього одягу. URL:https://studfile.net/preview/5729395/page:3/ . (дата звернення: 10.10.2023).
3. Cindy K. Estakhri, Thomas J. Freeman, and Clifford H. Spiegelman, Density evaluation of the longitudinal construction joint of hot-mix asphalt pavements, Texas Transportation Institute, August 2000. Pp. 12–18.
4. Rajib B. Mallick, Prithvi S. Kandhal, Randy Ahlrich, Skip Parker, improved performance of longitudinal joints ON asphalt airfield, Airfield Asphalt Pavement Technology Program, December 2007. Pp. 22–26.
5. Milt Fletcher, HMA Segregation, Clemson Highway Conference, 2007. Pp. 8-12.
6. John Fleckenstein L., David L. Allen, David B. Schultz. Compaction at the longitudinal construction joint in asphalt pavements, Kentucky Transportation Center, May 2002. Pp. 38-54
7. Вплив температурної сегрегації на формування структури асфальтобетонних шарів. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/avtodorogi_i_stroitelstvo_86/052-059.pdf. (дата звернення: 15.10.2023).
8. Тріщини на дорозі та в системі забезпечення якості робіт URL: https://cfts.org.ua/blogs/trischini_na_dorozi_ta_v_sistemi_zabezpechennya_yakosti_robit_307. (дата звернення: 16.10.2023).

ASSURANCE OF THE QUALITY OF THE ASPHALT CONCRETE COATING IN THE ZONE OF THE LONGITUDINAL JOINT OF STRIPS

Siedov Andriy Vitaliyovych, Candidate of Technical Sciences, Kharkiv National Automobile and Road University, Associate Professor of the Department of Highway Construction and Operation, e-mail: avs.1708@ukr.net, tel. +380503011475, https://orcid.org/0000-0002-7879-6614

Fomenko Olena Oleksandrivna, Kharkiv National Automobile and Road University, assistant of the department of road construction and operation, e-mail: lensanfom@ukr.net, tel. +380501070802, https://orcid.org/0000-0002-4429-1706

Summary. The article deals with the issue of high-quality compaction of the asphalt concrete mixture during the arrangement of coatings separately along the traffic lanes. It was determined that the main causes of defects in the operation of such coatings are insufficient density and excessive porosity of asphalt concrete in the joint area. The paper analyzes the results of studies that show that the temperature distribution of the mixture along the width of the coating strip is uneven. The coldest and most enriched with large crushed stone areas are found in the zone of joints. The article considers a model of heating a cold joint due to heat from a layer of hot mixture that is placed on the adjacent strip. Depending on the temperature difference between the layers, the increase in the temperature of the edge of the previously laid grip is from 15 °C to 20 °C. However, this is not enough for high-quality sealing of the layer. Thus, it was concluded that during the organization of work on laying asphalt concrete mixtures of connected lanes by one asphalt paver with its displacement from one lane to another, it is necessary to apply edge heating systems without fail.

Key words: capital repair, asphalt concrete coating, technological process of compaction, longitudinal joint, mixture temperature, granulometric and temperature segregation, heat-physical properties of the mixture.

References

1. Arrangement of road surfaces from hot asphalt concrete mixtures. URL: https://studfile.net/preview/5729395/page:38/ . (date of application: 10.10.2023).

2. General principles of road clothing construction technology. URL:https://studfile.net/preview/5729395/page:3/ (date of application: 10.10.2023).

3. Cindy K. Estakhri, Thomas J. Freeman, and Clifford H. Spiegelman, Density evaluation of the longitudinal construction joint of hot-mix asphalt pavements, Texas Transportation Institute, August 2000. Pp. 12–18.

4. Rajib B. Mallick, Prithvi S. Kandhal, Randy Ahlrich, Skip Parker, improved performance of longitudinal joints ON asphalt airfield, Airfield Asphalt Pavement Technology Program, December 2007. Pp. 22–26.

5. Milt Fletcher, HMA Segregation, Clemson Highway Conference, 2007. Pp. 8-12.

6. John Fleckenstein L., David L. Allen, David B. Schultz. Compaction at the longitudinal construction joint in asphalt pavements, Kentucky Transportation Center, May 2002. Pp. 38-54

7. The influence of temperature segregation on the formation of the structure of asphalt concrete layers. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/avtodorogi_i_stroitelstvo_86/052-059.pdf . (date of application: 15.10.2023).

8. Cracks on the road and in the work quality assurance system URL: https://cfts.org.ua/blogs/trischini_na_dorozi_ta_v_sistemi_zabezpechennya_yakosti_robit_307. (date of application: 16.10.2023).

УДК 539.3 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-106-121**
UDC 539.3

THEORETICAL MODELING OF THE NUCLEATION OF INTERNAL LATENT THERMAL DEFECTS IN A BITUMINOUS MEDIUM WITH RUBBER INCLUSIONS

ТЕОРЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАРОДЖЕННЯ ВНУТРІШНІХ ПРИХОВАНИХ ТЕРМІЧНИХ ДЕФЕКТІВ У БІТУМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ З ГУМОВИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ



Shlyun Nataliia Volodymyrivna, Candidate of Engineering Sciences, (PhD (Eng.)), Associate professor, Head of Department of Higher Mathematics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: *nataliyashlyun@gmail.com,* ph.+380975936346,

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

Abstract. The current state and progress of the technology and science associated with the reuse and recycling of the tyre rubber worldwide in the road industry compels to study more thoroughly high and low temperature performance of the road bitumen modified with rubber crumbs, permitting to understand influence of the temperature, rubber grain size and mixture bitumen-rubber modification on the composite strength and sustainability. Below, these issues are studied taking into account the peculiarities of the thermomechanical properties of rubber associated with its low rigidity when changing shape, practical incompressibility when changing volume, and low (zero or even negative) coefficient of linear thermal expansion.

The purpose of the study is to determine the reasons leading to a violation of the strength of asphalt concrete materials with admixtures of rubber crumb. For this purpose, the influence of the incompatibility of thermomechanical characteristics (moduli of elasticity, Poisson's ratios and coefficients of thermal expansion) of bitumen and rubber on the concentration of additional internal thermal stresses in the system caused by seasonal and daily temperature changes is analyzed.

Using the relations of the theory of thermoelasticity, a mathematical model of thermal deformation of crumb rubber in a bitumen medium has been constructed. With the possibility of complete and surface modification of rubber with bitumen, solutions for three-phase media are constructed, which make it possible to trace the influence of the parameters of each phase on the thermal stress fields in the system. It has been established that additional thermal stresses in bitumen, due to the thermomechanical incompatibility of the physical parameters of the phases, are concentrated in the zone of its contact with the surface of the rubber crumb and can cause defects and chippings in it. The influence of the effect of modifying rubber crumb with bitumen and of the depth of its penetration into crumb of different sizes on reducing thermal stresses in the system and increasing its sustainability is considered.

Keywords: asphalt concrete material, rubber inclusions, incompressibility of rubber, thermal stress concentrators, modified rubber.

Introduction

At present, the problem of rubber production waste disposal, in particular, rubber tires of cars, is becoming more and more acute in the world, since during their burial and open storage, air, wastewater and soil are polluted with harmful and toxic products of their decay [1,2,3,4,5,6]. One of the trends in this direction

is associated with the possibility of using crushed rubber as an additive in asphalt concrete pavement material [7,8,9]. The first experiments to create such materials were carried out long ago. Pilot sections of roads and airfields with crumb rubber have been built in various countries and regions. At first, they showed rather high characteristics, their increased crack resistance, water resistance, a decrease in the level of vibrations and noise on them, a decrease in braking distance, etc. However later, this material began to show itself from the negative side, inasmuch as such mix proved to be exposed to fast ageing, disintegration and destruction. As this took place, rubber crumbs, not bound to bitumen by strong bonds, crumbled from the coating and were carried by the wind almost unchanged, polluting the surroundings.

To eliminate this drawback, the crumb began to be modified before introducing it into bitumen to form a developed interfacial layer at the "rubber crumb – bitumen" phase boundary and increase the adhesion of the binder to the mineral components of asphalt concrete [10,11,12,13]. The bitumen and chips modified in this way are a homogeneous mixture of oxidized road bitumen with fairly fine crumbs from general-purpose rubbers subjected to special chemical treatment during the manufacturing process. In this case, the rubber particles do not completely decompose and do not dissolve, but are associated with the bitumen components by strong, but rather flexible chemical bonds and show their qualities even in the composition of a new material. In so doing, the grains sizes are no more than 1 mm, and by volume, they usually occupy 5% - 7% of the total volume of the mixture. At the same time, attempts to increase the grain size (up to 1 cm or more) and the volume percentage of the mixture (up to 20% or more) usually led to a negative result. Apparently, this is due to the special thermomechanical properties that rubber has (as a hyperelastic material) and the role played by a thin interfacial layer on the surfaces of small and large grains of inclusions when the temperature of the system changes [14, 15,16].

Note that rubbers usually have a low modulus of elasticity ($E = 1 \div 10$МПа), but a very large Poisson's ratio. So, for most unvulcanized rubbers, it is equal to $\upsilon = 0.5$, for vulcanized rubbers, it is $\upsilon = 0.48 \div 0.5$. Therefore, during deformations of the rubber body associated with a change in its shape, rubber is characterized by very low rigidity and high elasticity. This property manifests itself under uniaxial and biaxial force loading of rubber bodies, as well as during their shear deformations.

When trying to deform rubber with a change in its volume, but with the preservation of its shape, it is characterized by great rigidity, since $\upsilon = 0.5$. Then, its volumetric module of elasticity $K = E/\left(3\left(1-2\upsilon\right)\right) = \infty$ and this material becomes volumetrically absolutely rigid. Therefore, from an engineering point of view, rubber is considered as an incompressible material [17]. This property is typical for its three-dimensional thermally stressed deformation under temperature changes in a limited volume and triaxial force effects, leading to all-round compression. As shown below, the incompressibility of rubber does not allow it to elastically compensate for thermal deformations of bitumen, due to which additional thermal stresses arise in it. Owing to the fact that an interfacial compressible layer of small thickness is formed on the crumb surface upon contact with bitumen, it relieves thermal stresses to some extent due to its own compliance at small crumb sizes. On large inclusions, a thin pliable layer cannot compensate for their rigidity and large thermal stresses are generated on their surfaces, which lead to local plastic deformations, defects and cracks in bitumen.

To these characteristics of rubber, one more feature must be added. The fact is that even at moderate temperatures, its coefficient of thermal expansion varies over a wide range, taking zero and even negative values. At the same time, at high temperatures (150° C and above), its coefficient of thermal expansion due to the formation of vapor-filled pores in it is an order of magnitude greater than the values of this coefficient of other materials [18, 19]. Such incompatibility of thermomechanical parameters of bitumen and rubber is an additional factor contributing to the concentration of thermal stress on the contact surfaces of bitumen with large rubber inclusions and their delamination. To study these effects, based on the theory of thermoelasticity, a mathematical model of the thermally stressed state of an asphalt concrete medium with spherical rubber inclusions under the action of temperature disturbances was developed, constitutive differential equations were formulated, and their closed-form solutions were found. An analysis of the constructed thermal stress fields made it possible to establish the main features of the origin of additional latent microdefects in a composite material reinforced with rubber crumbs.

When evaluating the constructed solutions, it must be taken into account that they are obtained by using the methods of the theory of elasticity, while bitumen and rubber are viscoelastic materials. Therefore, these solutions, although they reflect the obtained features of deformation of their combination, should be refined when calculating real road coatings. Such solutions improvement can be performed using the principle of correspondence of solutions to the problems dealing with the theories of elasticity and viscoelasticity, described in the works by L. Khazanovich [20] and G.H. Paulino, Z.-H.Jin [21].

Thermally stressed state of asphalt concrete material with spherical rubber inclusion

To establish the general peculiarities of distribution of thermal stress fields in a bitumen medium with rubber inclusions, we will use the model of a spherical elastic body 1 of radius r_1, bound on its surface $r = r_1$ with elastic medium 2 (Fig. 1), for which the radius r_2 on the outer boundary spherical surface can take infinitely large values.

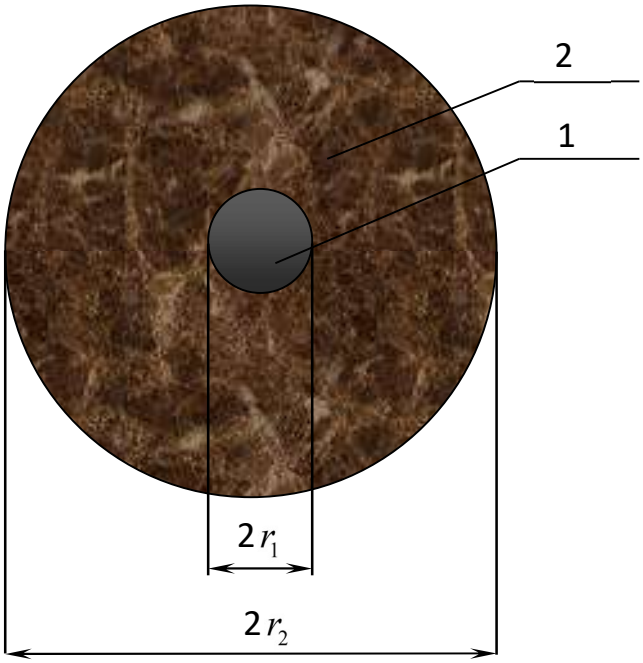


Figure 1 – Diagram of a spherical elastic inclusion 1 in an elastic medium 2

Рисунок 1 – Схема сферичного пружного включення 1 у пружному середовищі 2

Let us consider the thermoelastic equilibrium of the system, when its temperature at all points changes stationary from 0 to T. Let the thermomechanical properties of body 1 and medium 2 be characterized by the values of their moduli of elasticity E_1 and E_2, Poisson's ratios υ_1 and υ_2 and coefficients of their linear thermal expansion α_1 and α_2. We will describe the thermal deformation of the system in the spherical coordinate system $Or\varphi\theta$, origin O of which coincides with the center of body 1 (Fig. 2).

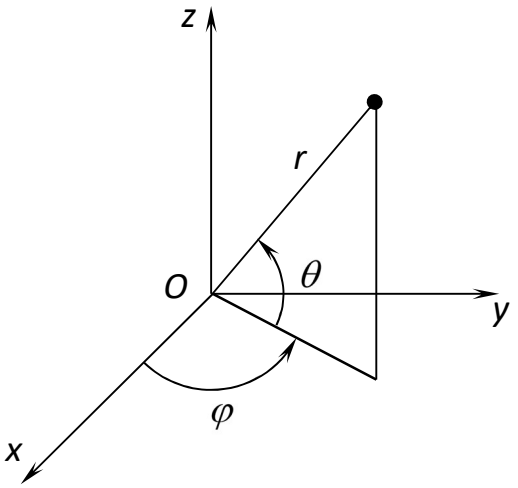


Figure 2 – Diagram of a spherical coordinate system

Рисунок 2 – Діаграма сферичної системи координат

The deformed state of the elastic system in these coordinates has the property of central symmetry, so its equilibrium is described by two equations [22,23,24,25]

$$\frac{d\sigma_r^{(i)}}{dr}+\frac{2\sigma_r^{(i)}-\sigma_\varphi^{(i)}-\sigma_\theta^{(i)}}{r}=0 \quad (i=1,2), \tag{1}$$

where $\sigma_r^{(i)},\sigma_\varphi^{(i)},\sigma_\theta^{(i)}$ are the normal stresses on the corresponding elementary areas $r=const$, $\varphi=const$, $\theta=const$ in body 1 at $i=1$ and in medium 2 at $i=2$. They are expressed in terms of the components of the relative strain tensor $\varepsilon_r^{(i)}$, $\varepsilon_\varphi^{(i)}=\varepsilon_\theta^{(i)}$:

$$\begin{aligned}
\sigma_r^{(i)} &= \frac{E_i(1-\upsilon_i)}{(1+\upsilon_i)(1-2\upsilon_i)}\varepsilon_r^{(i)}+\frac{2E_i\upsilon_i}{(1+\upsilon_i)(1-2\upsilon_i)}\varepsilon_\varphi^{(i)}-\frac{E_i}{(1-2\upsilon_i)}\alpha_i T,\\
\sigma_\varphi^{(i)} &= \sigma_\theta^{(i)}=\frac{E_i\upsilon_i}{(1+\upsilon_i)(1-2\upsilon_i)}\varepsilon_r^{(i)}+\frac{E_i}{(1+\upsilon_i)(1-2\upsilon_i)}\varepsilon_\varphi^{(i)}-\frac{E_i}{(1-2\upsilon_i)}\alpha_i T \quad (i=1,2)
\end{aligned} \tag{2}$$

It must be emphasized here that on the right-hand sides of these expressions, all terms in the denominators contain the factor $(1-2\upsilon_i)$. Since for rubber $\upsilon\approx 0.5$, all these terms are divisible by a small value, which already at this level introduces a peculiar specificity of the thermomechanical behavior of rubber.

The strains used in Eqs. (2) are determined through the radial displacement $u^{(i)}$

$$\varepsilon_r^{(i)}=\frac{du^{(i)}}{dr}, \qquad \varepsilon_\varphi^{(i)}=\frac{u^{(i)}}{r}, \qquad (i=1,2). \tag{3}$$

Using these equalities, we reduce Eqs. (2) to the form

$$\sigma_r^{(i)}(r)=\frac{E_i(1-\upsilon_i)}{(1+\upsilon_i)(1-2\upsilon_i)}\frac{du^{(i)}}{dr}+\frac{2E_i\upsilon_i}{(1+\upsilon_i)(1-2\upsilon_i)}\frac{u^{(i)}}{r}-\frac{E_i}{(1-2\upsilon_i)}\alpha_i T,$$
$$\sigma_\varphi^{(i)}=\sigma_\theta^{(i)}=\frac{E_i\upsilon_i}{(1+\upsilon_i)(1-2\upsilon_i)}\frac{du^{(i)}}{dr}+\frac{E_i}{(1+\upsilon_i)(1-2\upsilon_i)}\frac{u^{(i)}}{r}-\frac{E_i}{(1-2\upsilon_i)}\alpha_i T\quad(i=1,2). \tag{4}$$

After substituting Eqs. (4) into Eqs. (1), we obtain the equations

$$\frac{d^2u^{(i)}}{dr^2}+\frac{2}{r}\frac{du^{(i)}}{dr}-\frac{2}{r^2}u^{(i)}\quad(i=1,2). \tag{5}$$

Let us bring them to a form convenient for integration

$$\frac{d}{dr}\left[\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r^2u^{(i)}\right)\right]=0\quad(i=1,2). \tag{6}$$

System of Eqs. (6) has a solution

$$u^{(1)}(r)=rC_1^{(1)}+\frac{1}{r^2}C_1^{(2)}\quad(r\le r_1),$$
$$u^{(2)}(r)=rC_1^{(2)}+\frac{1}{r^2}C_2^{(2)}\quad(r\ge r_1), \tag{7}$$

where $C_1^{(1)}$, $C_2^{(1)}$, $C_1^{(2)}$, $C_2^{(2)}$ are the constants that are determined from the boundary conditions at $r=0$ and $r_2\to\infty$ and conjugation conditions for solutions (7) on the surface $r=r_1$. These conditions look like:

$$u^{(1)}(0)=0, \tag{8}$$
$$u^{(1)}(r_1)=u^{(2)}(r_1), \tag{9}$$
$$\sigma_r^{(1)}(r_1)=\sigma_r^{(2)}(r_1), \tag{10}$$
$$\sigma_r^{(2)}(r)\to 0 \text{ at } r_2\to\infty. \tag{11}$$

It follows from Eq. (8) that the existence of function $u^{(1)}(r)$ in Eqs. (7) is possible only when

$$C_2^{(1)}=0. \tag{12}$$

Using Eqs. (4) and (7), we represent the functions $\sigma_r^{(i)}(r)$, $\sigma_\varphi^{(i)}(r)$, $\sigma_\theta^{(i)}(r)$, presented in Eqs. (10) and (11), in the form:

$$\sigma_r^{(i)}(r)=\frac{E_i}{(1-2\upsilon_i)}C_1^{(i)}-\frac{2E_i}{r^3(1+\upsilon_i)}C_2^{(i)}-\frac{E_i}{(1-2\upsilon_i)}\alpha_i T,$$
$$\sigma_\varphi^{(i)}=\sigma_\theta^{(i)}=\frac{E_i}{(1-2\upsilon_i)}C_1^{(i)}+\frac{E_i}{r^3(1+\upsilon_i)}C_2^{(i)}-\frac{E_i}{(1-2\upsilon_i)}\alpha_i T\quad(i=1,2). \tag{13}$$

Then, to fulfill conditions (11), it is necessary that the sum of the first and third terms on the right side of expression $\sigma_r^{(i)}(r)$ with $i=2$ be equal to zero. This is possible with

$$C_1^{(2)}=\alpha_2 T. \tag{14}$$

Constants $C_1^{(1)}$ and $C_2^{(2)}$ are found from conditions (9) and (10). Let's rewrite them in the form:

$$r_1C_1^{(1)}=\frac{1}{r_1^{(2)}}C_2^{(2)}+r_1\alpha_2 T,$$
$$\frac{E_1}{(1-2\upsilon_1)}C_1^{(1)}-\frac{E_1}{(1-2\upsilon_1)}\alpha_1 T=-\frac{2E_2}{r_1^3(1+\upsilon_2)}C_2^{(2)}-\frac{E_2}{(1-2\upsilon_2)}\alpha_2 T. \tag{15}$$

From this system, it follows:

$$C_1^{(1)} = \frac{E_1(1+\upsilon_2)\alpha_1 T + 2E_2(1-2\upsilon_1)\alpha_2 T}{E_1(1+\upsilon_2)+2E_2(1-2\upsilon_1)},$$
$$C_2^{(2)} = \frac{r_1^3 E_1(1+\upsilon_2)(\alpha_1-\alpha_2)T}{E_1(1+\upsilon_2)+2E_2(1-2\upsilon_1)}. \quad (16)$$

With the help of Eqs. (12), (13), (16) with $i=1$, find thermal stresses $\sigma_r^{(1)}(r)$, $\sigma_\varphi^{(1)}(r)$, $\sigma_\theta^{(1)}(r)$ in inclusion 1

$$\sigma_r^{(1)}(r)=\sigma_\varphi^{(1)}(r)=\sigma_\theta^{(1)}(r)=\frac{2E_1E_2(\alpha_2-\alpha_1)T}{E_1(1+\upsilon_2)+2E_2(1-2\upsilon_1)} \quad (r\le r_1). \quad (17)$$

Radial thermal stresses $\sigma_r^{(2)}(r)$ in medium 2 are calculated using Eqs. (13), (14), (16) with $i=2$

$$\sigma_r^{(2)}(r)=\frac{2r_1^3}{r^3}\frac{E_1E_2(\alpha_2-\alpha_1)T}{E_1(1+\upsilon_2)+2E_2(1-2\upsilon_1)} \quad (r\ge r_1). \quad (18)$$

Thermal stresses $\sigma_\varphi^{(2)}(r)$, $\sigma_\theta^{(2)}(r)$ in medium 2 are calculated on the basis of Eqs. (4), (14), (16) with $i=2$

$$\sigma_\varphi^{(2)}(r)=\sigma_\theta^{(2)}(r)=-\frac{r_1^3}{r^3}\frac{E_1E_2(\alpha_2-\alpha_1)T}{E_1(1+\upsilon_2)+2E_2(1-2\upsilon_1)} \quad (r\ge r_1). \quad (19)$$

From Eqs. (17), (18), it follows that, in accordance with condition (10), the radial stresses $\sigma_r^{(1)}(r)$ in body 1 and $\sigma_r^{(2)}(r)$ in medium 2 on the contact surface $r=r_1$ are the same. In addition, in the medium 2, stress $\sigma_r^{(2)}(r)$ is twice the stresses $\sigma_\varphi^{(2)}(r)$, $\sigma_\theta^{(2)}(r)$ and they all decrease along the radial coordinate in proportion to the cube of the distance from the center of body 1 to the point in question. Note also that all stresses in the system are proportional to the difference $(\alpha_2-\alpha_1)$ and product E_1E_2.

Eqs. (17)-(19) are essentially simplified if $\upsilon=0,5$. Then we have

$$\sigma_r^{(1)}(r)=\sigma_\varphi^{(1)}(r)=\sigma_\theta^{(1)}(r)=\frac{2E_2(\alpha_2-\alpha_1)T}{1+\upsilon_2} \quad (r\le r_1),$$
$$\sigma_r^{(2)}(r)=\frac{2r_1^3}{r^3}\frac{E_2(\alpha_2-\alpha_1)T}{1+\upsilon_2} \quad (r\ge r_1), \quad (20)$$
$$\sigma_\varphi^{(2)}(r)=\sigma_\theta^{(2)}(r)=-\frac{r_1^3}{r^3}\frac{E_2(\alpha_2-\alpha_1)T}{1+\upsilon_2} \quad (r\ge r_1).$$

In this case, the rubber inclusion behaves like an absolutely solid body and, therefore, thermal stresses (20) do not depend on its modulus of elasticity E_1.

The obtained Eqs. (17)-(19) and (20) allow us to establish the main features of the influence of additional thermal stresses in a bitumen medium with rubber inclusions on its thermal sustainability. At the same time, it is necessary again to pay attention to the significant thermomechanical incompatibility of rubber and bitumen. In the general case, their properties can vary over a wide range depending on their physical and mechanical structures. Below, in the analysis for rubber, we use the values $E_1=1\div10$ MPa, $\upsilon_1=0.48$, 0.49 and 0.5, $\alpha_1=0$, although even at moderate temperatures α_1 may be negative. For bitumen we accept $E_2=3000$ MPa, $\upsilon_2=0.25$, $\alpha_2=2.3\cdot10^{-4}$ 1/ °C.

With such values of the initial parameters and $T = 30^{\circ}\mathrm{C}$, using Eqs. (17)-(19), we obtain $\sigma_r^{(1)}(r) = \sigma_\varphi^{(1)}(r) = \sigma_\theta^{(1)}(r) = (0.3414 \div 3.1245)$ MPa $(r \le r_1)$, $\sigma_r^{(2)}(r) = \frac{r_1^3}{r^3}(0.3414 \div 3.1245)$ MPa, $\sigma_\varphi^{(2)}(r) = \sigma_\theta^{(2)}(r) = -\frac{r_1^3}{r^3}(0.1707 \div 1.562)$ MPa $(r \ge r_1)$. Here, the first values in parentheses correspond to the case $E_1 = 1$ MPa, the second ones – to the case $E_1 = 10$ MPa.

Graphs of these functions for $E_1 = 10$ MPa are shown in Fig.3.

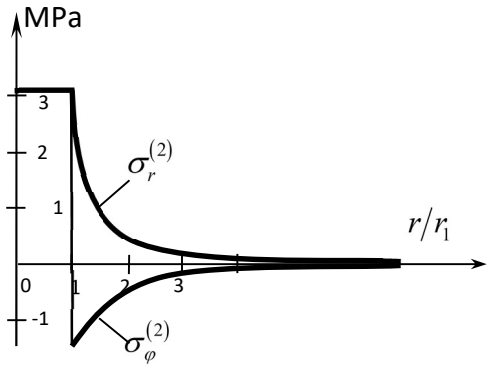


Figure 3 – Function distribution graphs $\sigma_r^{(i)}(r)$ and $\sigma_\varphi^{(i)}(r)$ $(i = 1,2)$ in the rubber-bitumen system for the case $E_1 = 10$ MPa

Рисунок 3 – Графіки розподілу функцій $\sigma_r^{(i)}(r)$ і $\sigma_\varphi^{(i)}(r)$ $(i = 1,2)$ в системі гума-бітум для випадку $E_1 = 10$ МПа

As can be seen, in a bituminous medium, the functions $\sigma_r^{(2)}(r)$, $\sigma_\varphi^{(2)}(r)$, $\sigma_\theta^{(2)}(r)$ are concentrated on the contact surface $r = r_1$ and decrease in inverse proportion to the cube of the coordinate r. At the same time, in the zone of its concentration, even at a low value T and zero α_1, these functions are in the zone of limit values for bitumen, which are $[\sigma_{\lim}] = 3 \div 8$ MPa with a time duration of 0.1 s. and temperature $T = 5 \div 10^{\circ}\mathrm{C}$. In reality, with prolonged duration of temperature disturbances and large intervals of temperature change, the values $[\sigma_{\lim}]$ may be much lower.

An important issue is the study of the effect of rubber super rigidity, determined by the coefficient υ_1, on the concentration of additional thermal stresses in bitumen. Table 1 shows the values of thermal stresses $\sigma_r^{(1)} = \sigma_\varphi^{(1)}$, $\sigma_r^{(2)}(r_1)$ and $\sigma_\varphi^{(2)}(r_1)$ at $\upsilon_1 = 0.48,\ 0.49$ and 0.5.

It follows from these results that with increasing υ_1 additional thermal stresses in bitumen increase rapidly, and at $\upsilon_1 = 0.5$, when the rubber becomes absolutely rigid, they greatly exceed its $[\sigma_{\lim}]$.

Table 1 – Values of maximum thermal stresses at various values of the coefficient υ_1

Таблиця 1 – Значення максимальних термічних напружень при різних значеннях коефіцієнта υ_1

E_1, MPa	υ_1	$10^4\alpha_1$, 1/ ˚C	E_2, MPa	υ_2	$10^4\alpha_2$, 1/ ˚C	$\sigma_r^{(1)}=\sigma_\varphi^{(1)}$, MPa	$\sigma_r^{(2)}(r_1)$, MPa	$\sigma_\varphi^{(2)}(r_1)$, MPa
10	0.48	0	3000	0.25	2.3	1.6396	1.6396	– 0.8189
10	0.49	0	3000	0.25	2.3	3.1245	3.1245	– 1.5623
10	0.50	0	3000	0.25	2.3	33.120	33.120	– 16.560

As a result of the calculations performed, it can be assumed that in a small neighborhood of the rubber inclusion, bitumen (or asphalt concrete) is constantly in the critical or overcritical state, which leads to a decrease in its thermal sustainability, the formation of hidden local defects in it, and under the action of transport loads, to provoking delamination and chipping rubber inclusions. In this regard, a positive role is played by the practice of modifying bitumen with small rubber particles, on the surface of which, because of additional chemical treatment, an intermediate layer with enhanced mechanical properties is formed. It is obvious that this positive effect may not manifest itself on larger rubber inclusions. In this regard, the question of studying the thermally stressed state of a rubber inclusion with an additional elastic coating is of interest.

Modeling the thermally stressed state of a rubber spherical inclusion with an elastic layer

Consider the case when a spherical rubber inclusion 1, covered with a shell 2, is in a bituminous medium 3 (Fig.4).

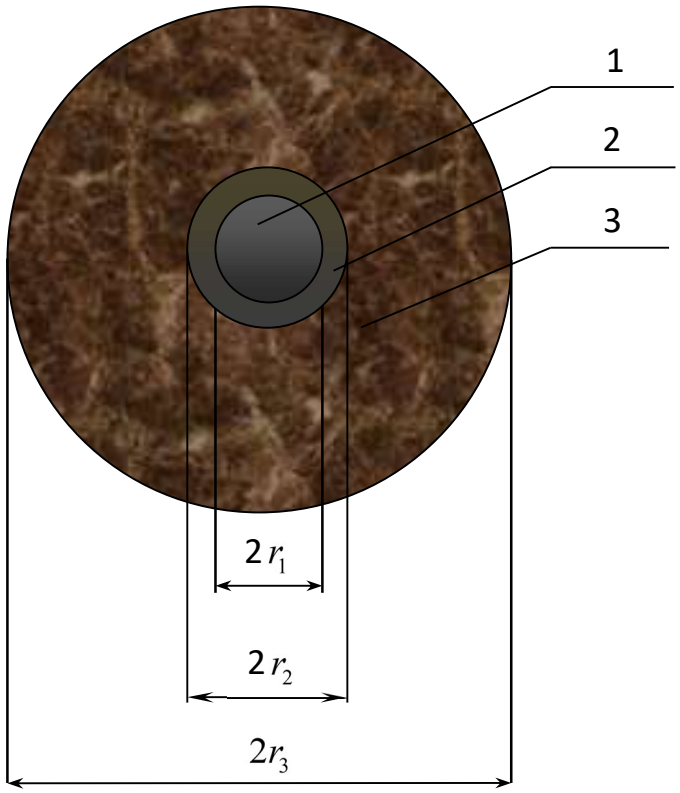


Figure 4 – Scheme of a spherical inclusion 1 with a spherical interlayer 2 placed in an elastic medium 3

Рисунок 4 – Схема сферичного включення 1 зі сферичною прошарком 2 у пружному середовищі 3

Body 1 is bounded by a spherical surface of radius r_1, layer 2 is limited by two surfaces of radii r_1 and r_2, medium 3 – by two surfaces of radii r_2 and r_3. It is assumed in the calculations that $r_3 \to \infty$. The thermomechanical properties of this system are characterized by the parameters E_i, υ_i, α_i $\left(i=\overline{1,3}\right)$ at the same temperature T.

The thermally stressed equilibrium state of this three-phase system is described by three equations of the form (1)

$$\frac{d\sigma_r^{(i)}}{dr}+\frac{2\sigma_r^{(i)}-\sigma_\varphi^{(i)}-\sigma_\theta^{(i)}}{r}=0 \quad \left(i=\overline{1,3}\right), \tag{21}$$

in which, however, the index i runs through the values 1,2,3 corresponding to the body numbers 1,2,3.

For the system under consideration, Eqs. (2) – (5) also retain their meaning for the values of the index $\left(i=\overline{1,3}\right)$ instead of $\left(i=1,2\right)$. These equations can be reduced to a system of three equilibrium equations expressed in terms of radial displacements $u^{(i)}$ $\left(i=\overline{1,3}\right)$

$$\frac{d}{dr}\left[\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r^2u^{(i)}\right)\right]=0 \quad \left(i=\overline{1,3}\right). \tag{22}$$

This system has a solution

$$\begin{aligned}
u^{(1)}(r)&=rC_1^{(1)}+\frac{1}{r^2}C_2^{(1)} \quad \left(r\le r_1\right),\\
u^{(2)}(r)&=rC_1^{(2)}+\frac{1}{r^2}C_2^{(2)} \quad \left(r_1\le r\le r_2\right),\\
u^{(3)}(r)&=rC_1^{(3)}+\frac{1}{r^2}C_2^{(3)} \quad \left(r_1\le r\le r_2\right).
\end{aligned} \tag{23}$$

Six constants $C_1^{(i)}$, $C_2^{(i)}$, presented in these equalities, are found from six boundary conditions for conjugation of functions (23) on contact surfaces

$$u^{(1)}(0)=0, \tag{24}$$

$$u^{(1)}(r_1)=u^{(2)}(r_1), \tag{25}$$

$$\sigma_r^{(1)}(r_1)=\sigma_r^{(2)}(r_1), \tag{26}$$

$$u^{(2)}(r_2)=u^{(3)}(r_2), \tag{27}$$

$$\sigma_r^{(2)}(r_2)=\sigma_r^{(3)}(r_2), \tag{28}$$

$$\sigma_r^{(3)}(r_3)=0 \quad r_2\to\infty, \tag{29}$$

From Eq. (24), it follows:

$$C_2^{(1)}=0. \tag{30}$$

We rewrite condition (29) in the form

$$\sigma_r^{(3)}(r_3)=\frac{E_3}{(1-2\upsilon_3)}C_1^{(3)}-\frac{2E_3}{r_3^3(1+\upsilon_3)}C_2^{(3)}-\frac{E_3}{(1-2\upsilon_3)}\alpha_3T \quad \text{at } r_3\to\infty. \tag{31}$$

Its implementation is possible only with

$$\frac{E_3}{1-2\upsilon_3}C_1^{(3)}-\frac{E_3}{1-2\upsilon_3}\alpha_3T=0. \tag{32}$$

Then

$$C_1^{(3)}=\alpha_3T \tag{33}$$

and

$$\sigma_r^{(3)}(r) = -\frac{2E_3}{r^3(1+\upsilon_3)}C_2^{(3)}. \tag{34}$$

On the basis of Eqs. (23), (30), (33), (34), we reduce Eqs. (23) – (28) to a system of four algebraic equations

$$C_1^{(1)} - C_1^{(2)} - \frac{1}{r_1^3}C_2^{(2)} = 0, \tag{35}$$

$$\frac{E_1}{1-2\upsilon_1}C_1^{(1)} - \frac{E_2}{1-2\upsilon_2}C_1^{(2)} + \frac{2E_2}{r_1^3(1+\upsilon_2)}C_2^{(2)} = \frac{E_1}{1-2\upsilon_1}\alpha_1 T - \frac{E_2}{1-2\upsilon_2}\alpha_2 T, \tag{36}$$

$$C_1^{(2)} + \frac{1}{r_2^3}C_2^{(2)} - \frac{1}{r_2^3}C_2^{(3)} = \alpha_3 T, \tag{37}$$

$$\frac{E_2}{1-2\upsilon_2}C_1^{(2)} - \frac{2E_2}{r_2^3(1+\upsilon_2)}C_2^{(2)} + \frac{2E_3}{r_2^3(1+\upsilon_3)}C_2^{(3)} = \frac{E_2}{1-2\upsilon_2}\alpha_2 T \tag{38}$$

with four unknowns $C_1^{(1)}$, $C_1^{(2)}$, $C_2^{(2)}$, $C_2^{(3)}$.

With the help of Eqs. (35), (37), we express $C_1^{(1)}$ and $C_2^{(3)}$ through $C_1^{(2)}$ and $C_2^{(2)}$

$$C_1^{(1)} = C_1^{(2)} + \frac{1}{r_1^3}C_2^{(2)}, \tag{39}$$

$$C_2^{(3)} = r_2^3 C_1^{(2)} + C_2^{(2)} - r_2^3\alpha_3 T, \tag{40}$$

and exclude them from Eqs. (36), (38). As a result, we obtain a system of two equations for two unknowns $C_1^{(2)}$, $C_2^{(2)}$

$$\begin{aligned}
&\frac{E_1(1-2\upsilon_2) - E_2(1-2\upsilon_1)}{(1-2\upsilon_1)(1-2\upsilon_2)}C_1^{(2)} + \frac{E_1(1+\upsilon_2) + 2E_2(1-2\upsilon_1)}{r_1^3(1-2\upsilon_1)(1+\upsilon_2)}C_2^{(2)} = \frac{E_1\alpha_1 T}{1-2\upsilon_1} - \frac{E_2\alpha_2 T}{1-2\upsilon_2},\\
&\frac{E_2(1+\upsilon_3) + 2E_3(1-2\upsilon_2)}{(1-2\upsilon_2)(1+\upsilon_3)}C_1^{(2)} + \frac{-2E_2(1+\upsilon_3) + 2E_3(1+\upsilon_2)}{r_2^3(1+\upsilon_2)(1+\upsilon_3)}C_2^{(2)} = \frac{2E_3\alpha_3 T}{1+\upsilon_3} + \frac{E_2\alpha_2 T}{1-2\upsilon_2}.
\end{aligned} \tag{41}$$

Let us introduce the notations

$$\begin{aligned}
&a_{11} = \frac{E_1(1-2\upsilon_2) - E_2(1-2\upsilon_1)}{(1-2\upsilon_1)(1-2\upsilon_2)}, \quad a_{11} = \frac{E_1(1+\upsilon_2) + 2E_2(1-2\upsilon_1)}{r_1^3(1-2\upsilon_1)(1+\upsilon_2)},\\
&a_{21} = \frac{E_2(1+\upsilon_3) + 2E_3(1-2\upsilon_2)}{(1-2\upsilon_2)(1+\upsilon_3)}, \quad a_{22} = \frac{-2E_2(1+\upsilon_3) + 2E_3(1+\upsilon_2)}{r_2^3(1+\upsilon_2)(1+\upsilon_3)},\\
&b_1 = \frac{E_1}{1-2\upsilon_1}\alpha_1 T - \frac{E_2}{1-2\upsilon_2}\alpha_2 T, \qquad b_2 = \frac{2E_3}{1+\upsilon_3}\alpha_3 T + \frac{E_2}{1-2\upsilon_2}\alpha_2 T.
\end{aligned} \tag{42}$$

Then,

$$C_1^{(2)} = \frac{b_1 a_{22} - a_{12} b_2}{a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}}, \qquad C_2^{(2)} = \frac{a_{11} b_2 - b_1 a_{21}}{a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}}. \tag{43}$$

Thus, knowing constants $C_2^{(1)}$, $C_1^{(3)}$ and using Eqs. (42), (43), we can calculate $C_1^{(2)}$ and $C_2^{(2)}$, and then the constants $C_1^{(1)}$, $C_2^{(3)}$ by Eqs. (39), (40). After that, with the help of Eqs. (4) at $i = \overline{1,3}$ all thermal stress functions $\sigma_r^{(i)}(r)$, $\sigma_\varphi^{(i)}(r)$, $\sigma_\theta^{(i)}(r)$ at $i = \overline{1,3}$ are calculated.

As an example, consider the cases where a small-radius r_2 rubber inclusion modified in a bituminous medium by chemical treatment and layer 2 of a spherical shell coating with a thickness of $r_2 - r_1 = h$ is formed in it. Space $r_2 < r < r_3$ (at $r \to \infty$) is filled with bituminous medium 3. We assume that the thermomechanical properties of the rubber body 1 $(E_1, \upsilon_1, \alpha_1)$ and bituminous medium 3 $(E_3, \upsilon_3, \alpha_3)$ correspond to the properties of body 1 and medium 2 adopted in section 2 of the article. When setting the thermomechanical characteristics of rubber crumb modified in a bitumen medium, we take into account that they can vary over a wide range depending on the chemical additives used, the temperature and the technology of the modification process. For this reason, when choosing the values $E_2, \upsilon_2, \alpha_2$ of its characteristics, we assume that they can take some intermediate values between the characteristics of rubber and bitumen and set them equal $E_2 = 50$ MPa, while υ_2 and α_2 are equal to the arithmetic mean values of the quantities υ_1, α_1 and υ_3, α_3. Then for unmodified rubber $E_1 = 10$ MPa, $\upsilon_1 = 0.49$, $\alpha_1 = 0$, for modified rubber $E_2 = 50$ MPa, $\upsilon_2 = 0.37$, $\alpha_2 = 1.15 \cdot 10^{-4}$ 1/ °C, and for bitumen $E_3 = 3000$ MPa, $\upsilon_3 = 0.25$, $\alpha_3 = 2.3 \cdot 10^{-4}$ 1/ °C. For these values, we consider two cases. In the first case, the system is two-phase, in which the first phase (inclusion 1) is unmodified rubber, and the second is bitumen 3 or modified rubber 2 (phase 1) and bitumen 3 (phase 2). The stress values for these combinations are shown in Table 1.

It follows from this that for the combination $i = 1$, $i = 3$ with rubber inclusion 1, the special properties of rubber associated with its incompressibility ($\upsilon_1 = 0.49$) and zero value α_1 are fully manifested. For such system at $T = 30^\circ$ C radial stresses $\sigma_r^{(3)}(r_1)$=3.1245 MPa in bitumen on the contact surface $r = r_1$ exceeded its possible tensile strength $[\sigma]$=3 MPa. This effect may be the cause of the observed in practice effect of the crumbling of rubber inclusions from road surfaces. It should also be noted that in the summertime the temperature of the coating could reach 60° C. Obviously, in such situations, the probability of destruction of the coating with rubber inclusion increases even more.

The situation is greatly improved if the rubber crumb is finely dispersed and, due to this, it can be completely modified in bitumen. This case corresponds to the second combination in Table 2. Then the properties of incompressibility and zero thermal expansion of rubber are lost and the maximum values of radial stresses in bitumen drop to $\sigma_r^{(3)}(r_1)$=0.637904 MPa, which is perfectly acceptable. This can explain the increase in the thermal sustainability of the resulting material to sudden temperature changes over time and to its high-gradient inhomogeneity, as well as improved adhesion between different phases in the system [2,8,19,22].

Table 2 – Values of thermal stresses in two-phase media

Таблиця 2 – Значення термічних напружень у двофазних середовищах

	i	E_i, MPa	υ_i	α_i, 1/ °C	$\sigma_r^{(1)} = \sigma_\varphi^{(1)}$, MPa	$\sigma_r^{(3)}(r_1)$, MPa	$\sigma_\varphi^{(3)}(r_1)$, MPa
1	$i = 1$	10	0.49	0	3.1245	3.1245	– 1.5623
	$i = 3$	3000	0.25	$2.3 \cdot 10^{-4}$			
2	$i = 2$	50	0.37	$1.15 \cdot 10^{-4}$	0.637904	0.637904	– 0.318952
	$i = 3$	3000	0.25	$2.3 \cdot 10^{-4}$			

In the second case under consideration, the system is three-phase, in which phase 1 is unmodified rubber, phase 2 is modified rubber, and phase 3 is bitumen. In this case, the ratio of the smaller radius r_1 to a larger radius r_2 took on the values $r_1/r_2 = 0.5$ and $r_1/r_2 = 159/160$.

Ratio $r_1/r_2 = 0.5$ corresponds to the incomplete modification of rubber with bitumen, due to which a layer with a thickness of $r_2 - r_1 = r_1$ with intermediate properties E_2, υ_2, α_2 was formed. For comparison, we also consider an example when the dimensions of the rubber inclusion are not very small and therefore it was possible to modify it only to a depth $r_2/160$. Thermal stress values in three fractions $i = 1,2,3$ on contact surfaces $r = r_1$ and $r = r_2$ for the considered situations at $T = 30^\circ$ C are shown in Table 3.

Table 3 – Values of thermal stresses in three-phase media

Таблиця 2 – Значення температурних напружень у трифазних середовищах

	r_1/r_2	$\sigma_r^{(1)} = \sigma_\varphi^{(1)}$, MPa	$\sigma_r^{(2)}(r_1)$, MPa	$\sigma_\varphi^{(2)}(r_1)$, MPa	$\sigma_r^{(2)}(r_2)$, MPa	$\sigma_\varphi^{(2)}(r_2)$, MPa	$\sigma_r^{(3)}(r_2)$, MPa	$\sigma_\varphi^{(3)}(r_2)$, MPa
1	0.5	1.1278	1.1278	0.58266	0.80108	0.73291	0.80108	– 0.40054
2	$\frac{159}{160}$	3.0451	3.0451	2.02604	3.0316	2.03202	3.0316	– 1.5158

Function graphs $\sigma_r(r)$ and $\sigma_\varphi(r)$ for the occasion $r_1/r_2 = 0{,}5$ are given in Fig.5.

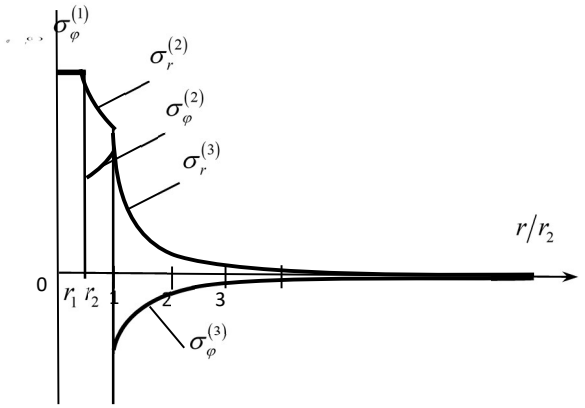


Figure 5 – Graphs of changes in thermal stress functions $\sigma_r(r)$ and $\sigma_\varphi(r)$ in a three-phase medium at $r_1/r_2 = 0.5$

Рисунок 5 – Графіки зміни функцій термічних напружень $\sigma_r(r)$ і $\sigma_\varphi(r)$ в трифазному середовищі при $r_1/r_2 = 0.5$

A comparison of the thermal stresses given in position 1 of Table 3 and in positions 1 and 2 of Table 2 indicates that the modification of rubber spherical crumb, even in its layer with a thickness equal to half its radius, leads to a significant decrease in radial thermal stresses in bitumen, although to a lesser extent compared to the case of complete modification of the crumb (compare position 1 in Table 3 and position 2 in Table 2).

However, if the size of the crumb is not small, then the modification of its material can be carried out only in a thin near-surface layer. In this case, the decrease in thermal stresses on the surface of its contact with the modified rubber is not significant (compare the data given in position 2 of Table 3 and in position 1 of Table 2). Therefore, plastic deformations can be localized in these zones, leading to the appearance of local defects in bitumen and subsequent chipping of rubber grains.

Thus, it can be concluded that the use of crumb rubber as a filler in asphalt concrete pavement material is associated with additional features conditioned by the thermomechanical properties of rubber.

First, rubber has a very low modulus of elasticity E. In light of this, it weakly resists loads that lead to a change in the shape of the body made from it (for example, uniaxial and shear transport loads).

Second, its Poisson's ratio $\upsilon = 0.48 \div 0.50$, that is, rubber from a technical point of view, is an incompressible material. This property manifests itself as a disadvantage under temperature effects that cause all-round shrinkage or dilation. Since rubber crumb in this case behaves as an absolutely rigid body and prevents free triaxial thermal deformation of bitumen, thermal stress concentrators are generated in it on the contact surface with rubber inclusion.

Thirdly, as shown above, thermal stresses in the fractions of the pavement composite are proportional to the difference in the values of the coefficients of linear thermal expansion of its components. Therefore, it is desirable that these coefficients be of the same sign and have close values. However, for rubber at normal temperatures, the coefficient of linear thermal expansion is close to zero or negative. This factor further contributes to the growth of thermal stresses in the contact zone of the rubber inclusion and bitumen. The results of the calculations allow us to quantitatively confirm the conclusions obtained in practice about the effectiveness of the procedure for modifying crumb rubber with bitumen and use it to further improve this material.

In addition, it should be noted that the studies carried out were performed using the model of spherical rubber crumbs. In reality, these crumbs may have irregular faceted shapes with ribs and vertices, which play the role of additional thermal stress concentrators. This factor must be taken into account when analyzing the thermomechanics of the materials under consideration.

Conclusions

1. Based on the methods of thermoelasticity, the problem of the thermally stressed state of an asphalt concrete pavement with rubber inclusions was posed. For a spherical model of a homogeneous inclusion and an inclusion covered with a spherical layer of modified rubber, the resolving equations for the thermoelastic deformation of the system are formed, and their analytical solutions are constructed.

2. As a result of the analysis of the obtained solutions, an explanation is given for the features of the thermally stressed behavior of the combined system, which consists in the possibility of maintaining the integrity of the system with finely dispersed rubber grains and chipping of relatively large rubber inclusions.

3. When analyzing the features of the thermomechanical behavior of an asphalt concrete material with rubber inclusions, attention was drawn to the specifics of the thermomechanical properties of rubber associated with a low value of its elastic modulus, a large Poisson's ratio (which makes rubber a practically incompressible material) and a small value of the coefficient of linear thermal expansion (zero or even negative at ordinary temperatures). It is shown that in connection with this properties of rubber in bitumen in the zone of its contact with inclusions, additional concentrations of thermal stresses can occur, caused by thermomechanical incompatibility of the phases of the composite and leading to the initiation of additional latent plastic strains and destructions in bitumen on the contact surface, causing chipping of inclusions.

4. Using analytical calculations, it has been demonstrated that the mitigation of additional thermomechanical defects and their elimination can be achieved by reducing the thermomechanical incompatibility of the properties of the composite phases by bituminous modification of rubber. As this takes

place, the efficiency of this method increases with an increase in the depth of penetration of the modified layer into the rubber grain.

References

1. Abbas Mohajerani, Lucas Buznett, John V. Smith, Stefan Markovski, Glen Rodwell, Md Tareq Rahman, Halenur Kurmus, Mehdi Mirzbabaei, Arul Arulrajan, Suksun Horpibulsuk, Farsid Maghool. Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 155, April 2020, 104679, pp.1-17 https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104679
2. Delatte N. Concrete Pavement Design, Construction, and Perfomance. Taylor & Francis, London and New York, 2008, 1-372.
3. Krishnan J.M., Rajagopal K.R. Review of the uses and modeling of bitumen from ancient to modern times. American society of mechanical engineers. Appl Mech Rev, 2003, 56(2), P. 149–214.
4. Nuha Salim Mashaan, Asim Hasan Ali, Mohamed Reham Karim, Mahrez Abdelaziz. An overview of crumb rubber modified asphalt. Intern. Journ. Of Physical sciences, 2011, 7(2), 166-170. Doi:105897/IJPSX11.007.
5. Paravita Sri Wulandari, Daniel Tjandra. Use of crumb rubber as an additive in asphalt concrete mixture. Procedia Engineering. 2017, V.171, pp.1384-01389.
6. Presti D.L. Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixture: a literature review. Construction and Building Materials. 2013, 49, pp.863-881.
7. Rokade S. Use of waste plastic and waste rubber tyres in flexible highway pavements. International Conference on Future Environment and Energy IPCBEE. 28, 2012, pp. 105-108.
8. Marcela Fiedlerova, Petr Jisa, Kamil Stepanek. Using various thermal analytical methods for bitumen characterization. International Journal of Pavement Research and Technology, 2021, V.14, Issue 4, pp. 459-465.
9. Tao Ma, Yongqiang Zhong, Tao Tang, Xiaoming Huang. Design and evalution of heat-resistant asphalt mixture for permafrost regions, Internationl Journal of Civil Engineering, 2016, V.14, 5. Doi:10.1007/s40999-16-0039-9.
10. Zhang D., Huang X., Zhao Y., Zhang S. Rubberized asphalt mixture design using a theoretical model. Construction and Building Materials. V.67, 2014, pp.265-269.
11. Butz T., Muller J., Riebesehl G. Innovative method for producing crumbed rubber modified asphalt. 5-th Eurasphalt & Eurobitume Congress. Istanbul (2012).
12. Gao W. Study on properties of recycled tyre rubber modified asphalt mixture using dry process. Construction and Building Materials. 2007, 21, pp.1011-1015.
13. Mashaan N.S., Ali A.H., Karim M.R., Abdelaziz M. Effects of crumb rubber concentration on physical and rheological properties of rubberised bitumen binders. International Journal of Physical Sciences. 2011, V.6,4. Pp.684-690.
14. Raheb Mirzanamadi, Par Johansson, Sotirios Grammaticos. Thermal properties of asphalt concrete: A numerical and experimental study. Construction and Building Materials. 2018, V.158, pp. 774-785.
15. Christensen R.M. Mechanics of Composite Materials; Wiley: New York, NY, USA, 1979, 348 p.
16. Leslie R.G. Treloar. The mechanics of rubber elasticity. Journal of Polymer Science Polymer Symposia, March 2007, 48(1), pp. 107-123. https://doi.org/10.1002/polc.5070480110
17. Lyon R.E., Farris R. J. Thermomechanics of rubber at small strains. Polymer. 1987, V.28, 7, pp.1127-1132.
18. Miller W., Smith S.W., Mackenzie D.S., Ewans K.E., Negative Thermal Expansion: a Review Journal of Material Science, Vol. 44, pp.5441–5451, 2009.
19. Takenaka K., Negative Thermal Expansion Materials: Technological Key for Control of Thermal Expansion, Science and Technology of Advanced Materials, Vol. 13, pp.1-11, 2012
20. Khazanovich L. The elastic-viscoelastic correspondence principle for non-homogeneous materials with time translation non-variant properties. Intern. Journ. Solids and Structures. 2008, Vol. 45,15, pp.1-9.

21. Paulino G.H., Jin Z.-H. Correspondence principle in viscoelastic functionally graded materials. ASME J. Appl. Mech. 2001, Vol.68, pp. 129-132.
22. Carlson D.E., Thermoelasticity, Encyclopedia of Physics (ed. Trusdell C., Springer, Berlin, 1972).
23. Kovalenko, A.D. Osnovy termopruzhnosti [Thermoelasticity fundamentals]. Kyiv: Naukova Dumka, 1970. 307 s. [in Russian].
24. Noda N., Hetnarski R.B., Tanigawa Y., Thermal Stresses (2nd edition, New York: Taylor and Francis, 2003).
25. Nowacki W. Thermoelasticity, 2 nd ed. Oxford: PWN – Polish Scientific Publishers, Warsaw and Pergamon Press, 1986.

ТЕОРЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАРОДЖЕННЯ ВНУТРІШНІХ ПРИХОВАНИХ ТЕРМІЧНИХ ДЕФЕКТІВ У БІТУМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ З ГУМОВИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ

Шлюнь Наталія Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедрою вищої математики, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, тел. +380975936346, https://orcid.org/0000-0003-1040-8870

Анотація. Сучасний стан і прогрес технології та науки, пов’язані з повторним використанням та переробкою шинної гуми в дорожній промисловості в усьому світі, змушує більш ретельно вивчати високо- та низькотемпературні характеристики дорожнього бітуму, модифікованого гумовою крихтою, що дозволяє зрозуміти вплив температури, зернистість гуми та модифікації суміші бітум-каучук на міцність і стійкість композиту. Нижче ці питання вивчаються з урахуванням особливостей термомеханічних властивостей гуми, пов'язаних з її малою жорсткістю при зміні форми, практичною нестисливістю при зміні об'єму та малим (нульовим або навіть від’ємним) коефіцієнтом лінійного температурного розширення.

Метою дослідження є визначення причин, що проводять до порушення міцності асфальтобетонних матеріалів з домішками гумових крихт. Для цього аналізується вплив несумісності термомеханічних характеристик (модулів пружності, коефіцієнтів Пуассона та коефіцієнтів температурного розширення) бітуму та гуми на концентрацію додаткових внутрішніх термонапружень в системі, що викликані сезонними та добовими змінами температури.

На основі співвідношень теорії термопружності побудовано математичну модель термодеформування гумової крихти в бітумному середовищі. З можливістю повного та поверхневого модифікування гуми бітумом побудовано розв'язки для трифазних середовищ, що дозволяють простежити вплив параметрів кожної фази на поля термонапружень в системі. Встановлено, що додаткові термонапруження в бітумі, зумовлені термомеханічною несумісністю фізичних параметрів фаз, концентруються в зоні контакту з поверхнею гумової крихти і можуть бути причиною виникнення в ній дефектів, а потім і викришування крихти. Розглянуто вплив ефекту модифікації гумової крихти бітумом та глибини проникнення її у крихту різних розмірів на зниження термонапружень у системі й підвищення її стійкості.

Ключові слова: асфальтобетонний матеріал, гумові включення, нестисливість гуми, концентратори термонапружень, модифікована гума.

Перелік посилань

1. Abbas Mohajerani, Lucas Buznett, John V. Smith, Stefan Markovski, Glen Rodwell, Md Tareq Rahman, Halenur Kurmus, Mehdi Mirzbabaei, Arul Arulrajan, Suksun Horpibulsuk, Farsid Maghool. Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 155, April 2020, 104679, pp.1-17 https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104679
2. Delatte N. Concrete Pavement Design, Construction, and Perfomance. Taylor & Francis, London and New York, 2008, 1-372.

3. Krishnan J.M., Rajagopal K.R. Review of the uses and modeling of bitumen from ancient to modern times. American society of mechanical engineers. Appl Mech Rev, 2003, 56(2), P. 149–214.
4. Nuha Salim Mashaan, Asim Hasan Ali, Mohamed Reham Karim, Mahrez Abdelaziz. An overview of crumb rubber modified asphalt. Intern. Journ. Of Physical sciences, 2011, 7(2), 166-170. Doi:105897/IJPSX11.007.
5. Paravita Sri Wulandari, Daniel Tjandra. Use of crumb rubber as an additive in asphalt concrete mixture. Procedia Engineering. 2017, V.171, pp.1384-01389.
6. Presti D.L. Recycled tyre rubber modified bitumens for road asphalt mixture: a literature review. Construction and Building Materials. 2013, 49, pp.863-881.
7. Rokade S. Use of waste plastic and waste rubber tyres in flexible highway pavements. International Conference on Future Environment and Energy IPCBEE. 28, 2012, pp. 105-108.
8. Marcela Fiedlerova, Petr Jisa, Kamil Stepanek. Using various thermal analytical methods for bitumen characterization. International Journal of Pavement Research and Technology, 2021, V.14, Issue 4, pp. 459-465.
9. Tao Ma, Yongqiang Zhong, Tao Tang, Xiaoming Huang. Design and evalution of heat-resistant asphalt mixture for permafrost regions, Internationl Journal of Civil Engineering, 2016, V.14, 5. Doi:10.1007/s40999-16-0039-9.
10. Zhang D., Huang X., Zhao Y., Zhang S. Rubberized asphalt mixture design using a theoretical model. Construction and Building Materials. V.67, 2014, pp.265-269.
11. Butz T., Muller J., Riebesehl G. Innovative method for producing crumbed rubber modified asphalt. 5-th Eurasphalt & Eurobitume Congress. Istanbul (2012).
12. Gao W. Study on properties of recycled tyre rubber modified asphalt mixture using dry process. Construction and Building Materials. 2007, 21, pp.1011-1015.
13. Mashaan N.S., Ali A.H., Karim M.R., Abdelaziz M. Effects of crumb rubber concentration on physical and rheological properties of rubberised bitumen binders. International Journal of Physical Sciences. 2011, V.6,4. Pp.684-690.
14. Raheb Mirzanamadi, Par Johansson, Sotirios Grammaticos. Thermal properties of asphalt concrete: A numerical and experimental study. Construction and Building Materials. 2018, V.158, pp. 774-785.
15. Christensen R.M. Mechanics of Composite Materials; Wiley: New York, NY, USA, 1979, 348 p.
16. Leslie R.G. Treloar. The mechanics of rubber elasticity. Journal of Polymer Science Polymer Symposia, March 2007, 48(1), pp. 107-123. https://doi.org/10.1002/polc.5070480110
17. Lyon R.E., Farris R. J. Thermomechanics of rubber at small strains. Polymer. 1987, V.28, 7, pp.1127-1132.
18. Miller W., Smith S.W., Mackenzie D.S., Ewans K.E., Negative Thermal Expansion: a Review Journal of Material Science, Vol. 44, pp.5441–5451, 2009.
19. Takenaka K., Negative Thermal Expansion Materials: Technological Key for Control of Thermal Expansion, Science and Technology of Advanced Materials, Vol. 13, pp.1-11, 2012
20. Khazanovich L. The elastic-viscoelastic correspondence principle for non-homogeneous materials with time translation non-variant properties. Intern. Journ. Solids and Structures. 2008, Vol. 45,15, pp.1-9.
21. Paulino G.H., Jin Z.-H. Correspondence principle in viscoelastic functionally graded materials. ASME J. Appl. Mech. 2001, Vol.68, pp. 129-132.
22. Carlson D.E., Thermoelasticity, Encyclopedia of Physics (ed. Trusdell C., Springer, Berlin, 1972).
23. Kovalenko, A.D. Osnovy termopruzhnosti [Thermoelasticity fundamentals]. Kyiv: Naukova Dumka, 1970. 307 s. [in Russian].
24. Noda N., Hetnarski R.B., Tanigawa Y., Thermal Stresses (2nd edition, New York: Taylor and Francis, 2003).
25. Nowacki W. Thermoelasticity, 2 nd ed. Oxford: PWN – Polish Scientific Publishers, Warsaw and Pergamon Press, 1986.

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8
DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-122-129

МЕТОДИ РОЗВАНТАЖЕННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІХ МЕРЕЖ

METHODS OF UNLOADING STREET AND ROAD NETWORKS



Довгополюк Людмила Олексіївна, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри системного проєктування об'єктів транспортної інфраструктури та геодезії, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: _katze_@ukr.net, тел.: +380972251807,*

https://orcid.org/0000-0002-3401-8466



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

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

Анотація. Вулично-дорожня мережа міста – один з найбільш стабільних його елементів, тому повинна бути розрахована на дуже тривалий період використання без істотних перебудов, що обходяться надто дорого. Вулиці й дороги утворюють на плані міста мережу наземних шляхів сполучення.

Сучасний міський рух ставить перед архітекторами, будівельниками доріг і працівниками транспорту завдання, від вирішення яких залежать не тільки характеристики роботи міського транспорту, але і розвиток самого міста. Саме тому в сучасному містобудуванні новий напрямок у розробці й оцінці транспортних якостей планування міста одержав назву транспортного планування міст. Цей напрямок охоплює комплекс транспортних, будівельних і природоохоронних заходів. Їх мета – створення раціональної структури вулично-дорожньої мережі, яка щонайкраще вирішує проблему транспортного обслуговування населення міста.

Сучасні міста потерпають від перевантаження вулично-дорожніх мереж транспортними потоками. Рівень автомобілізації стрімко збільшується, користуватися ж індивідуальними автомобілями у містах стає все складніше – час витрачається у заторах, паркування ускладнено, паркувальні місця обмежені, зростає аварійність. Погіршується екологічна ситуація, загазованість та транспортний шум негативно впливають на стан здоров'я мешканців міст.

Проаналізовані методи, які дозволяють розвантажити вулично-дорожню мережу, зробити транспортних рух безпечнішим, зручнішим як для водіїв, так і для пішоходів, а міське середовище – комфортнішим для мешканців. Вивчалося питання ефективності застосування системи «Carpool» – виділення спеціальної смуги руху заповнених пасажирами легкових автомобілів. При карпулінгу (райдшерінгу) витрати на паливо розподіляються пропорційно і вибирається оптимальний маршрут

поїздки для всіх учасників без значних відхилень від основного маршруту водія (власника автомобіля), на відміну від таксі, при використанні якого витрати оплачує пасажир, а напрямок поїздки не обмежується водієм та автостопом, де за фактом платить лише водій, який слідує строго за своїм маршрутом.

Ключові слова: вулично-дорожня мережа, автомобілізація, транспортних потік, пропускна здатність, інтенсивність руху, транспортні магістралі, затори, аварійність, паркування, система «Carpool», велосипедний рух, пішохідна зона, смуга руху, коефіцієнт рівня завантаженості рухом, забруднення повітря, транспортний шум.

Вступ. Хто не мріє жити у місті, де все для людей – можна вільно та безпечно рухатися на транспорті, не втрачаючи час у заторах, дихати чистим повітрям, широко користуватися велосипедом, на тротуарі відчувати себе спокійно та комфортно, а не долати перешкоди у вигляді припаркованих автомобілів…

Міста заполонили машини, і цей процес є незворотнім, оскільки кількість автомобілів зменшуватися не буде – все ширші верстви населення мають індивідуальний автомобіль, вже й по декілька на родину. Пропускна здатність існуючих вулично-дорожніх мереж вичерпується, виникають затори, які зумовлюють тривалі затримки, непередбачені витрати часу на поїздку та високий рівень забруднення довкілля.

Викиди шкідливих речовин при русі транспортних потоків є у містах основним джерелом забруднення. Транспортний шум дошкуляє мешканцям міста, викликаючи як роздратування так і патологічні зміни органів слуху [1].

Затори накладають й великі витрати на економіку та суспільство.

Одним з найбільш негативних наслідків стрімкого зростання рівня автомобілізації є аварійність. Щорічно в дорожньо-транспортних подіях (ДТП) гинуть чи стають інвалідами тисячі людей. Найбільш частими причинами ДТП є перевищення швидкості, недотримання дистанції водіями, недотримання черговості проїзду, користування мобільним телефоном під час руху, неуважність і водіння в нетверезому стані.

В умовах щільних транспортних потоків із стійкою тенденцію до подальшого зростання рівня автомобілізації актуальним питанням є оптимізація часу проїзду.

Визначення та вибір методів розвантаження вулично-дорожніх мереж, упорядкування транспортного руху, який має бути безпечним, комфортним, екологічним та економічним є актуальним питанням сьогодення, що потребує вирішення.

Матеріали та методи. Міста для людей передбачають створення зручної транспортної інфраструктури із збереженням архітектурного середовища, рекреаційних зон при повному забезпеченні економічних та соціальних потреб. Тож виникає потреба проаналізувати можливості й надати рекомендації щодо упорядкування руху транспортних потоків в умовах невідворотності постійного збільшення кількості автомобілів у містах.

Метою роботи є підвищення пропускної здатності вулично-дорожніх мереж. Можливими є два шляхи.

Перший – постійного будівництва із розширенням транспортних магістралей, спорудженням багаторівневих розв'язок тощо. Але, як засвідчує досвід, це не завжди є ефективним: будівництво є розтягненим у часі, а кількість автомобілів й надалі збільшується і через певний період вичерпує передбачувану при проектуванні пропускну здатність. Проводити будівництво в умовах вже сформованого містобудівного середовища також не просто. Вартість будівельних робіт висока та й має тенденцію до подальшого зростання.

Інший шлях – розвантаження міста від автомобілів, зокрема його центральної частини, переважно де в старих містах зосереджені пам'ятки історії та архітектури. Обмеження руху для автомобілів є дієвим методом, який ефективно застосовується у багатьох містах Європи [2]. Для цього має бути влаштована мережа паркувальних майданчиків, зокрема, перехоплюючих на в'їздах до міста із оптимальною, економічно обґрунтованою вартістю паркування. Необхідна налагоджена робота

громадського транспорту із достатньою кількістю рухомого складу та дотриманням визначеного графіку роботи. Непопулярний метод високої ціни паркування у центральній частині міст також сприяє розвантаженню вулично-дорожньої мережі від індивідуальних автомобілів. Ефективними є багаторівневі паркінги, спорудження яких потребує значних матеріальних витрат.

Виклад основного матеріалу. Підвищення пропускної здатності вулично-дорожніх мереж досягається також методами організації руху – влаштуванням одностороннього руху, збільшенням відстаней між лівими поворотами, виділенням окремих смуг для громадського транспорту, для автомобілів, що рухаються у режимі «Carpool».

Потреба у гнучкому, зручному, чистому та загальнодоступному рішенні для поїздок всередині міста може вирішуватися використанням велосипедів як транспортних засобів. Створення відповідної інфраструктури для організації велосипедного руху сприяє як розвантаженості вулиць від машин, так і поліпшенню екологічної ситуації у містах.

Підвищенню комфортності та екологічної безпеки сприяє також влаштування пішохідних зон – при цьому має бути ретельно переглянута схема організації руху на паралельних вулицях, на які будуть переміщуватися транспортні потоки, оскільки там не мають погіршися параметри впливу транспортного руху. Мешканці прилеглих вулиць не мусять потерпати від підвищення рівнів шуму та загазованості при надмірному транспортному навантаженні.

Вирішення питання розвантаженості вулично-дорожніх мереж потребує комплексного підходу, який ґрунтувався б як на методах покращення дорожніх умов шляхом будівництва чи реконструкції, так і організації руху та оптимізації транспортної інфраструктури по його обслуговуванню, враховуючи інтереси всіх мешканців міст – автомобілістів, пішоходів, велосипедистів.

Насправді популярним карпулінг став уже в наші дні. Сучасні засоби зв’язку та технології просунули послугу на кардинально новий рівень. Спеціальні програми для гаджетів моментально знаходять автомобіль та надають інформацію про можливих попутників. Найвідомішим сервісом карпулінгу в Україні можна назвати BlaBlaCar.

Розумне використання автомобіля, таке як каршеринг та карпулінг, також є важливою частиною плану для перемоги у протидії глобальному потеплінню. [7].

Сучасне суспільство, в більшості, ставиться до індивідуального автомобіля утилітарно: це справді зручний та швидкий засіб пересування, і аж ніякий не статусний символ.

Однак, поки в нас ще живе сприйняття власної машини як символу розкоші – доти ми забиватимемо вулиці й двори автівками. Одночасно ми мучитимемось з пошуком місця для паркування та стоятимемо у дорожніх заторах і поступово усвідомлюватимемо, що власний автомобіль – це у межах міста не завжди швидше та зручніше.

Середньоукраїнський показник становить 148 автомобілів на 1 000 осіб. У Києві цей показник дорівнює 213 авто на 1 000 жителів. До слова, раніше фахівці називали значно більшу цифру – 353 автомобілі на тисячу чоловік, однак вона була зумовлена фактично зареєстрованими автомобілями, які вже практично не виїжджали на дороги.

Показово, що рівень автомобілізації Гонконгу становить 59 автомобілів на 1 000 жителів, Стамбула – 139, Нью-Йорка – 209, Берліна – 317, Лондона – 345, Сан-Паулу – 368 автомобілів на 1 000 жителів. Цікаво, що низька, порівняно з іншими столицями, цифра автомобілізації Гонконгу зумовлена потужним і ефективним громадським транспортом. Мешканці міста можуть дістатись будь-куди в межах міста швидко, вчасно і за помірні кошти. Таким чином вони не витрачають коштів на придбання та утримання власного авто, але цілком задовольняють свою потребу у пересуванні містом.

Про те, що не обов'язково мати власне авто, аби комфортно пересуватись містом і за його межами, почали говорити все частіше. Альтернативи – це карпулінг, райдшеринг та каршеринг. За незрозумілими словами стоять цілком звичні вже тенденції.

Карпулінг – це коли водій підвозить знайомих чи попутників, прямуючи звичним маршрутом і розділяючи витрати на пальне з ними.

Райдшеринг – це той самий карпулінг, тільки у міжміському масштабі.

Аналогів каршерингу – спільному користуванню автомобілем, – в Україні ще немає. Дуже

часто новомодним словом називають короткостроковий прокат авто.

В класичному варіанті каршеринг представляє володіння автомобілем разом з іншою людиною або людьми, тобто володіння часткою авто з правом користуватися. З юридичної точки зору, зазвичай є один власник, який дає змогу іншим людям за певну оплату користуватись своїм автомобілем у період, коли авто йому не потрібне.

Модель каршерингу покликана швидко та зручно задовольнити традиційну потребу людини пересуватись з одного місця в інше, а також дозволяє економити власні кошти за рахунок зменшення видатків на одноосібне володіння авто. Це складова економіки спільного користування, яка стає все більш популярною в Європі та США. Тобто людина купує дороге авто і витрачає кошти на його експлуатацію – пальне, деталі, парковки, гараж тощо. А використовує його лише відсотків 10-15 часу доби. Решту часу автомобіль займає місце на вулицях, загороджуючи міський простір.

Тож логічною є думка, що цей час, поки, наприклад, офісний працівник відпрацьовує свої вісім годин за комп'ютером, тією ж автівкою могли б користатись інші люди, оплачуючи це користування.

Дослідження, проведене на замовлення одного з каршерингових об'єднань Німеччини показує, що на сьогодні приватний автопарк німців зменшився на 61,9 %. 41 % опитаних користувачів каршерингу вказують, що вони використовують автомобіль сьогодні менше, ніж до залучення до політики спільного користування автомобілем. 15 % почали більше їздити на велосипеді, 19 % опитуваних частіше їздити автобусами і поїздами.

Каршеринг звільнив вулиці. Одне авто, що знаходиться у спільному доступі, замінює 8-20 автомобілів. У вимірі зайнятого місця для паркування це 36-99 метрів.

Прихильники каршерингу зауважують, що вивільнені від паркомісць землі можна використати для розбудови громадського простору, велосипедних доріжок та інших ідей, які зроблять місто екологічнішим та комфортнішим [11].

Одним із заходів організації руху є організація смуги «carpool» – (англ. *high-occupancy vehicle lane або HOV lan)* – смуги для транспортних засобів із високим рівнем заповнення пасажирами [3]. Такі смуги відділяються на проїзній частині дорожньою розміткою (можливо бар’єром) (рис.1) й дозволяють зменшити інтенсивність руху при тій самій чи й вищій кількості перевезених осіб. Основна філософія – змінити акцент у призначенні магістралей: не для переміщення транспортних засобів, а для переміщення людей [4].

Впровадження системи «Carpool» не вимагатиме значних витрат, оскільки може бути забезпечене лише засобами організації руху – розміткою, дорожніми знаками.

На деяких маршрутах можна розглядати й спільне використання виділених смуг як громадським транспортом, так і учасниками руху «Carpool». При цьому, звичайно, швидкості руху для учасників руху «Carpool» муситимуть підпорядкуватися швидкостям громадського транспорту. Але це видається кращим, ніж стояти у заторах при русі у загальному потоці в години «пік».

Значну частку автомобілів у транспортних потоках міста займають автомобілі, на яких приїздять на роботу мешканці приміських зон. Тож досліджувати можливість впровадження системи «Carpool», доцільно, перш за все, на магістралях, по яких відбувається рух автомобілів, що в’їжджають до міста або на шляхах від спальних районів до промислових зон, центральних районів міст, містоутворюючих організацій та підприємств, куди прямують стабільні та визначені у часі пасажиропотоки із трудовою метою.



Рисунок 1 – Смуга «Carpool» на автомагістралі Mississauga, (Онтаріо, США)
Figure 1 – Carpool lane on the Mississauga Freeway, (Ontario, USA)

Систему «Carpool» доцільно впроваджувати за наявності як мінімум трьох смуг руху в одному напрямку, оскільки при цьому не можна завадити руху інших видів транспорту, зокрема – громадського.

Переваги системи «Carpool» в наступному: учасники отримують виграш у ціні. Використання лише однієї машини замість декількох зберігає витрати на пальне, ремонт, паркування; дороги стають вільнішими, зменшується ймовірність дорожніх заторів; зменшуються викиди шкідливих газів; пасажирам вдається уникнути стресу і навантаження від керування транспортним засобом у години «пік», учасники «Carpool» можуть по черзі брати на себе роль водія; на автомагістралях виділяються окремі смуги для машин з пасажирами. Можуть бути організовані й спеціальні місця на паркувальних майданчиках; програми «динамічного пошуку» дозволяють знаходити попутників (і водіїв) дуже швидко і автоматично.

До недоліків системи «Carpool» можна віднести те, що водіям інколи доводиться заїжджати за пасажирами, а значить, і подовжити свій час у дорозі, крім того, водії відповідають за затримку у випадку аварії.

Була здійснена спроба проаналізувати можливості та ефективність виділення смуг «Carpool» у м Києві. Спостереження за рухом існуючих транспортних потоків проводилося на одній із магістралей, по якій відбувається рух від приміської зони до районів міста, після чого моделювалася ситуація виділення смуги руху для завантажених легкових автомобілів.

Ділянка спостереження мала по чотири смуги руху у кожному з напрямків. Натурні обстеження руху транспортних потоків проводилися в середні дні тижня у години «пік», Визначалися інтенсивності руху по смугах, склад транспортного потоку та швидкості руху. На основі досліджень визначалися пропускні здатності та максимальні інтенсивності за визначених швидкостей як дороги в цілому, так і окремих смуг руху, відповідні їх коефіцієнти завантаженості та рівні зручності [5, 6].

Перша смуга на досліджуваній ділянці була зайнята припаркованими автомобілями, тож рух був відсутнім. Приведена інтенсивність руху в одному напрямі наближалась до 3 000 авт./год. Склад тарнспортного потоку наведений у табл. 1.

Таблиця 1 *– Склад транспортного потоку по смугах руху*
Table 1 *– Composition of traffic flow by traffic lanes*

Склад транспортного потоку, %	Друга смуга	Третя смуга	Четверта смуга (крайня ліва)
Легкові автомобілі	79	91	99
Вантажні автомобілі	3	1	0,2
Автобуси	2	1	0,3
Маршрутне таксі	16	7	0,5
Всього	100	100	100

Аналіз пропускної здатності та характеристик руху показав, що коефіцієнт рівня завантаженості рухом наближався до 0,9, тобто, спостерігався колонний рух.

При визначенні ефективності виділення окремої смуги для руху заповнених легкових автомобілів моделювалася ситуація, при якій крайня ліва смуга виділялася під рух «Carpool». За умови, що в одному автомобілі буде їхати декілька пасажирів, кількість легкових автомобілів мала скоротитися. Переважно це автомобілі, що належать до «внутрішнього транзиту», тобто, транзитного руху між районами міста – це легкові автомобілі, які рухаються по 4-й, крайній лівій смузі і, частково, по 3-й смузі. Праві смуги займають транспортні засоби місцевого значення та громадський транспорт.

Застосування смуги «Carpool» теоретично зменшило інтенсивність руху на крайній лівій смузі на 40 %, при цьому інтенсивність руху на інших смугах суттєво не змінилися (сюди переміщалися не заповнені легкові автомобілі). Рівень завантаженості смуг руху, що не задіяні для «Carpool», склав 0,78-0,8, на самій смузі – до 0,7 (до виділення смуги перевищував 0,7). Щільність руху на інших смугах суттєво не змінюється, оскільки вантажний та місцевий транспорт при русі на автомагістралях займають праві смуги, лівіше ж розміщуються легкові потоки, до зменшення інтенсивності на яких і призводить введення системи «Carpool».

При введенні смуги «Carpool», зменшується час руху за рахунок того, що не буде вимушених затримок при заторах та підвищується середня швидкість руху транспортного потоку. Покращується економічна складова руху – знижуються транспортні витрати. Витрати ж на введення в дію системи «Carpool» не вимагатимуть значних коштів, оскільки складатимуться із витрат лише на нанесення спеціальної розмітки та встановлення відповідних дорожніх знаків. Точніше про ефективність можна говорити для кожного конкретного випадку.

В нашому випадку характеристики руху покращуються від нестійкого, колонного до стабільного, обгони на середніх смугах можуть бути ускладненими.

При проведенні екологічного аналізу враховувався тип двигунів транспортних засобів. Істотний обсяг у складі відпрацьованих газів двигунів займають токсичні гази: окис вуглецю, вуглеводні, окиси азоту, з'єднання сірки [8]. Розрахунок базувався на поетапному визначенні викидів відпрацьованих газів, концентрації забруднення повітря цими газами на різній відстані від дороги і порівнянні отриманих даних з гранично допустимими концентраціями (ГДК) цих речовин у повітряному середовищі. При розрахунку викидів враховувались типи транспортних засобів і конкретні дорожні умови руху транспортних потоків.

Концентрація забруднень атмосферного повітря окисом вуглецю. вуглеводнями, окисами азоту, з'єднаннями сірки вздовж дороги визначалася за формулою (1):

$$C = \frac{2q}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma\cdot v\cdot sin\varphi} + F, \quad (1)$$

де C – концентрація даного виду забруднення в повітрі, г/м^3;
σ – стандартне відхилення Гауссового розсіювання у вертикальному напрямку, м;
v – швидкість вітру, що переважає в розрахунковий місяць літнього періоду, м/с;
φ – кут між напрямком вітру до траси дороги;
F – фонова концентрація забруднення повітря, г/м^3.

Забруднення повітря вуглеводнями перевищувало гранично-допустимі концентрації (ГДК) на відстані 50 м від проїзної частини, вуглецем – 150 м, інші складові викидів при даному транспортному потоці не були відчутними. За умови , що системою «Carpool» скористається 10 % власників легкових автомобілів, теоретично ці відстані можна зменшити відповідно до 40 м й 120 м. Якщо система буде сприйнята водіями як ефективна і бажаючих виявиться більше, можна суттєво зменшити відстані розповсюдження шкідливих викидів, що є особливо важливим у містах, в умовах забудови.

Висновки та рекомендації. Впровадження системи «Carpool» може застосовуватися з метою підвищення пропускної здатності транспортних магістралей, сприятиме покращенню умов руху. В результаті такого заходу можуть зменшуватися затори, знизиться аварійність, зменшуватиметься час руху; підвищиться швидкість; знизиться потреба у паркувальних місцях, також покращуватиметься ситуація із забрудненням повітря та рівнями шуму.

Перелік посилань

1. Самойлюк Е.П. Боротьба з шумом в населених містах / Е.П. Самойлюк, В.І. Денисенко, А.П. Пилипенко. – К. : Вид-во «Будівельник», 1981. – 236 с.
2. Хом'як А.Я., Дзюба П.П. Щодо створення інфраструктури для велосипедного руху - Зб. «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», вип. 102 - К.: НТУ, 2018, с. 11-20.
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Carpool
4. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BC%D1%83%D0%B3%D0%B0_HOV
5. Я.В. Хомяк . Організація дорожнього руху – К. : Вища школа, 1986 – 271 с.
6. В.П. Поліщук, О.П. Дзюба. Теорія транспортного потоку – К.: Знання України, 2008 – 175 с.
7. Що таке карпулінг? URL: https://jak.bono.odessa.ua/articles/karpuling-shho-ce-i-jak-koristuvatisja.php (дата звернення: 26.06.2023)
8. Вплив транспорту на навколишнє середовище. URL: https://naurok.com.ua/prezentaciya-vpliv-transportu-na-navkolishne-seredovische-103609.html (дата звернення 26.06.2023)
9. Екологічні проблеми транспортної галузі. URL: http://surl.li/cyncf (дата звернення 26.06.2023).
10. Вулично-дорожня мережа міст. URL: http://surl.li/imitw (дата звернення 26.06.2023).
11. Каршеринг: чи бути в Україні спільному користуванню автомобілів? URL: https://life.pravda.com.ua/society/2016/09/12/217764 (дата звернення 27.06.2023)

METHODS OF UNLOADING STREET AND ROAD NETWORKS

Dovgopolyuk Lyudmyla O., PhD (Candidate of Technical Science) , Associate Professor, Associate Professor of the department of system design of transport infrastructure objects and geodesy, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: _katze@ukr.net, tel. + 38097225-18-07, https://orcid.org/0000-0002-3401-8466.

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

Summary. Modern cities suffer from overloading of street and road networks with traffic flows. The level of motorization is rapidly increasing, but it is becoming increasingly difficult to use individual cars in

cities - time is spent in traffic jams, parking is difficult, parking spaces are limited, and accidents are increasing. The environmental situation is worsening, pollution and traffic noise have a negative impact on the health of city residents.

Analyzed methods that make it possible to relieve the street and road network, make traffic safer and more convenient for both drivers and pedestrians, and the urban environment more comfortable for residents. The question of the effectiveness of the "Carpool" system - the allocation of a special traffic lane for cars filled with passengers - was studied. With carpooling (ridesharing), fuel costs are distributed proportionally and the optimal route for all trip participants is chosen without significant deviations from the main route of the driver (car owner), in contrast to a taxi, when using which costs are paid by the passenger, and the direction of the trip is not limited to the driver and the hitchhiker , where only the driver who strictly follows his route pays.

Key words: street and road network, motorization, traffic flows, capacity, traffic intensity, transport highways, traffic jams, accidents, parking, Sarpool system, bicycle traffic, pedestrian zone, traffic lane, traffic load factor, air pollution, traffic noise.

References

1. Samoiluk E.P. Fight against noise in populated cities / E.P. Samoiluk, V.I. Denisenko, A.P. Pylypenko. - K.: Budivelnyk Publishing House, 1981. - 236 p.

2. Khomyak A.Ya., Dzyuba P.P. Regarding the creation of infrastructure for bicycle traffic - Coll. "Automotive roads and road construction", vol. 102 - K.: NTU, 2018, p. 11-20.

3. https://en.wikipedia.org/wiki/Carpool

4. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BC%D1%83%D0%B3%D0%B0_HOV

5. Ya.V. Hamster. Traffic organization - K.: Higher school, 1986 - 271 p.

6. V.P. Polishchuk, O.P. Beak Theory of transport flow - K.: Knowledge of Ukraine, 2008 - 175 p.

7. What is carpooling? URL: https://jak.bono.odessa.ua/articles/karpuling-shho-ce-i-jak-koristuvatisja.php (access date: 06/26/2023)

8. Impact of transport on the environment. URL: https://naurok.com.ua/prezentaciya-vpliv-transportu-na-navkolishne-seredovische-103609.html (date of application 06/26/2023)

9. Environmental problems of the transport industry. URL: http://surl.li/cyncf (access date 06/26/2023).

10. Street and road network of cities. URL: http://surl.li/imitw (access date 06/26/2023).

11. Car sharing: should cars be shared in Ukraine? URL: https://life.pravda.com.ua/society/2016/09/12/217764 (date of application 06/27/2023)

УДК 519. 8 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-130-141**
UDC 519. 8

КЛАСИФІКАЦІЯ ХАОТИЧНИХ КАСКАДНИХ СИСТЕМ З ТОЧКИ ЗОРУ ЕКОЛОГІЇ

THE CATEGORIZATION OF THE CHAOTIC MAPS WITH STANDPOINT OF THE ECOLOGIES



Артеменко Владислав Андрійович, UT5UDJ, *магістр екології, науковий співробітник відділу гідрохімії,Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, e-mail: artemenko@uhmi.org.ua, тел. 380936011250, м. Київ, Україна*

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. e-mail: petrovichvv60@ukr.net, тел. +380442807338, м. Київ, Україна*

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

Анотація. На сучасному етапі досліджень в екології у якості математичних моделей використовують системи різницевих рівнянь з хаотичною поведінкою (каскадні хаотичні динамічні системи). Наявність детермінованого (динамічного) хаосу в таких системах звичайно визначають із позицій старшого "глобального" показника Ляпунова λ_1. В системах присутній детермінований хаос, якщо $\lambda_1 > 0$ (при виконанні деяких додаткових умов).

В дослідженні при визначенні спектру як "глобальних", так і локальних показників Ляпунова був використаний QR-метод.

Із використанням QR-метода проведені дослідження багатьох каскадних динамічних систем (в роботі, як приклад, розглянуті тільки два представника таких систем).

В ході проведення досліджень з'ясувалось, що множину таких каскадних динамічних систем можливо розподілити на два класи (клас I та клас II).

Клас I мають позитивні старші "глобальні" показники Ляпунова. При цьому локальні старші показники можуть приймати нульові та негативні значення.

Клас II мають позитивні "глобальні" старші показники Ляпунова, але при цьому локальні старші показники приймають виключно позитивні, значення.

Дослідження багатьох систем класу I та класу II показали, що переважну більшість представників класу II неможливо адекватно спрогнозувати відомими на даний період часу методами (навіть на одну точку вперед).

Таким чином, якщо екологічна модель базується на системі класу II, прогнозування на базі такої моделі у більшості своїй неможлива.

Для адекватного прогнозування слід у якості екологічних використовувати виключно моделі, що засновані на системах класу I.

Мета роботи. Метою роботи є створення принципово нової класифікації хаотичних каскадних систем (систем різницевих рівнянь).

Необхідно показати, що існує два класи таких систем, при яких одна із систем не може бути спрогнозована жодним із відомих на цей час методів.

Ключові слова: детермінований хаос в екології, локальні та глобальні показники Ляпунова, QR-метод визначення спектру показників Ляпунова, класифікація хаотичних каскадних систем.

Метод необхідний для відшукування істини
Р. Декарт
Будь-яка задовільна класифікація –
це перший крок на шляху всякого пізнання.
К. Тимірязєв

Вступ

Одна із головних наукових подій кінця 20-го сторіччя – це, безумовно, відкриття та подальша розробка теорії детермінованого хаосу.

Практичне застосування ідей детермінованого хаосу дозволило отримати результати, які раніше неможливо було навіть прогнозувати.

Слід відмітити, що на початковій стадії досліджень детермінованого хаосу певну роль відіграли моделі, які були попередньо задіяні у екології.

Як відомо, детермінований хаос звичайно визначають із позиції показника (показників) Ляпунова [1].

Наявність навіть одного позитивного показника в спектрі показників Ляпунова вже свідчить про появу в системі детермінованого хаосу.

На практиці спектр показників Ляпунова визначають вздовж усієї траєкторії динамічної системи, отримуючи відносно довгі ряди значень “миттєвих” (локальних) показників. Далі, визначаючи середнє для цих рядів, обчислюють “глобальні” показники Ляпунова.

Остаточне рішення про детерміновано-хаотичну поведінку системи одержують, використовуючи “глобальні” (усереднені) показники.

На сучасному рівні досліджень в екології достатньо часто використовують моделі на основі різницевих рівнянь (каскадних динамічних систем).

У роботі пропонується класифікація таких систем.

Така класифікація, наскільки нам відомо, у відповідній науковій літературі не розглядалась.

Виклад основного матеріалу.

Особливості поведінки детерміновано-хаотичної каскадної системи типу (1)

Розглянемо далі, як приклад, відоме “відображення Хенона”, де, згідно [2],

$$A(N+1) = 1 - k\emptyset 1 \cdot A(N)^2 + B(N),$$
$$B(N+1) = k\emptyset 2 \cdot A(N). \qquad (1)$$

У рівняннях (1) величини A,B – динамічні змінні, $k\emptyset 1 = 1.4$ та $k\emptyset 2 = 0.3$ – коефіцієнти (параметри). Початкові умови: $A(1) = 0.1$ та $B(1) = 0.2$.

При визначенні спектру “глобальних” (середніх за траєкторією) показників знаходили також рішення системи (1). Для цього авторами була написана спеціальна програма на мові програмування MATLAB.

З метою усунення “перехідних явищ” спочатку виконувалось 10000 ітерацій.

Послідуючі ітерації вже були спрямовані безпосередньо на знаходження відповідного рішення системи (1) та показників Ляпунова. Таких ітерацій було також проведено 10000.

Для визначення показників Ляпунова використовували QR-метод [3, 4], який вимагав визначати попередньо “матрицю Якобі” часткових похідних системи (1) у аналітичному вигляді.

При цьому “матриця Якобі” мала вигляд

$$J = \begin{bmatrix} -2 \cdot k\emptyset 1 \cdot A & 1 \\ k\emptyset 2 & \emptyset \end{bmatrix}.$$

Аттрактор системи (1) – це хаотичний аттрактор, що підтверджується визначеним спектром $\lambda_1 = +\emptyset.4138$ та $\lambda_2 = -1.6177$ цих показників.

На рис.2 наведений ряд локальних значень для λ_1 системи (1).

Як видно із рис.2, деякі локальні показники досягають значення +1.25. Значення -1.5 … -2.0 також зустрічаються, але у меншій кількості.

Для локальних показників λ_2 маємо переважну більшість від'ємних значень (середнє по ряду значення λ_2 складає -1.6177).

Зазначимо, що маючи ряди локальних показників Ляпунова, можливо безпосередньо знаходити довірчі інтервали для λ_1 та λ_2. Такі інтервали легко визначити за допомогою метода непараметричного бутстрепа [5, 6].

Попередньо отримані дані для λ_1 та λ_2 має сенс аналізувати також із позицій ймовірнісних розподілень.

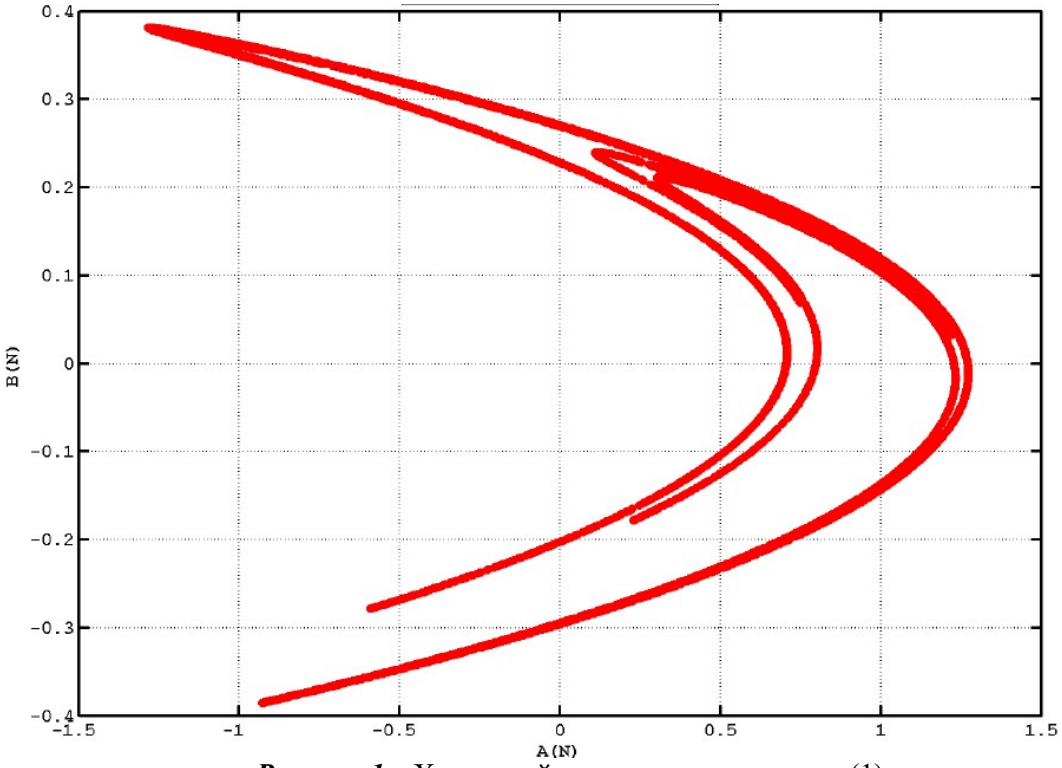


Рисунок 1 – Хаотичний аттрактор для системи (1)
Figure 1 – Chaotic attractor for System (1)

На рис.3 наведена гістограма для локальних показників λ_1, на рис.4 – гістограма для локальних показників λ_2. Крім того, можлива побудова залежностей цих показників від рішень системи (1). Це можуть бути як двовимірні, так і трьохвимірні графіки.

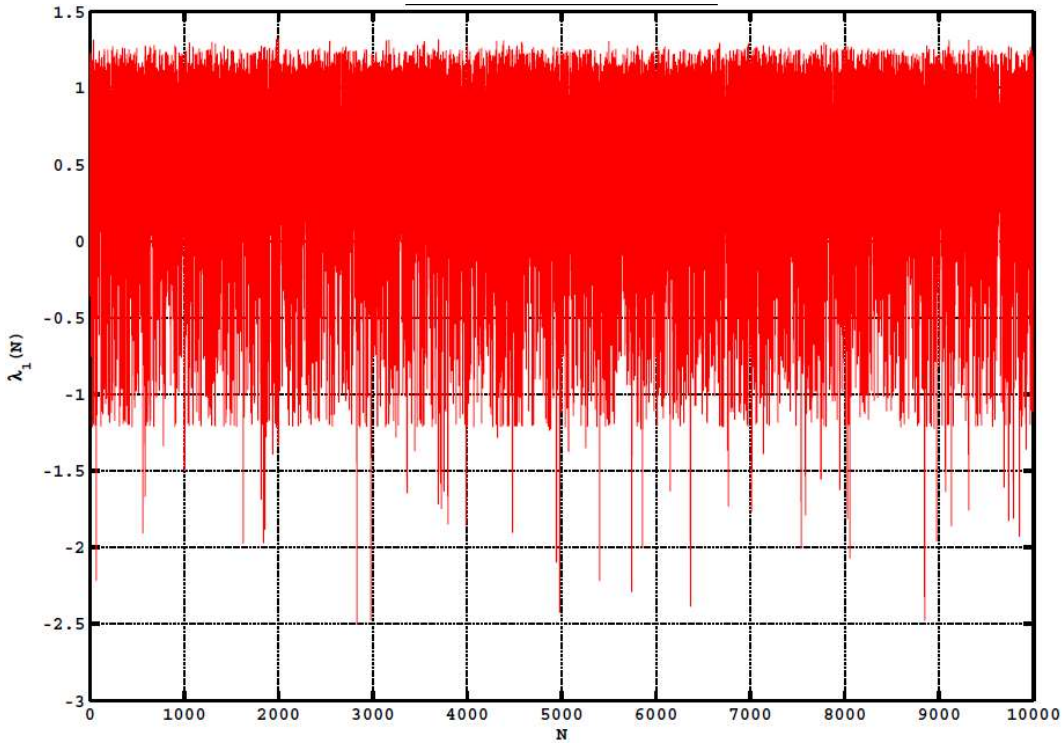


Рисунок 2 – Ряд локальних значень $\lambda_1(N)$ для системи (1)
Figure 2 – The series of local Lyapunov exponents $\lambda_1(N)$ for system (1)

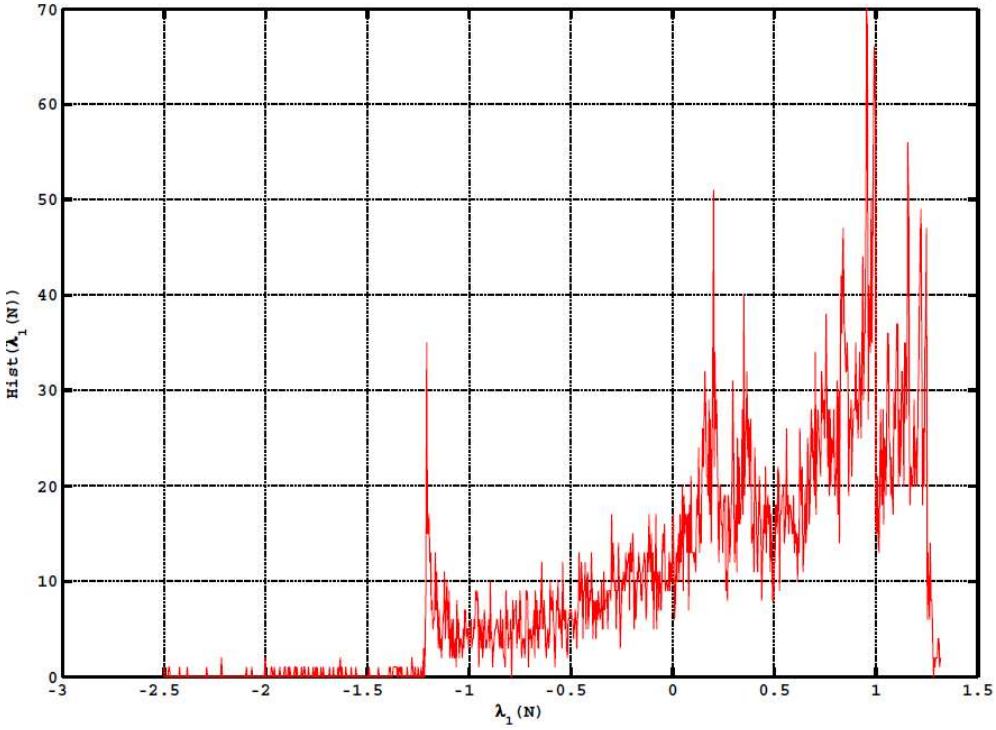


Рисунок 3 – Гістограма для ряду локальних значень $\lambda_1(N)$ системи (1)
Figure 3 – The histogram for series of local Lyapunov exponents $\lambda_1(N)$ for system (1)

На рис.5 поданий графік залежності локальних значень λ_1 від координати A рішення (1), на рис.6 – залежність λ_2 від координати B. При цьому система (1) генерує хаотичні часові ряди для змінних A та B за наявністю лише певних коефіцієнтів та початкових умов.

Можливо також стверджувати, що локальні показники Ляпунова також можуть самі бути детерміновано-хаотичними рядами (якщо не для системи (1), то, у крайньому разі, для деяких інших подібних систем).

У загальному випадку, якщо невідомі формули для таких рядів, слід використовувати клас алгоритмів, які не вимагають знання певних аналітичних формул [7, 8].

Особливості поведінки детерміновано-хаотичної каскадної системи типу (2).

Розглянута поведінка системи (1) – це тільки один із типів поведінки хаотичної каскадної системи. Існує також детерміновано-хаотична каскадна система, яка демонструє поведінку із деяких позицій як повністю протилежна приведеній вище.

Розглянемо каскад виду

$$A(N+1) = 1 + k\emptyset 1 \cdot A(N) + k\emptyset 2 \cdot |B(N)|$$
$$B(N+1) = 1 + k\emptyset 1 \cdot B(N) + k\emptyset 2 \cdot |A(N)|, \qquad (2)$$

де A,B – динамічні змінні, $k\emptyset 1 = +.2300$, $k\emptyset 2 = -1.4990$.
Початкові умови: $A(1) = 0.1$ та $B(1) = 0.2$.

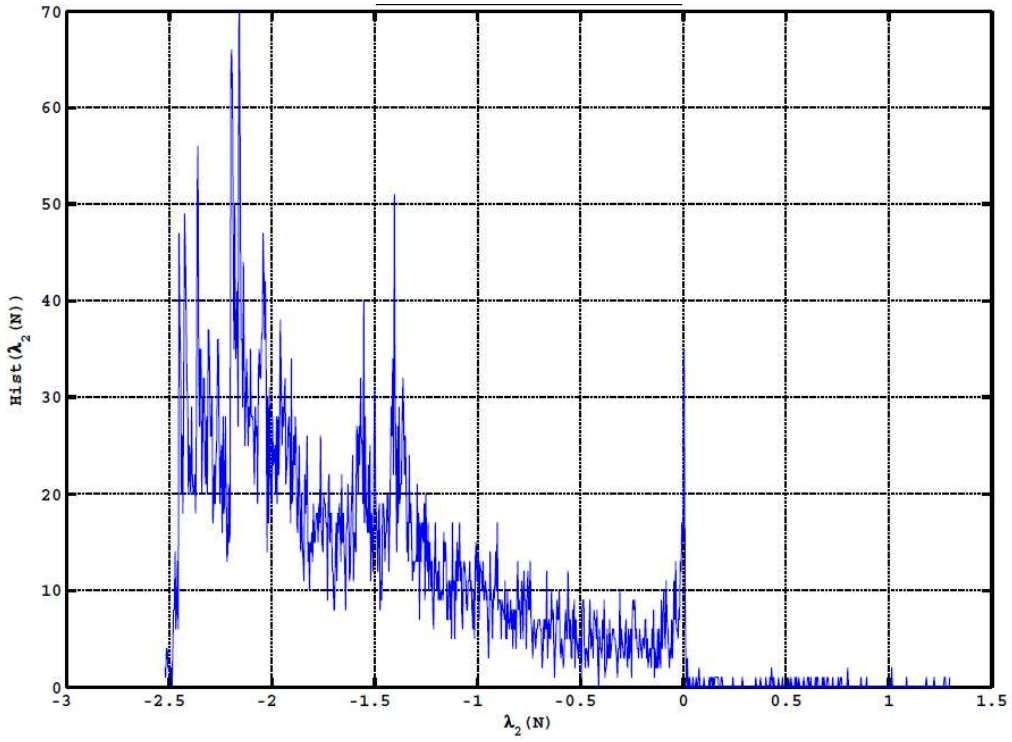


Рисунок 4 – Гістограма для ряду локальних значень $\lambda_2(N)$ системи (1)
Figure 4 – The histogram for series of local Lyapunov exponents $\lambda_2(N)$ for system (1)

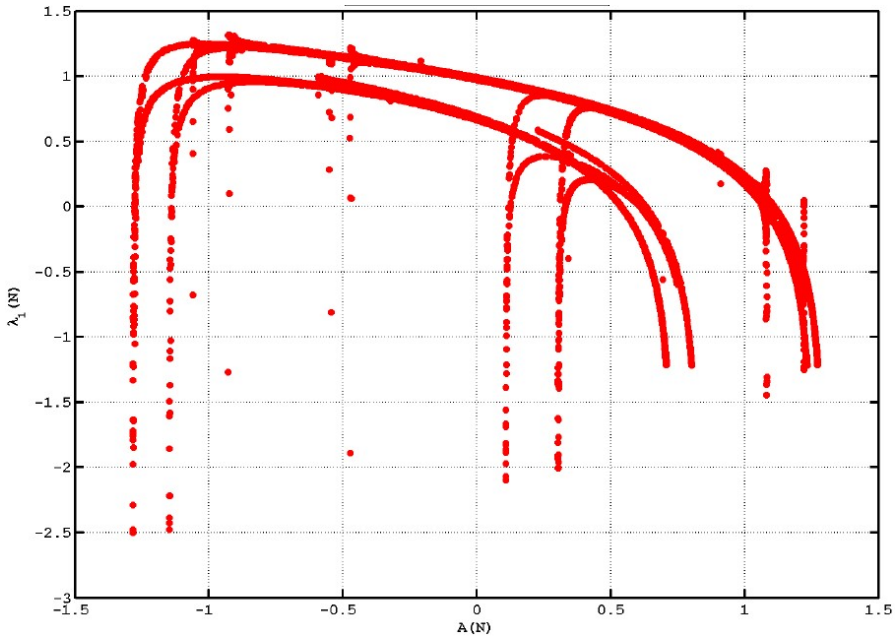


Рисунок 5 – Графік залежності локальних значень $\lambda_1(N)$ від координат ***A*** рішення системи (1)
Figure 5 – The graph to dependencies of local Lyapunov exponents $\lambda_1(N)$ from the coodinats ***A*** system (1) solutions

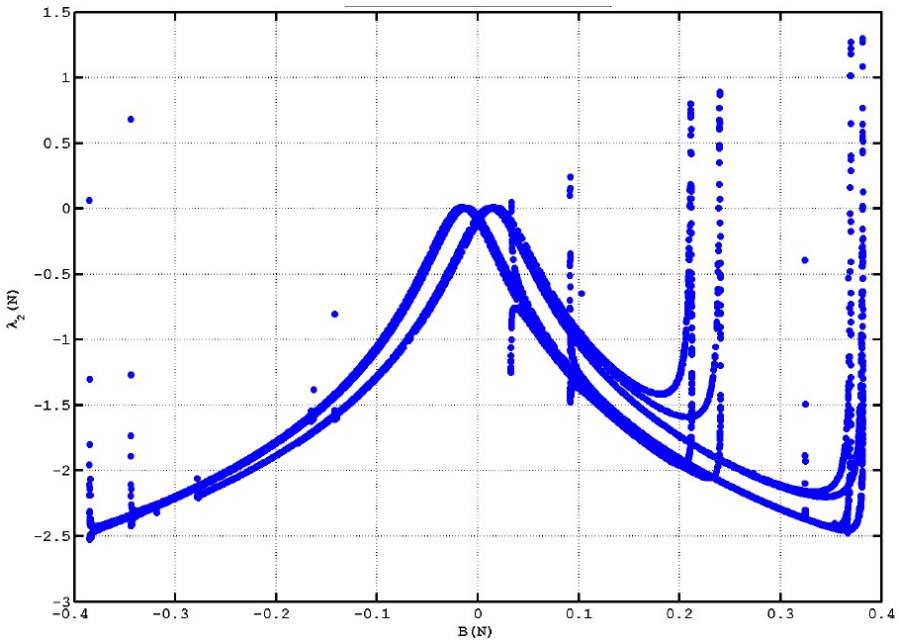


Рисунок 6 – Графік залежності локальних значень $\lambda_2(N)$ від координат ***B*** рішення системи (1)
Figure 6 – The graph to dependencies of local Lyapunov exponents $\lambda_2(N)$ from the coodinats ***B*** system (1) solutions

Далі виконували відповідне число ітерацій (10000)з метою усунення перехідних явищ. Наступні 10000 ітерацій проводили для знаходження рішення та показників Ляпунова системи (2).

Використовувався QR-метод.

В цьому зв'язку необхідно було також попередньо знайти "матрицю Якобі" часткових похідних для системи (2) у аналітичному вигляді.

Для системи (2) "матриця Якобі" має вигляд

$$J = \begin{bmatrix} k\emptyset 1 & k\emptyset 2 \cdot sign(B) \\ k\emptyset 2 \cdot sign(A) & k\emptyset 1 \end{bmatrix}.$$

Вид хаотичного аттрактора системи (2) наведений на рис.7. Візуально аттрактор системи схожий на хаотичний, однак при цьому займає істотно більшу площину простору, ніж аттрактор системи (1).

Однак висновки про хаотичність даного аттрактора можуть бути зроблені лише при знаходженні двох відповідних показників Ляпунова, оскільки кількість показників повинна дорівнювати числу динамічних змінних системи.

У даному випадку QR-метод дає слідуючий результат: $\lambda_1 = +\emptyset.4073$ та $\lambda_2 = +\emptyset.3923$.

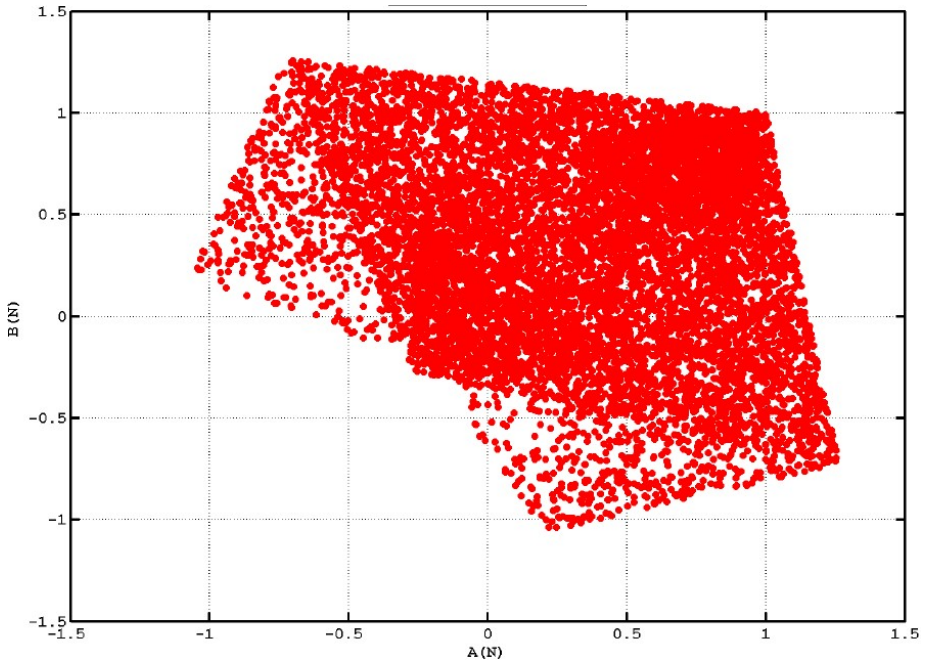


Рисунок 7 – Хаотичний аттрактор для системи (2)
Figure 7 – Chaotic attractor for system (2)

На відміну від попереднього прикладу, в системі (2) присутні два додатних показника Ляпунова. Відповідно, висновок про хаотичність вже можливо зробити, знаючи "старший показник" λ_1. Виконання одночасно умов $\lambda_1 > 0$ та $\lambda_2 > 0$ свідчить про гіперхаотичність поведінки системи (2).

Зазначимо, що у загальному випадку динамічна система може мати не один аттрактор. Вихід на той або інший аттрактор буде залежати від початкових умов системи.

На рис. 8 маємо графік ряду локальних значень для λ_1 системи (2).

Як видно, не один із локальних показників λ_1 не приймає від'ємних або навіть нульових значень. При цьому всі локальні значення λ_1 більше значення $+\emptyset.2$.

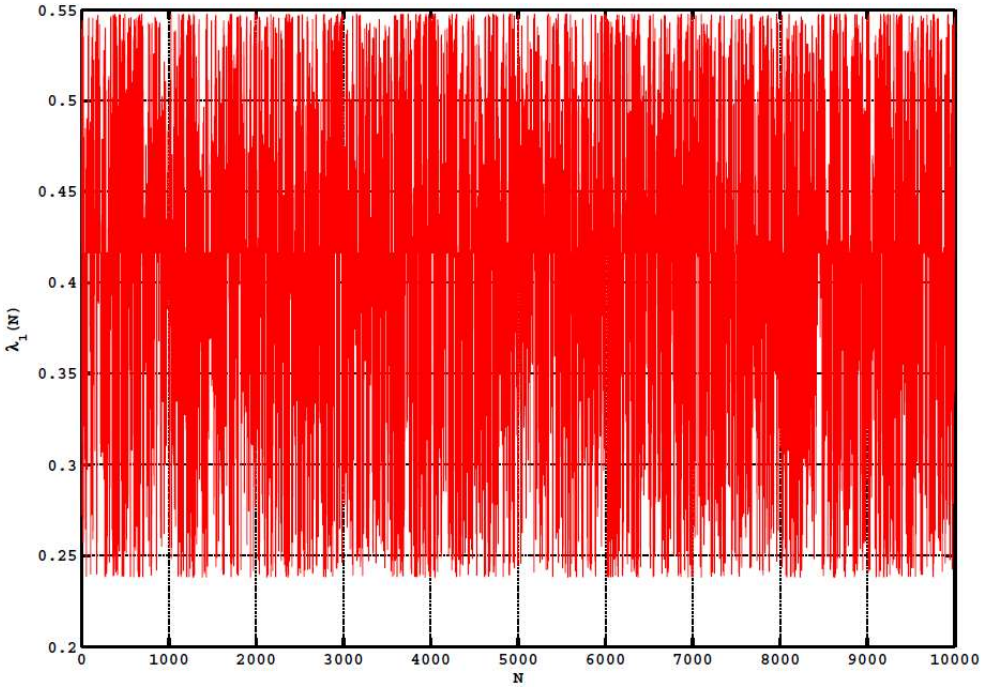


Рисунок 8 – Ряд локальних значень $\lambda_1(N)$ для системи (2)

Figure 8 – The series of local Lyapunov exponents $\lambda_1(N)$ for system (2)

Визначені локальні значення λ_2 також більше величини $+\emptyset.2$.

Таким чином, із позицій поведінки рядів локальних показників λ_1 та λ_2, система (2) та система (1) – це якісно різні системи.

На рис.9 приведена гістограма розподілення показників $\lambda_1(N)$ системи (2). Як видно із рисунку, переважна більшість локальних показників λ_1 практично сконцентрована біля одного значення.

Це також певним чином свідчить про якісну відмінність систем (1) та (2).

Подібний вид графіка також притаманний залежності λ_2.

Графік на рис. 10 ілюструє залежність локальних значень λ_1 від координати *A* рішення (2). На рисунку чітко видно горизонтальну лінію, яка відповідає піку на гістограмах.

Наведені вище рисунки демонструють якісні відмінності у поведінці систем (1) та (2) із позицій локальних показників Ляпунова.

Класифікація хаотичних каскадних систем

Розглянута вище поведінка систем (1) та (2) – це тільки один з типів поведінки хаотичних каскадних систем.

На базі попередньо проведених досліджень вперше був запропонований поділ хаотичних каскадних систем на два класи.

З метою спрощення класифікацію можливо розглядати також на основі тільки значень старших "глобальних" показників Ляпунова.

Клас I має позитивний старший "глобальний" показник Ляпунова.

При цьому локальні старші показники можуть приймати як нульові, так і негативні значення.

Клас II має позитивний старший "глобальний" показник.

Всі локальні старші показники Ляпунова можуть приймати тільки позитивні значення.

Як відомо, одна з головних задач в екології – це задача прогнозування (екологічного прогнозування). На базі теорії хаотичної динаміки розроблено достатнє число практичних методів прогнозування хаотичних часових рядів.

Слід зазначити, що хаотичні часові ряди можуть адекватно прогнозуватись тільки на певне число кроків вперед (на так званий "горизонт прогнозованості").

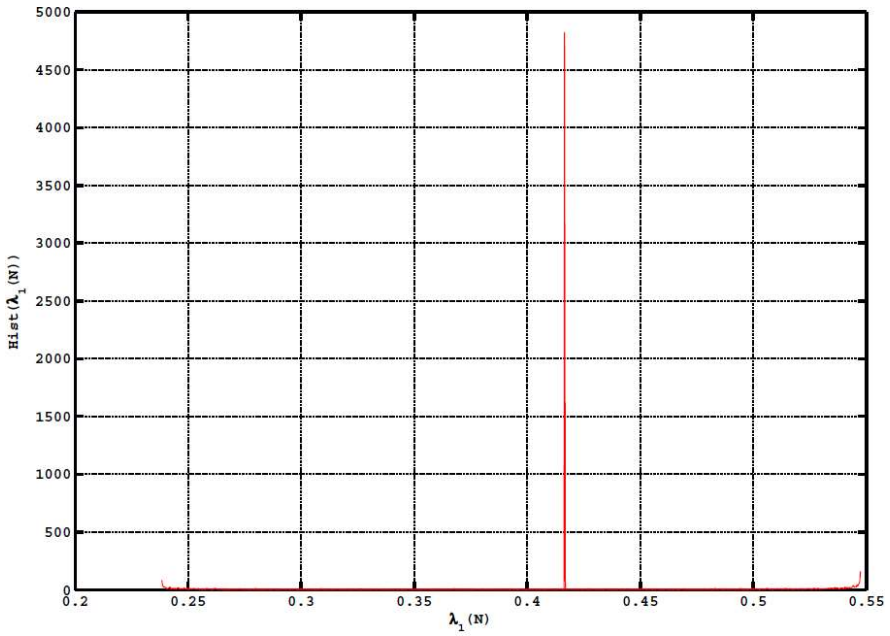


Рисунок 9 – Гістограма для ряду локальних значень $\lambda_1(N)$ системи (2)
Figure 9 – The histogram for series of local Lyapunov exponents $\lambda_1(N)$ for system (2)

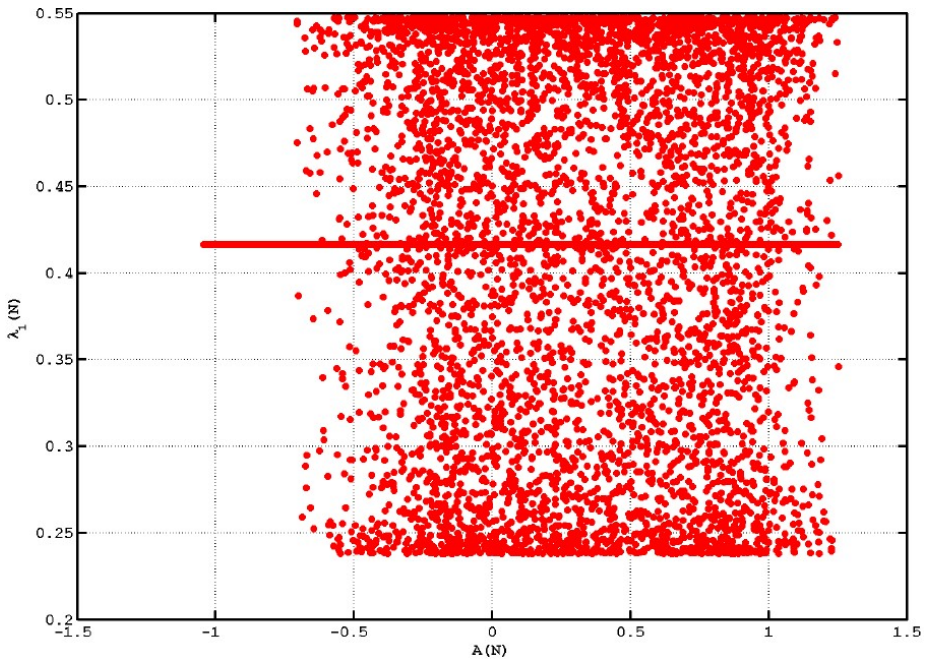


Рисунок 10 – Графік залежності локальних значень $\lambda_1(N)$ від координат ***A*** рішення системи (2)
Figure 10 – The graph to dependencies of local Lyapunov exponents $\lambda_1(N)$ from the coodinats ***A*** system (2) solutions

Динамічні системи класу I прогнозуються з достатньою для практики точністю на 10, або навіть більше кроків (точок) вперед [9]. Такі системи переважно обговорюються та аналізуються у відповідній науковій літературі.

При цьому практично не згадується про можливість прогнозування хаотичних динамічних систем класу II.

У даному досліджені вперше показано, що існує цілий клас детерміновано-хаотичних рядів, які неможливо адекватно спрогнозувати навіть на один крок (одну точку) вперед.

Це хаотичні системи класу II.

Слід відмітити також тонкощі, які існують при визначенні "глобальних" показників Ляпунова для систем класу II. Так, при використанні QR-метода можливо визначати "матрицю Якобі" не тільки статично (див. вище), але також і динамічно, коли сама програма в процесі її роботи формує цю матрицю за певними правилами.

"Динамічне" формування "матриці Якобі", очевидно, виправдовує себе при використанні багатовимірних динамічних систем, тобто коли число змінних буде більше, ніж 3 … 4.

При цьому для систем класу II існує велика різниця в тому, як була сформована сама "матриця Якобі". При різних способах формування матриці задіяно значне число операцій із "плаваючою крапкою" , що для систем з хаотичною динамікою може призводити до відповідних негативних наслідків.

Тому при знаходженні "глобальних" показників Ляпунова у більшості подібних програм (алгоритмів) слід використовувати метод "подвійного усереднення", що частково усуває ці наслідки.

В результаті проведених досліджень одержані принципово нові результати, які раніше не знайшли свого відображення у літературі.

Висновки

1.Розроблена класифікація хаотичних каскадних систем.

2.Пропонується всі каскадні хаотичні системи поділити на два класи.

Клас I, де локальні старші показники можуть приймати як позитивні, так і негативні величини (при істотно позитивному "глобальному" старшому показнику Ляпунова).

Клас II, де "глобальні" та локальні старші показники можуть приймати тільки позитивні величини.

3.Аналізуються властивості деяких представників класу I та класу II.

4.Розглянуті проблеми, що виникають при визначенні глобальних показників Ляпунова числовими методами. Запропоновані шляхи подолання цих проблем.

5.Приведені можливості екологічного прогнозування при використанні моделей класу I та класу II. Встановлено, що прогнозування при використанні моделей класу II виявляється практично неможливим (навіть на один крок вперед).

Перелік посилань

1. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. М.: Наука, 1987. – 424 с.
2. Henon M.A two – dimensional mapping with a strange attractor. Commun path Phys.50, – 1976, 69-77.
3. Geist K., Parlitz U., Lantenborn W. Comparison of Different methods for Compating Lyan/ enovxponents. – Progress of theoretical physics, Vol.83, №5, May 1990, 875-893.
4. Von Bremen H., Udwadia F.E., Proskurowski W. An efficient QR based method for the computation of Lyapunov exponents. Physica D, 101, 1997, 1-16.
5. Ziehmann C., Smith L.A., Kurths J. The bootstrap and Lyapunov exponents in deterministic chaos. Physica D, 126, 1999, 49-59.
6. Артеменко В.А., Петрович В.В. Нова концепція хемометрики. – Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-117-132, вип. 113. –Київ, 2023. С.118-133.

7. Wolf A., Swift J.B., Swinney H.L., Vastano J.A. Determining Lyapunov exponents from a time series. Physica 16D, 1985, 285-317.

8. Rosenstein M.T., Collins J.J., De Luca C. A practical method for calculating largest Lyapunov exponents from small data sets. Physica D, 16, 1993, 117-134.

9. 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.

THE CATEGORIZATION OF THE CHAOTIC MAPS WITH STANDPOINT OF THE ECOLOGIES

Artemenko Vladuslav A., *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

Petrovych Volodymyr V., 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. At present in ecologies for mathematical models use the systems of chaotic maps. Presence deterministic (dynamic) chaos in such systems define with positions of the global largest Lyapunov exponent λ_1. The chaos is present when $\lambda_1 > 0$ (when execution of some additional conditions).

When performing the studies for finding of the spectrum global and local Lyapunov exponent was used QR-method.

Using QR-method were organized studies of the large number of chaotic maps however in article as example are considered only two such maps. When undertaking the studies was found that als such chaotic maps possible to refer to two classes (the class I and class II).

Systems from class I have a positive largest global Lyapunov exponent. Herewith local largest Lyapunov exponents can take zero and negative values.

The systems from class II also have a positive global largest Lyapunov exponent.

However chaotic maps from class II have only positive values for local largist Lyapunov exponents. The study of the large number of the chaotic maps from class I and from class II has shown that majority maps from class II it is impossible adequately forecast with the help of the known presently methods of the forecasting (even on one point ahead). That is to say if ecological model is based on chaotic maps from class II that forecast in most cases not possible. For possibility of the adequate forecast it is necessary to use the ecological models built on base of the chaotic maps from class I.

The purpose of the undertaking the scientific studies.

The purpose of the studies consisted in creation to principal new categ0rizatiom of the chaotic maps.

The purpose of the studies consisted in that to show that exists two classes of such chaotic maps (the class I and II), from which maps of the class II it is impossible forecast when use known an present time methods of the forecasting.

Keywords: deterministic chaos in ecology, local and global Lyapunov exponents, QR-method for determining the Lyapunov exponents spectrum, classification of the chaotic maps.

References

1. Neymark Y.I., Landa P.S. Stokhasticheskiye i khaoticheskiye kolebaniya. M.: Nauka, 1987. – 424 s.
2. Henon M.A two – dimensional mapping with a strange attractor. Commun. Phys.50, – 1976, 69-77.

3. Geist K., Parlitz U., Lantenborn W. Comparison of different methods for Compating Lyapunov exponents. – Progress of theoretical physics, Vol.83, №5, May 1990, 875-893.

4. Von Bremen H., Udwadia F.E., Proskurowski W. An efficient QR based method for the computation of Lyapunov exponents. Physica D, 101, 1997, 1-16.

5. Ziehmann C., Smith L.A., Kurths J. The bootstrap and Lyapunov exponents in deterministic chaos. Physica D, 126, 1999, 49-59.

6. Artemenko V.A., Petrovych V.V. Nova kontseptsiya khemometryky. – Avtomobil′ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo, vyp. 113. –Kyiv, 2023. S.118-133.

7. Wolf A., Swift J.B., Swinney H.L., Vastano J.A. Determining Lyapunov exponents from a time series. Physica 16 D, 1985, 285-317.

8. Rosenstein M.T., Collins J.J., De Luca C. A practical method for calculating largest Lyapunov exponents from small data sets. Physica D, 16, 1993, 117-134.

Artemenko V.A., Petrovych V.V. Pro prohnozovanist′ hidrolohichnykh chasovykh ryadiv. – Avtomobil′ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo, vyp. 111. –Kyiv, 2022. S.126-132.

УДК 502/504 + 656.1/.5
UDC 502/504 + 656.1/.5

DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-142-150

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА ДОВКІЛЛЯ

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE ROAD TRANSPORT IMPACT ON THE ENVIRONMENT



***Лук'янова Віталіна Віталіївна**, кандидат хімічних наук, доцент, старший науковий співробітник відділу ядерно-фізичних технологій, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», м. Київ, Україна, e-mail: vitalina_lk@i.ua, тел. +380677985533,*

https://orcid.org/0000-0001-8964-3560



***Лисак Роксолана Станіславівна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e- mail: lysakroksolana@gmail.com, тел. +380979756341,*

https://orcid.org/0000-0002-2776-5623



***Соловйова Любов Маратівна**, кандидат історичних наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, Україна, e- mail: solovyova_lm@gsuite.duit.edu.ua, тел. +380675850969,*

https://orcid.org/0000-0002-9559-6104



***Сорочинська Олена Леонідівна**, кандидат історичних наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, Україна, e- mail: sorochynska_ol@gsuite.duit.edu.ua , тел. +380677626178,*

https://orcid.org/0000-0003-2477-1275

Анотація. Оцінка впливу на навколишнє природне середовище автомобільного транспорту є серйозною проблемою, яка потребує негайного вирішення. Інтенсивний розвиток автомобільного транспорту пов'язаний зі збільшенням антропогенного навантаження на навколишнє середовище у вигляді вихлопних газів, які містять понад 200 забруднюючих речовин, утворення відходів, забруднення водних об'єктів та ґрунтів. Ця проблема стосується не лише екологічної оцінки стану міст та населених пунктів, а й оцінки стану міжміських доріг, автошляхів, які проходять через природні зони та природоохоронні території. Особливо гостро ця проблема стоїть в індустріально насичених центрах і великих містах України. У зв'язку з цим актуалізуються питання вдосконалення методів оцінки впливу транспортних засобів на навколишнє середовище з метою пошуку резервів зниження еколого-економічного збитку, що наноситься біосфері. Оцінка впливу на довкілля, що здійснюються відповідно до державних законодавчих актів, є складовими системи екологічної оцінки. В роботі показано, що при оцінці впливу на довкілля автомобільного транспорту слід враховувати повний життєвий цикл автотранспортного засобу. Тому, в роботі було проведено дослідження життєвого циклу автомобіля від видобутку корисних копалин до утилізації автотранспортного засобу та оцінено його вплив на довкілля. Оцінка виробничих процесів та продукції за повний життєвий цикл автомобіля є дуже складною, так як пов'язана зі збором інформації про багато виробничих процесів, що протікають, в тому числі і за межами підприємства. Слід відмітити, що інформація, отримана при оцінці автомобільного засобу за повний життєвий цикл, дозволяє винайти шляхи вдосконалення конструкції автомобіля та технологічних процесів його виробництва, а також зменшити негативний вплив на довкілля. Тому, в роботі було визначено основні параметри та фактори впливу на довкілля автомобільного транспорту. Розглянуто можливі математичні моделі впливу автомобільного транспорту на довкілля, зокрема на гідросферу.

Ключові слова: автомобільний транспорт, життєвий цикл автомобіля, вплив на довкілля

Вступ. Автомобільний транспорт є невід'ємною частиною життя сучасного суспільства. Автомобілі забезпечують людей та товари необхідним транспортним зв'язком. Але на жаль, разом із зручністю автомобілів приходить і їх негативний вплив на навколишнє природне середовище [1-3]. Актуальним є питання оцінки впливу автомобільного транспорту на довкілля. Особливо актуальним постало це питання з моменту впровадження європейського законодавства в Україні.

Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» (далі – Закон про ОВД) [4] почав діяти з грудня 2017 року разом з відкритим Єдиним реєстром. Необхідність прийняття цього Закону була зумовлена міжнародними зобов'язаннями України, які випливають з Протоколу про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства та Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, Конвенції про доступ до інформації, Конвенції про оцінку впливу на довкілля у транскордонному контексті. Впровадження цього Закону має на меті забезпечення, того щоб проєкти, плани і програми, які можуть мати значні наслідки для довкілля, проходили оцінку, та, відповідно сприятиме зменшенню негативного впливу на довкілля. Практичне застосування Закону про ОВД призвело до необхідності внесення до нього змін у поєднанні з впровадженням додаткових інструментів.

Тому, з метою наближення до європейських стандартів, а саме контролю ступеня забруднення довкілля та забезпечення права громадян на безпечне навколишнє середовище, існує необхідність оцінки впливу на довкілля автомобільного транспорту та методів і підходів до їх кількісного визначення [5, 6].

Метою роботи є визначення основних параметрів та факторів впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні **задачі**: провести аналіз життєвого циклу автомобіля на навколишнє середовище; визначити етапи життєвого циклу автомобілебудування та надати їх характеристику; визначити математичну модель впливу автомобільного транспорту на довкілля та описати її за допомогою різних параметрів та факторів.

Для дослідження використані **методи** теоретичного й емпіричного дослідження, основними з яких є системний підхід, методи аналізу та синтезу (порівняння, аналогія, абстрагування, формалізація, класифікація).

Виклад основного матеріалу дослідження і отриманих результатів.

Автомобільна промисловість та автомобільний транспорт є основними споживачами енергії, природних ресурсів і одним з основних джерел забруднення атмосферного повітря (рис. 1). Особливо велика роль автомобільного транспорту в забрудненні атмосфери міст, що становить 60-80% у великих містах. До недавнього часу шкідливий вплив автомобілів на навколишнє середовище і людину оцінювалося в основному на етапі експлуатації по викиду шкідливих речовин з вихлопними газами.

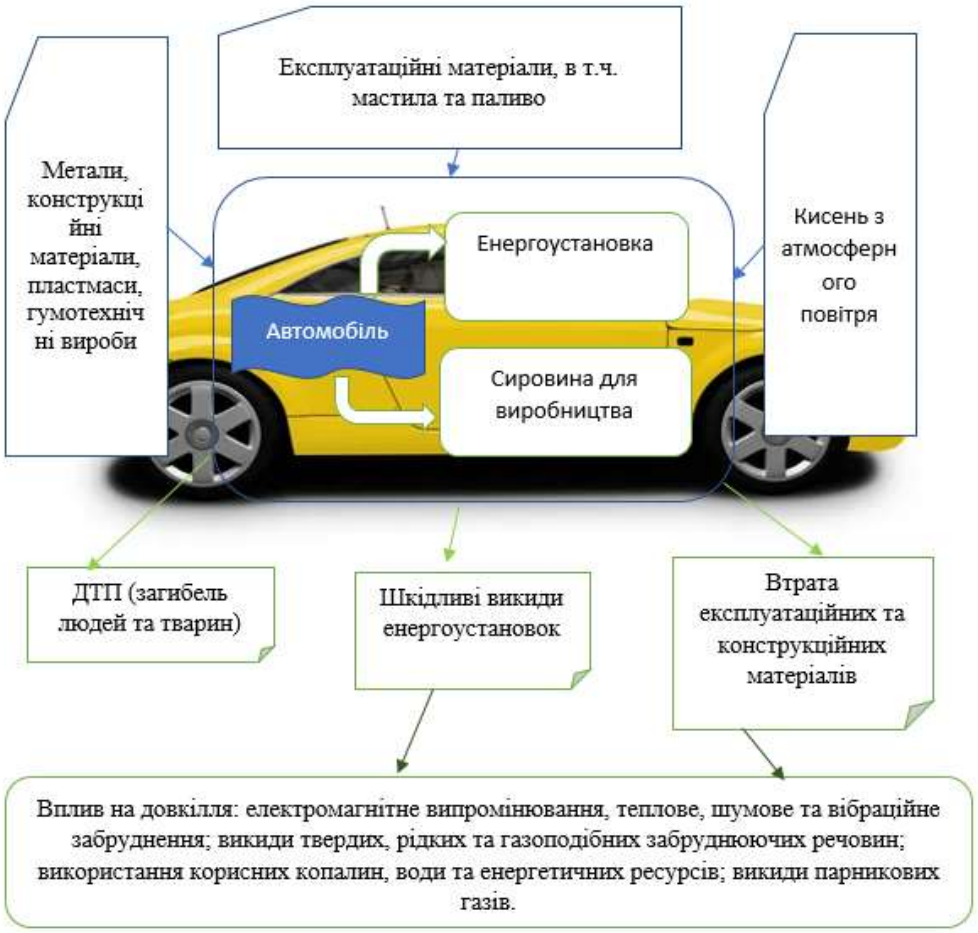


Рисунок 1 – Вплив автомобіля на довкілля
(створено авторами на основі джерел [1-3, 7, 10-12]).
Figure 1 – Impact of the car on the environment
(created by the authors based on sources [1-3, 7, 10-12]).

Викиди газів від автомобілів, таких як вуглекислий газ, оксиди азоту та сірки, метан та інші, негативно впливають на якість повітря у зоні дії автотранспорту та його забруднення [7]. Це може мати негативний вплив на здоров'я людей, особливо на тих, хто має проблеми з дихальною системою. Викиди автотранспорту також сприяють глобальному потеплінню, яке може призвести до зміни клімату та природних катастроф.

Крім того, автотранспорт також є джерелом шуму [8], який може бути шкідливим для здоров'я людей та тварин, що живуть в зоні дії автотранспорту. Великі потоки автомобілів можуть також мати негативний вплив на водні ресурси та ґрунт, особливо якщо дороги пролягають через природні зони, такі як ліси чи болота.

Ще однією проблемою, пов'язаною з автомобільним транспортом, є забруднення гідросфери [9] та ґрунту. Розливи нафти та інших шкідливих речовин можуть спричинити серйозне забруднення водних ресурсів, що може мати негативний вплив на тваринний та рослинний світ. Також забруднення ґрунту може спричинити загибель рослин та інших організмів, порушення функціонування екосистем.

На сьогодні актуальним є системний підхід до життєвого циклу автомобіля. Тому, актуальним є дослідження етапів життєвого циклу автомобілебудування. Систематизація життєвого циклу процесів автомобілебудування – це організація та управління процесами виробництва автомобілів, яка базується на стандартах та методологіях управління якістю. Цей цикл складається з кількох етапів (рис. 2):



Рисунок 2 – Етапи життєвого циклу процесів автомобілебудування
Figure 2 – Stages of the life cycle of automobile manufacturing processes

Розглянемо кожен етап життєвого циклу автомобіля більш детально (табл. 1).

Таблиця 1 – Характеристика етапів життєвого циклу автомобіля.
Table 1 – Characteristics of car life cycle stages.

Етап	Характеристика, опис
Розробка проєкту автомобіля	на цьому етапі визначаються технічні вимоги до автомобіля, проводиться розробка концепції, проєктування та тестування прототипу.
Виробництво автомобіля	етап включає в себе видобування корисних копалин, закупівлю матеріалів та комплектуючих, виробництво деталей, збірку автомобіля та його тестування.
Експлуатація автомобіля	етап починається з продажу автомобіля та його передачі в руки споживача. Експлуатація автомобіля включає в себе періодичне технічне обслуговування та ремонт, які забезпечують безпеку та надійність роботи автомобіля.
Рециклінг автомобіля	цей етап включає в себе збір та переробку старих автомобілів з метою повторного використання матеріалів та комплектуючих.

У кожному з цих етапів важливо забезпечити високу якість продукції та процесів виробництва. Для цього використовуються різні методи та стандарти управління якістю, такі як ISO 9001, Six Sigma та Lean Manufacturing. Окрім того, на кожному етапі проводяться контрольні дії, які дозволяють вчасно виявляти та виправляти можливі невідповідності до вимог якості та безпеки.

Математичну модель впливу автомобільного транспорту на довкілля можна описати за допомогою різних параметрів та факторів. Основні параметри, які можуть впливати на довкілля, включають кількість автомобілів, що проходять по дорогах, склад вихлопних газів, рівень шуму та інші фактори.

Одна з можливих математичних моделей впливу автомобільного транспорту на довкілля може мати такий вигляд (1):

$$\text{Вплив} = \text{f}(\text{К}, \text{С}, \text{Ш}, \text{Д}), \quad (1)$$

де

- К- кількість автомобілів, що проходять по дорогах;
- С- склад вихлопних газів;
- Ш - рівень шуму;
- Д- показник забруднення ґрунту.

Вираз $\text{f}(\text{К}, \text{С}, \text{Ш}, \text{Д})$ – це функція, яка відображає взаємозв'язок між кількістю автомобілів, складом вихлопних газів, рівнем шуму та показником забруднення ґрунту на вплив на довкілля. Цю функцію можна побудувати на основі збору статистичних даних та наукових досліджень про вплив автомобільного транспорту на довкілля. За допомогою такої математичної моделі можна досліджувати вплив автомобільного транспорту на довкілля та визначати оптимальні способи його зменшення.

Також при оцінці впливу на довкілля автомобільного транспорту слід враховувати параметри та фактори його впливу на гідросферу [9, 13, 14]. Існує багато параметрів впливу автомобільного транспорту на гідросферу, деякі з найбільш значущих параметрів наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Параметри впливу автомобільного транспорту на гідросферу.
Table 2 – Parameters of the road transport impact on the hydrosphere.

Параметр	Характеристика
Кількість автомобілів	кількість автомобілів, що пересуваються по дорогах, може впливати на якість води в гідросфері через забруднення води від викидів відпрацьованих газів та інших викидів з автомобілів.
Вміст забруднюючих речовин у викидах	різні речовини, такі як мастильні матеріали, палива, антифриз та інші хімічні речовини, які можуть знаходитися в викидах з автомобілів, негативно впливають на якість води в гідросфері
Швидкість та потік руху транспорту	швидкість руху транспорту може впливати на швидкість води в джерелі та різних потоках, що впливає на розподіл забруднення та може збільшувати його концентрацію.
Системи очищення стоків	наявність та ефективність систем очищення стоків може впливати на кількість забруднень, що потрапляють в гідросферу.
Тип дорожнього покриття	тип дорожнього покриття, такий як бетон або асфальт, може впливати на затримання води та зменшення проникання в ґрунт, що може призводити до забруднення води в гідросфері.

До основних факторів впливу автомобільного транспорту на гідросферу можна віднести:

1. Викиди відпрацьованих газів – можуть містити багато різних забруднюючих речовин, таких як оксиди вуглецю, оксиди азоту та інші хімічні речовини, які можуть погіршувати якість повітря та опадів, які потім потрапляють до водойм.

2. Руйнування доріг та мостів – може призводити до потрапляння відходів та інших матеріалів у річки та інші водні об'єкти.

3. Розливи паливних матеріалів – випадкове проливання палива з автомобілів на дорогах, виливи паливних матеріалів під час їх транспортування або під час військових дій може призводити до забруднення водних екосистем.

4. Розвиток інфраструктури – будівництво доріг та мостів може призводити до зміни стоків водних потоків, що може вплинути на якість води в гідросфері.

Користуючись цими параметрами та факторами можна створити математичну модель впливу автомобільного транспорту на гідросферу, яка допоможе визначити найбільш ефективні способи зменшення негативного впливу автомобільного транспорту на водні ресурси. Одна з можливих математичних моделей може мати такий вигляд (2):

$$\text{Вплив} = f(К, М, Q) \quad (2)$$

де

- К – кількість автомобілів, що пересуваються по дорогах;
- М – кількість витоків мастильних матеріалів та інших речовин у водні джерела;
- Q – якість води в гідросфері.

Таким чином, вираз $f(К, М, Q)$ – це функція, яка відображає взаємозв'язок між кількістю автомобілів, кількістю витоків мастильних матеріалів та інших речовин у водні джерелах та якістю води в гідросфері.

Висновки та рекомендації

На нашу думку, існує комплекс заходів, спрямованих на зменшення негативного впливу автомобільної промисловості на природне середовище. Деякі з них:

1. Використання екологічно чистих матеріалів: виробництво автомобілів вимагає значної кількості ресурсів та енергії, тому використання екологічно чистих матеріалів (в тому числі вторинних), може зменшити негативний вплив на природне середовище.

2. Використання альтернативних джерел енергії: автомобілі з електричними двигунами та гібридні автомобілі зменшують залежність від палива нафтового походження та знижують кількість викидів шкідливих речовин.

3. Впровадження технологій енергозбереження: застосування технологій, таких як рекуперація енергії під час гальмування, може зменшити споживання палива та енергії.

4. Підтримка масового використання громадського транспорту: підтримка громадського транспорту та збільшення його доступності може зменшити кількість автомобілів на дорогах та відповідно зменшити викиди шкідливих речовин.

5. Використання екологічно чистих палив: використання біопалив, водню та інших екологічно чистих палив може зменшити викиди шкідливих речовин у повітря.

6. Розробка більш ефективних та екологічних двигунів: розробка більш ефективних та екологічних двигунів може зменшити кількість палива, необхідного для роботи автомобіля, та відповідно знизити викиди шкідливих речовин.

Перелік посилань

1. Забишний Я. О., Семчук Я. М., Долішній Б. В., Мельник В. М. Про дослідження параметрів транспортних потоків та їх вплив на довкілля. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. № 1(13), 2016. С. 92–101. https://ebzr.nung.edu.ua/index.php/ebzr/article/view/212

2. Прохорова, Л. А., Непша, О. В., Зав'ялова, Т. В. Заходи по зниженню впливу автотранспорту на довкілля міста Мелітополь. Регіональні проблеми України: географічний аналіз та пошук шляхів вирішення: матеріали VIII Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю, (м. Херсон, 3-4 жовтня 2019 р.). Херсон, 2019. С. 205-207.

3. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19

4. O. Trofymchuk, V. Khrutba, Y. Anpilova, V. Lukianova, O. Barabash Development of criteria of impact of the transportation facilities projected construction, exploitation, maintenance and reconstruction activities on the environment. Conference Proceedings, 15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Nov 2021, Volume 2021, p.1 – 5 https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2042

5. Victoriia Khrutbaa, Larysa Globa, Vitalina Lukianovaa, and Yevheniia Anpilova. Application of a Multi-Criteria Optimisation Method for Road Reconstruction Projects to Assess the Environmental Impact. Modern Information Technologies for Environmental Safety Management, Nature Management, Emergency Measures. CEUR Workshop Proceedings, October 7, 2021, 3021- p.87-104

6. Петровська М., Морквич В. Аналіз впливу автотранспорту на забруднення атмосферного повітря перехресть вулиць Львова монооксидом карбону. Вісник Львівського університету. Серія географічна. 2014. Випуск 47. С. 217–223 https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2015/02/visnyk-47_2014.pdf

7. Thakre Ch., Laxmi V., Vijay R., Deepak J. Killedar, Kumar R. Traffic noise prediction model of an Indian road: an increased scenario of vehicles and honking. Environmental Science and Pollution Research volume 27, 2020. pages38311–38320. https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-09923-6

8. Lukianova, V., Anpilova, Y., Trofymchuk, O. Environmental Safety of Motor Transport Enterprises within Urban Areas. Journal of Ecological Engineering, 2020. 21(4), pp. 231-236. https://doi.org/10.12911/22998993/119799

9. Шелудченко Л.С., Поліщук Д.В. Екологічна оцінка шумового забруднення міста, спричиненого діяльністю автотранспортних засобів і стаціонарних джерел. Екологічні науки : науково-практичний журнал. К. : ДЕА, 2018. № 4(23). С.10-13. DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716-2018-4-23-2

10.Chuanwang Sun, Shuhua Xu, Mian Yang, Xu Gong Urban traffic regulation and air pollution: A case study of urban motor vehicle restriction policy. Energy Policy, Volume 163, April 2022. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112819

11.Коник Ігор, Масьонков Олег, Вовк Юлія. Аналіз існуючих методів дослідження впливу автомобільного транспорту на довкілля. Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання: тези доповідей. Національний університет «Львівська політехніка», 28 – 30 березня 2019 року, С. 105-106. https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/268c7be4-8150-419b-9a40-4f4189ac1ad9/content

12.Babaev, A. M. The innovative security of sustainable development ecological and economic system. Theoretical & Applied Science. 51(07), 2017. 62–66. https://doi.org/10.15863/tas.2017.07.51.11

13.Славін В.В., Томаш В.В. Зниження шкідливого впливу автомобілів на оточуюче середовище. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. № 6, 2018. С. 162 – 163.

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE ROAD TRANSPORT IMPACT ON THE ENVIRONMENT

Lukianova Vitalina V., Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, SI «Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine», Senior Researcher, Department Of Nuclear Physics, e-mail: vitalina_lk@i.ua, tel. +380677985533, https://orcid.org/0000-0001-8964-3560

Lysak Roksolana S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Ecology and Environmental Protection Technologies Department, e-mail: lysakroksolana@gmail.com, tel. +380979756341, https://orcid.org/0000-0002-2776-5623

Soloviova Liubov M., Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, State University of Infrastructure and Technology, Associate Professor of the Department of Ecology and Life Safety, e-mail: solovyova_lm@gsuite.duit.edu.ua, tel. +380675850969, https://orcid.org/0000-0002-9559-6104

Sorochynska Olena L., Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, State University of Infrastructure and Technology, Associate Professor of the Department of Ecology and Life Safety, e-mail: sorochynska_ol@gsuite.duit.edu.ua, tel. +380677626178, https://orcid.org/0000-0003-2477-1275

Abstract. Environmental impact assessment of road transport is a serious problem that needs an immediate solution. Intensive development of road transport is associated with an increase in anthropogenic load on the environment in the form of exhaust gases containing more than 200 pollutants, waste generation, pollution of water bodies and soils. This problem concerns not only the environmental assessment of the state of cities and settlements, but also the assessment of the state of intercity roads, roads passing through natural areas and protected areas. This problem is especially acute in industrially saturated centers and large cities of Ukraine. In this regard, the issues of improving methods for assessing the impact of vehicles on the environment are being actualized in order to find reserves for reducing the ecological and economic damage to the biosphere. Environmental impact assessments carried out in accordance with state legislation are components of the environmental assessment system. The paper shows that when assessing the environmental impact of road transport, the full life cycle of a motor vehicle should be taken into account. Therefore, the work conducted a study of the life cycle of a car from mining to utilization of a motor vehicle and assessed its impact on the environment. Evaluation of production processes and products for the full life cycle of a car is very difficult, as it is associated with the collection of information about many production processes taking place, including outside the enterprise. It should be noted that the information obtained when assessing a vehicle for the full life cycle allows us to invent ways to improve the design of the car and technological processes of its production, as well as reduce the negative impact on the environment. Therefore, the work identified the main parameters and factors influencing the environment of road transport. Possible mathematical models of the impact of road transport on the environment, in particular on the hydrosphere, are considered.

Key words: road transport, vehicle life cycle, environmental impact

References

1. Zabyshnyi, Y. O., Semchuk, Y. M., Dolishniy, B. V., & Melnyk, V. M. Pro doslidzhennia parametriv transportnykh potokiv ta yikh vplyv na dovkillia (On the research of the parameters of transport flows and their impact on the environment). Ecological Safety and Balanced Use of Resources, 1(13), 2016. S/ 92–101. Retrieved from https://ebzr.nung.edu.ua/index.php/ebzr/article/view/212 [in Ukrainian].

2. Prokhorova, L. A., Nepsha, O. V., Zavialova, T. V. Zakhody po znyzhenniu vplyvu avtotransportu na dovkillia mista Melitopol. Rehionalni problemy Ukrainy: heohrafichnyi analiz ta poshuk shliakhiv vyrishennia: materialy VIII Vseukr. nauk.-prakt. konf. z mizhnar. uchastiu (Measures to reduce the impact of motor vehicles on the environment of the city of Melitopol. Regional problems of Ukraine: geographical analysis and search for solutions: materials of VIII All-Ukrainian. Science and practice conf. from international participation). (m. Kherson, 3-4 zhovtnia 2019 r.). Kherson, 2019. S. 205-207 [in Ukrainian].

3. Pro otsinku vplyvu na dovkillia: Law of Ukraine of 23.05.2017 № 2059-VIII // Database of Legislation of Ukraine / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19 [in Ukrainian].

4. O. Trofymchuk, V. Khrutba, Y. Anpilova, V. Lukianova, O. Barabash Development of criteria of impact of the transportation facilities projected construction, exploitation, maintenance and reconstruction activities on the environment. Conference Proceedings, 15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Nov 2021, Volume 2021, p.1 – 5 https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2042

5. Victoriia Khrutbaa, Larysa Globa, Vitalina Lukianovaa, and Yevheniia Anpilova. Application of a Multi-Criteria Optimisation Method for Road Reconstruction Projects to Assess the Environmental Impact. Modern Information Technologies for Environmental Safety Management, Nature Management, Emergency Measures. CEUR Workshop Proceedings, October 7, 2021, 3021- p.87-104

6. Petrovska M., Morkvych V. Analiz vplyvu avtotransportu na zabrudnennia atmosfernoho povitria perekhrest vulyts Lvova monooksydom karbonu (Analysis of the influence of motor vehicles on the atmospheric air pollution of Lviv street intersections with carbon monoxide). Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriia heohrafichna. 2014. Vypusk 47. S. 217–223 https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2015/02/visnyk-47_2014.pdf [in Ukrainian].

7. Thakre Ch., Laxmi V., Vijay R., Deepak J. Killedar, Kumar R. Traffic noise prediction model of an Indian road: an increased scenario of vehicles and honking. Environmental Science and Pollution Research volume 27, 2020. Pages 38311–38320. https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-09923-6

8. Lukianova, V., Anpilova, Y., Trofymchuk, O. Environmental Safety of Motor Transport Enterprises within Urban Areas. Journal of Ecological Engineering, 2020. 21(4), pp. 231-236. https://doi.org/10.12911/22998993/119799

9. Sheludchenko L.S., Polishchuk D.V. Ekolohichna otsinka shumovoho zabrudnennia mista, sprychynenoho diialnistiu avtotransportnykh zasobiv i statsionarnykh dzherel (Environmental assessment of noise pollution of the city caused by the activity of motor vehicles and stationary sources). Ekolohichni nauky: naukovo-praktychnyi zhurnal. K.: DEA, 2018. № 4(23). S.10-13. DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716-2018-4-23-2 [in Ukrainian].

10.Chuanwang Sun, Shuhua Xu, Mian Yang, Xu Gong Urban traffic regulation and air pollution: A case study of urban motor vehicle restriction policy. Energy Policy, Volume 163, April 2022. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112819

11.Konyk Ihor, Masonkov Oleh, Vovk Yuliia. Analiz isnuiuchykh metodiv doslidzhennia vplyvu avtomobilnoho transportu na dovkillia. Problemy z transportnymy potokamy i napriamy yikh rozviazannia: tezy dopovidei. (Analysis of existing methods of research on the impact of road transport on the environment. Problems with traffic flows and directions for their solution: abstracts of reports). Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnika», 28 – 30 bereznia 2019 roku, S. 105-106.

12.Babaev, A. M. The innovative security of sustainable development ecological and economic system. Theoretical & Applied Science. № 51(07), 2017. 62–66. https://doi.org/10.15863/tas.2017.07.51.11

13.Slavin V.V., Tomash V.V. Znyzhennia shkidlyvoho vplyvu avtomobiliv na otochuiuche seredovyshche (Reducing the harmful impact of cars on the environment). Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. № 6, 2018. S. 162 – 163.

УДК 621.022 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-151-159**
UDC 621.022

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ПЛАНЕТАРНИХ ПЕРЕДАЧ ПРИВОДІВ ДОРОЖНИХ МАШИН ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ

PLANETARY GEARS DYNAMIC MODEL OF ROAD MACHINE DRIVES FOR CALCULATING FORCED VIBRATIONS



Варфоломєєв Юрій Михайлович, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: varfolomeev1947@gmail.com, тел.: +38 (096) 475 55 74*

https://orcid.org/0000-0001-5388-6624



Левківський Сергій Анатолійович, *старший викладач кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: s.a.levkovsky@gmail.com, тел.: +38 (093) 605 72 20*

https://orcid.org/0000-0003-1515-4240



Мороз Валентин Валентинович, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: frostvaliko@gmail.com, тел.: +38 (093) 679 42 38*

https://orcid.org/0000-0003-3000-4961

Анотація. В роботі запропонована експериментальна методика для знаходження нерівномірності розподілу крутного моменту між шестернями планетарної передачі та в той же час розподілу навантаження вздовж зуба на основі п'яти датчиків навантаження на валу кожної планетарної шестерні.

Об'єкт дослідження – жорсткісні та інерційні параметри елементів планетарної передачі.

Мета дослідження полягає в створенні динамічної моделі планетарної передачі для розрахунку вимушених коливань, які викликані перемінними у часі зазорами – натягами, що виникають в зубчастих зачепленнях.

В роботі наводиться аналіз завдання для розробленої моделі та фактори, що ускладнюють її створення. Виділені рекомендації, що засновані на результатах проведених теоретичних досліджень. Такими рекомендаціями є необхідність обов'язкового виділення в моделі в якості окремих мас осей сателітів. Також кожен сателіт представлений в моделі окремою масою, яка включає в себе його момент інерції в обертальному русі та приведену до неї масу в поступальному русі разом з водилом. Всі з'єднання між рухомими та нерухомими масами представлені в моделі в вигляді безмасових пружних елементів з відповідними значеннями жорсткостей. Побудована математична модель, що аналітично зображує переміщення мас в запропонованій динамічній моделі. Модель складається з десяти неоднорідних диференційних рівнянь другого порядку з постійними коефіцієнтами.

Для перевірки адекватності отриманої моделі, визначені параметри жорсткості та інерції елементів планетарної передачі. Отримані результати вказують, що жорсткість пружних зв'язків між масами, які введені до математичної моделі, не відрізняються від реальних.

Проведені дослідження вказують на можливість використання даної математичної моделі для розрахунку вимушених коливань, які викликані перемінними у часі зазорами – натягами, що виникають в зубчастих зачепленнях.

Ключові слова: планетарний редуктор, коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження між сателітами, динамічна модель, вимушені коливання, поліноміальні моделі, адекватність.

Вступ

Постановка проблеми. Розрахунки планетарних передач на міцність мають свої особливості в порівнянні з загальними методиками розрахунків рядових зубчастих передач. Головною їх відміною є необхідність урахування нерівномірності розподілу навантаження між сателітами при визначенні розрахункового моменту. В сучасних методиках розрахунку використовується коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження між сателітами, значення якого визначаються на підставі розрізнених досліджень, а силовий аналіз передач проводиться тільки у статиці. Слід зазначити, що переважна більшість планетарних передач у складі приводів різноманітних машин працює в умовах динаміки. Зважаючи на це, визначення сил в зачепленнях цих передач повинно здійснюватися в умовах динамічного або квазідинамічного навантаження. Теоретичне дослідження такого процесу можливе лише на підставі даних, отриманих в результаті рішення динамічної моделі.

Аналіз останніх досліджень. Серед існуючих моделей для дослідження динаміки планетарних передач можливо виділити три основні. Динамічна модель, яку запропонував доктор техн. наук, професор Вейц В.Л. [1] включає в себе масу центрального колеса з зовнішніми зубцями, одну приведену масу сателіта та безмасове водило. Вона призначена для розрахунку вільних коливань одноступеневого редуктора. За допомогою моделі, яка була розроблена під керівництвом доктора техн. наук Генкіна М.Д., також проводилися розрахунки власних частот тільки вже для двохступеневого редуктора [2]. Особливістю цієї моделі є те, що сателіт представлений двома масами: моментом інерції в обертальному русі навколо власної вісі та масою у поступальному русі разом з водилом. В кожній ступені маси трьох сателітів приведені до однієї відповідно для кожного виду руху. Ця динамічна модель описується системою одинадцяти лінійних однорідних диференційних рівнянь другого порядку. Також під керівництвом доктора техн. наук Айрапетова Е.Л. була створена динамічна модель [3] для розрахунків з використанням методу динамічної піддатливості. При цьому підході редуктор розділяється на прості підсистеми, наприклад, центральне колесо з зовнішніми зубцями, водило, сателіт, центральне колесо з внутрішніми зубцями, які поєднані пружними зв'язками. Коливання кожної підсистеми описується невеликою кількістю рівнянь. Загальне рішення системи отримується за допомогою рівнянь спільних деформацій. До того ж, в цій моделі центральне колесо з внутрішніми зубцями представлено як елемент з розподіленою масою. Доцільність такого зображення епіциклу має сенс лише в окремих випадках, коли співвідношення товщини його ободу та радіусу знаходиться в межах $\delta = 0{,}05 \cdot R$, а його з'єднання з корпусом здійснюється за допомогою пружних елементів. Тоді в тонкостінному кільці, яким по суті стає епіцикл, при роботі передачі можуть виникати специфічні форми коливань. Така модель була призначена для вивчення віброакустичних характеристик приводів.

На підставі зазначеного, можливо зробити висновок, що всі розглянуті дослідження були спрямовані на аналіз вільних коливань. Це робилося з метою запобігання виникненню резонансу в нових конструкціях редукторів. Відсутність наукових праць спрямованих на визначення сил в зачепленнях планетарних передач в умовах динамічного або квазідинамічного навантаження пояснюється не тільки складнощами розробки багатосателітної динамічної моделі, але і необхідністю математичного опису випадкових зазорів, що виникають в зачепленнях.

Мета роботи полягає в створенні динамічної моделі планетарної передачі для розрахунку вимушених коливань, які викликані перемінними у часі зазорами – натягами, що виникають в зубчастих зачепленнях.

Загальні положення

Основна частина. Оцінка рівня динамічної напруженості зачеплень зубчастих передач проводиться на підставі результатів динамічного розрахунку. Точність отриманих даних в значній мірі залежить від правильного вибору динамічної моделі. Будь-яка модель розглядає спрощення процесу і є заміною реального об'єкта його динамічною схематизацією. Вибір динамічної моделі є неоднозначним і залежить від поставленої мети динамічного аналізу. Створення моделі також передбачає прийняття деяких припущень, які дозволяють спростити математичні викладки та при цьому не вносять значних похибок у кінцевий результат.

В розглядуваних передачах центральне колесо з внутрішніми зубцями «*b*» запресоване в корпус або жорстко приєднане до нього за допомогою різьбового з'єднання. Така конструкція передачі дає підставу схематизувати всі маси як зосереджені.

Зміна жорсткості зачеплення через різну кількість зубців, що водночас знаходяться в контакті, може приводити до виникнення параметричного резонансу. При розробці нової передачі конструктори обов'язково проводять її перевірку на можливість прояви цього явища і у разі потреби здійснюють відстроювання конструкції зміною кінематичних параметрів. Це дозволяє не враховувати зміну жорсткостей і розглядати майбутню модель як систему з постійними параметрами.

Дисипативні властивості передачі суттєво впливають на динамічні характеристики лише в зоні резонансу. Вивчення резонансних явищ не є метою даної роботи. Тому динамічну систему розглядуваних планетарних передач будемо вважати за консервативну.

Головним завданням моделі, що розробляється, є можливість отримувати амплітуди пружних коливань усіх мас редуктора, що спричинені внутрішніми збурюючими силами, які викликані проявом зазорів – натягів в зубчастих зачепленнях.

Основними факторами, що ускладнюють створення такої моделі є багатопоточність редуктора, складний рух окремих його деталей, значна кількість мас.

Результати проведених теоретичних досліджень вказують на необхідність обов'язкового виділення в моделі в якості окремих мас осей сателітів. Хоча такий крок не відповідає загальним рекомендаціям по розробці динамічних моделей через те, що вони мають дуже малі маси, він забезпечує відображення в моделі кінематичних зв'язків між деталями при складному русі. Всі інші рухомі деталі передачі також схематизовані окремими масами.

Кожен сателіт передачі (рис. 1) представлений в моделі окремою масою, яка включає в себе його момент інерції в обертальному русі та приведену до неї масу в поступальному русі разом з водилом.

Всі з'єднання між рухомими та нерухомими масами представлені в моделі в вигляді безмасових пружних елементів з відповідними значеннями жорсткостей. Таким чином, планетарна передача, з'єднана на вході з масою, наприклад, двигуна, а на виході – з робочим органом машини, схематизується 10 – масовою динамічною моделлю, зображену на рис. 2.

В моделі прийняті такі позначення мас та жорсткостей:

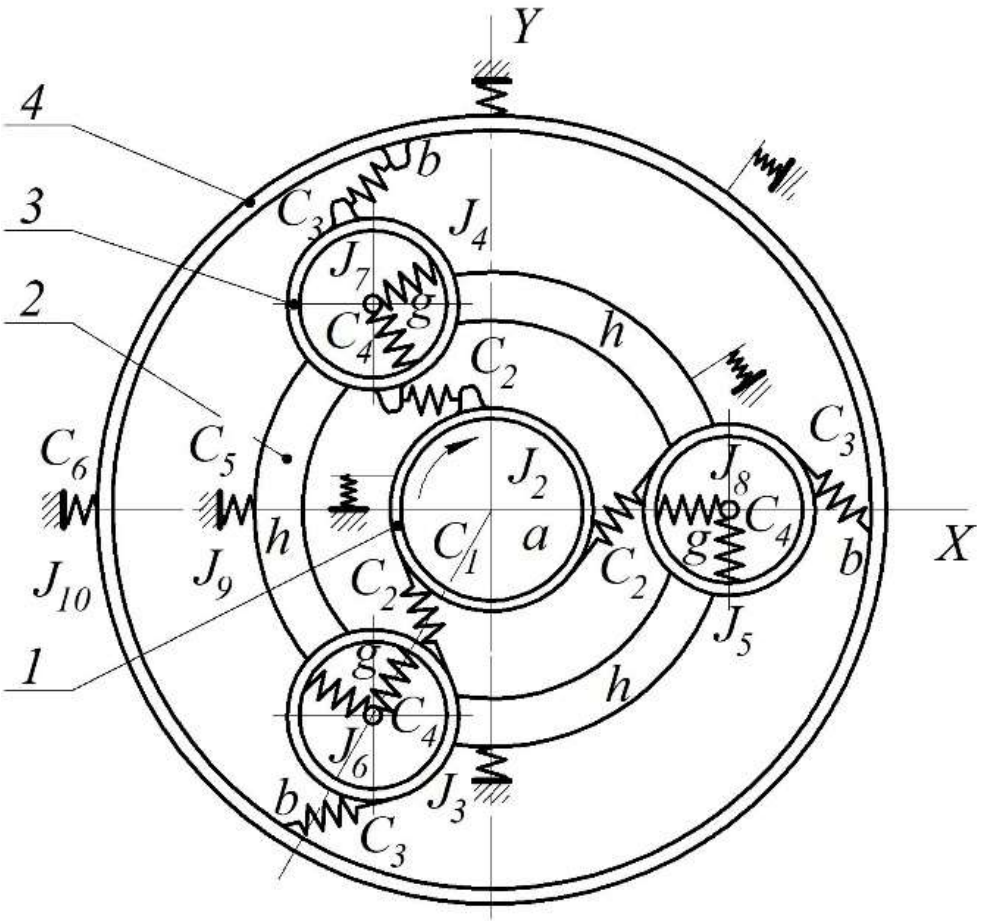
J_1 – момент інерції маси двигуна;

J_2 – момент інерції центрального колеса «*a*» з зовнішніми зубцями;

J_3, J_4, J_5 – моменти інерції сателітів «*g*» в обертальному русі та приведені до них маси у поступальному русі разом з водилом «*h*»;

J_6, J_7, J_8 – моменти інерції мас осей сателітів;

J_9 – момент інерції водила «*h*»;
J_{10} – момент інерції маси, приєднаної до вихідного вала передачі;
C_1 – жорсткість вхідного вала передачі;
C_2 – жорсткість зубчастого зачеплення «*a* – *g*»;
C_3 – жорсткість зубчастого зачеплення «*g* – *b*»;
C_4 – жорсткість встановлення сателіта у водилі «*h*»;
C_5 – жорсткість водила «*h*»;
C_6 – жорсткість з'єднання передачі з робочим органом.



1 – сонячна шестерня; 2 – водило; 3 – сателіти; 4 – епіцикл
1 – sun gear; 2 – carrier; 3 – satellites; 4 – epicycle

Рисунок 1 – Розрахункова модель планетарної передачі:
Figure 1 – Calculation model of planetary gear:

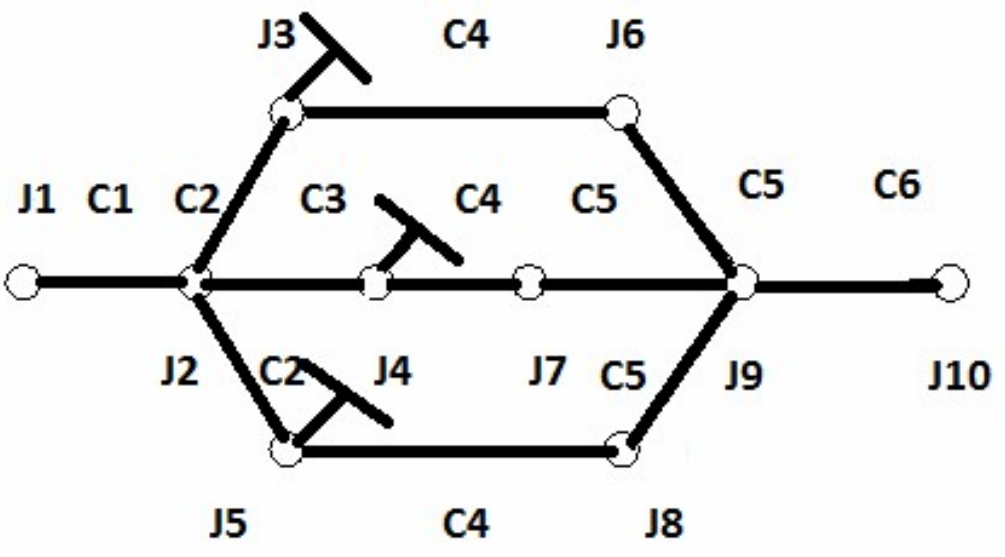


Рисунок 2 – Схема динамічної моделі планетарної передачі
Figure 2 – Scheme of the dynamic model of the planetary gears

Математична модель, що аналітично зображує переміщення мас в запропонованій динамічній моделі, складається з десяти неоднорідних диференційних рівнянь другого порядку з постійними коефіцієнтами.

$$J_1\ddot{\phi}_1 + C_1(\phi_1 - \phi_2) = T_d;$$

$$J_2\ddot{\phi}_2 - C_1(\phi_1 - \phi_2) + C_2(\phi_2 - \phi_3) + C_2(\phi_2 - \phi_4) + C_2(\phi_2 - \phi_5) = -C_\in(\Delta\phi_3 + \Delta\phi_4 + \Delta\phi_5);$$

$$J_3\ddot{\phi}_3 - C_2(\phi_2 - \phi_3) - C_3\phi_3 + C_4(\phi_3 - \phi_6) = -C_\in\Delta\phi_3;$$

$$J_4\ddot{\phi}_4 - C_2(\phi_2 - \phi_4) - C_3\phi_4 + C_4(\phi_4 - \phi_7) = -C_\in\Delta\phi_4;$$

$$J_5\ddot{\phi}_5 - C_2(\phi_2 - \phi_5) - C_3\phi_5 + C_4(\phi_5 - \phi_8) = -C_\in\Delta\phi_5;$$

$$J_6\ddot{\phi}_6 - C_4(\phi_3 - \phi_6) + C_5(\phi_6 - \phi_9) = 0;$$

$$J_7\ddot{\phi}_7 - C_4(\phi_4 - \phi_7) + C_5(\phi_7 - \phi_9) = 0;$$

$$J_8\ddot{\phi}_8 - C_4(\phi_5 - \phi_8) + C_5(\phi_8 - \phi_9) = 0;$$

$$J_9\ddot{\phi}_2 - C_5(\phi_6 - \phi_9) - C_5(\phi_7 - \phi_9) - C_5(\phi_8 - \phi_9) - C_6(\phi_9 - \phi_{10}) = 0;$$

$$J_{10}\ddot{\phi}_{10} - C_6(\phi_9 - \phi_{10}) = -T_o,$$

де ϕ_i – пружні крутні деформації відповідних мас динамічної моделі;

$\Delta\phi_3$, $\Delta\phi_4$, $\Delta\phi_5$ – додаткові переміщення мас сателітів, що викликані проявом зазорів – натягів в зубчастих зачепленнях «*a* – *g*»;

T_d – крутний момент двигуна;

T_o – крутний момент на робочому органі;

$C_\in$ – приведена жорсткість планетарної передачі.

Значення амплітуд вимушених коливань мас динамічної системи, які визначаються шляхом рішення математичної моделі, будуть близькими до значень амплітуд коливань мас реального об'єкта тільки у випадку, коли значення жорсткості пружних зв'язків між масами, які введені до математичної моделі, не будуть значно відрізнятися від реальних. В іншому випадку, отримані рішення можуть

відрізнятися від показників реального фізичного процесу навіть на порядок. Тому визначення жорсткісних параметрів моделі є досить відповідальною та ще й складною задачею. Для визначення жорсткостей широко використовують дані, які отримані за результатами дослідів. Тому в формулах присутні емпіричні коефіцієнти. Необхідно відзначити, що коли існує можливість експериментального визначення жорсткості дослідного зразка, то слід цією нагодою скористатися. Це дозволить проконтролювати теоретичні дані та підвищити точність розрахунку.

В планетарному редукторі основними деталями, які передають крутний момент є зубчасті колеса. Жорсткість зубчастих зачеплень є значно більшою за жорсткості інших деталей редуктора. Розрахунок жорсткості здійснюють за допомогою теорії пружності. Зубчасте колесо є пружною системою, жорсткість якої залежить від його конструкції. При розгляді розрахункової схеми вважають, що зуб – це консольна балка, а частина ободу колеса, що безпосередньо межує з зубцем, є частиною диску, що деформується. Тоді жорсткість пари зубців, за умови контакту на початку лінії зачеплення, може бути описана приблизною залежністю:

$$C_{\Sigma t} = \frac{1}{\frac{1}{C_t} + K_{осн.сат.} + K_{осн.шест.}}, \quad (1)$$

де C_t – жорсткість пари прямих зубців без урахування пружної основи;

$K_{осн.сат.}$– переміщення точки контакту у напрямку лінії зачеплення, за умови деформації ободу сателіта навантаженням, що дорівнює $10^3 \frac{Н}{м}$;

$K_{осн.шест}$ – переміщення точки контакту у напрямку лінії зачеплення, за умови деформації ободу шестерні навантаженням, що дорівнює $10^3 \frac{Н}{м}$.

На підставі експериментальних даних для визначення жорсткості пари прямих зубців зовнішнього зачеплення була запропонована формула:

$$C_t = \frac{E}{13} \cdot \left[1 - 0,27\left(h - 1,25\right)^2 \right], \quad (2)$$

де E – модуль пружності.

Тоді в полюсі зачеплення ($h=1,25$) жорсткість пари прямих зубців зовнішнього зачеплення дорівнює $C_t = 1,54 \cdot 10^4\ МПа$. Жорсткість внутрішнього зачеплення рекомендовано приймати $C_t = 1,63 \cdot 10^4\ МПа$.

Значення питомих пружних переміщень $K_{осн.сат.}$ та $K_{осн.шест}$ призначаються в залежності від конструктивних параметрів коліс та матеріалу, з яких вони виготовлені. Для редуктору, що розглядається:

$$C_{з.з.} = \frac{C_{\Sigma t}}{\cos a_w} = 1,34 \cdot 10^6 \frac{Н}{м}.$$

Крутильна жорсткість зачеплення «a – g»

$$C_2 = C_{з.з.} \cdot r_a^2, \quad (3)$$

де r_a – радіус центрального колеса «a».

$$C_2 = 3{,}02 \cdot 10^4 \frac{Н \cdot м}{рад}.$$

Жорсткість зубчастого зачеплення сателіту з центральним колесом внутрішнього зачеплення «*b*» визначається як і у попередньому випадку. Тільки необхідно цю крутильну жорсткість привести до вхідного валу редуктора.

$$C_3 = \frac{C_{з.кр.}}{i_{a-g}^{\ 2}}, \tag{4}$$

де $C_{з.кр}$ – значення крутильної жорсткості зачеплення «*g* – *b*»;
i_{a-g} – передаточне число.

$$C_3 = 3{,}04 \cdot 10^4 \frac{Н \cdot м}{рад}.$$

Водило планетарної передачі є деталлю досить складної форми, тому визначення її деформації є також непростим завданням. Під дією подвійної колової сили відбувається не тільки крутильна деформація, але і депланація щік водила. Варіант вирішення цієї задачі наведений в [2]. З урахуванням цих рекомендацій деформація водила становить $e_h = 0{,}24 \cdot 10^{-8} \frac{Н}{м}$.

Для перевірки працездатності моделі було отримано її тестове вирішення для параметрів, що наведені в табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 1 – Жорсткісні параметри запропонованої моделі планетарної передачі
Table 1 – Stiffness parameters of the proposed planetary gear model

№	Назва жорсткості пружного зв'язку	Позначення жорсткості моделі	Числове значення жорсткості, $\frac{Н \cdot м}{рад} \cdot 10^4$
1	Жорсткість вхідного вала	C_1	3,6
2	Жорсткість зачеплення «*a* – *g*»	C_2	3,02
3	Жорсткість зачеплення «*g* – *b*»	C_3	3,04
4	Жорсткість встановлення сателіта у водилі	C_4	0,4
5	Жорсткість водила «*h*»	C_5	2,5
6	Жорсткість вихідного вала	C_6	0,52

Таблиця 2 – Інерційні параметри запропонованої моделі планетарної передачі
Table 1 – Inertial parameters of the proposed planetary gear model

№	Назва інерційного параметра	Позначення маси в моделі	Числове значення моменту інерції, $Н \cdot м \cdot с^2 \cdot 10^{-3}$
1	Момент інерції маси двигуна	J_1	3,83
2	Момент інерції центрального колеса «*a*»	J_2	0,79
3	Моменти інерції сателітів «*g*»	$J_3 = J_4 = J_5$	1,5
4	Моменти інерції мас вісей сателітів	$J_6 = J_7 = J_8$	0,11
5	Момент інерції водила «*h*»	J_9	2,82
6	Момент інерції на вихідному валу	J_{10}	5,0

Висновки

Отримані в результаті розрахунків до математичної моделі жорсткісні та інерційні параметри планетарної передачі близькі до значень реального редуктора. Це підтверджує працездатність розробленої динамічної моделі. Значення амплітуд вимушених коливань мас динамічної системи, які визначаються шляхом рішення математичної моделі, будуть близькими до значень амплітуд коливань мас реальної передачі.

Як показують проведені дослідження, математична модель аналітично зображує переміщення мас в запропонованій динамічній моделі і адекватно описується неоднорідними диференційними рівняннями другого порядку з постійними коефіцієнтами.

Перелік посилань

1. Підвищення технічного рівня планетарних редукторів загального призначення. / Тютін В.М., Левківський С.А. // LXXVI Наукова-практична конференция науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету – К:, НТУ 2020. С. 16.

2. Building a model for calculating free vibrations of planetary gears. / Tyutin V. M., Levkivsky S. A., Levkivska L. V. // The 7th International scientific and practical conference “World science: problems, prospects and innovations” (March 24-26, 2021) Perfect Publishing, Toronto, Canada. 2021. P.162-170.

3. Статистичний аналіз результатів експериментального дослідження планетарного редуктора з використанням методу бутстреп. / Тютін В.М., Мороз В.В., Левківський С.А. // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ. – 2021. – Вип.51. –Ч.1. – С.373-381.

4. Динамічна модель планетарних передач для дослідження вільних коливань. // Варфоломєєв Ю.М., Левківський С.А. // Міжнародна науково-практична конференція «Розбудова і відновлення машинобудівного комплексу України» - Х.: ХНАДУ 2023, С. 71-73.

PLANETARY GEARS DYNAMIC MODEL OF ROAD MACHINE DRIVES FOR CALCULATING FORCED VIBRATIONS

Varfolomeev Yuriy M., National Transport University, Associate Professor, Department of Machine Engineering for Transport Construction Machines, e-mail: varfolomeev1947@gmail.com, tel.: +38 (096) 475 55 74, https://orcid.org/0000-0001-5388-6624

Levkivskyi Sergii A., National Transport University, Senior Lecturer, Department of Machine Engineering for Transport Construction Machines, e-mail: s.a.levkovsky@gmail.com, tel.: +38 (093) 605 72 20, https://orcid.org/0000-0003-1515-4240

Moroz Valentyn V., National Transport University, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Machine Engineering for Transport Construction Machines, e-mail: frostvaliko@gmail.com, tel.: +38 (093) 679 42 38, https://orcid.org/0000-0003-3000-4961

Abstract. The paper proposes an experimental technique for finding the uneven distribution of torque between the gears of a planetary gear and, at the same time, the distribution of the load along the tooth based on five load sensors on the shaft of each planetary gear.

The object of study is the rigidity and inertial parameters of the planetary gear elements.

The purpose of the study is to create a dynamic model of a planetary gear to calculate forced vibrations caused by time-varying gaps - tensions arising in gears.

The paper provides an analysis of the problem for the developed model and factors that complicate its creation. Recommendations based on the results of theoretical studies are highlighted. Such recommendations necessitate the obligatory identification of the satellite axes in the model as separate masses. Also, each satellite is represented in the model by a separate mass, which includes its moment of inertia in rotational motion and the mass reduced to it in translational motion together with the carrier. All connections between moving and stationary masses are represented in the model in the form of elastic massless elements with corresponding stiffness values. A mathematical model has been constructed that analytically depicts the movement of masses

in the proposed dynamic model. The model consists of ten inhomogeneous second-order differential equations with constant coefficients.

To check the adequacy of the resulting model, the parameters of rigidity and inertia of the planetary gear elements were determined. The results obtained indicate that the rigidity of elastic connections between the masses introduced into the mathematical model does not differ from the real ones.

The conducted studies indicate the possibility of using this mathematical model to calculate forced vibrations caused by time-varying gaps - tensions arising in gears.

Key words: planetary gearbox, coefficient of uneven distribution of loading between satellites, dynamic model, forced vibrations, polynomial models, adequacy.

References

1. Pidvyshchennya tekhnichnoho rivnya planetarnykh reduktoriv zahal′noho pryznachennya. (Increasing the technical level of general-purpose planetary gearboxes) / Tyutin V.M., Levkivs′kyy S.A. // LXXVI Naukova-praktychna konferentsyya naukovo-pedahohichnykh pratsivnykiv, aspirantiv, studentiv ta strukturnykh pidrozdiliv universytetu – K:, NTU 2020. S. 16.

2. Building a model for calculating free vibrations of planetary gears. / Tyutin V. M., Levkivsky S. A., Levkivska L. V. // The 7th International scientific and practical conference “World science: problems, prospects and innovations” (March 24-26, 2021) Perfect Publishing, Toronto, Canada. 2021. R.162-170.

3. Statystychnyy analiz rezul′tativ eksperymental′noho doslidzhennya planetarnoho reduktora z vykorystannyam metodu but·strep. (Statistical analysis of the results of the experimental study of the planetary gearbox using the bootstrap method) / Tyutin V.M., Moroz V.V., Levkivs′kyy S.A. // Visnyk Natsional′noho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk – K.: NTU. – 2021. – Vyp.51. –CH.1. – S.373-381.

4. Dynamichna model′ planetarnykh peredach dlya doslidzhennya vil′nykh kolyvan′. (Dynamic model of planetary gears for the study of free oscillations) // Varfolomyeyev YU.M., Levkivs′kyy S.A. // Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya «Rozbudova i vidnovlennya mashynobudivnoho kompleksu Ukrayiny» - KH.: KHNADU 2023, S. 71-73.

УДК 621.879.4 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-160-169**
UDC 621.879.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КІНЕМАТИЧНИХ ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗКІВШЕВИХ РОТОРНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТРАНШЕЙНИХ ЕКСКАВАТОРІВ НА ЕНЕРГОЄМНІСТЬ РОЗРОБКИ ҐРУНТІВ

RESEARCH OF THE IMPACT OF KINEMATIC AND GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF BUCKETLESS ROTARY WORKING BODIES OF TRENCH EXCAVATORS ON THE ENERGY INTENSITY OF SOIL EXCAVATION



Коваль Андрій Борисович, *кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: kandr6104@gmail.com, тел.:+3805002408947,*

https://orcid.org/0000-0003-1295-8200, SCOPUS id 57220055768



Пацьора Данило Іванович, *аспірант кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Національний транспортний університет, м. Київ,Україна, e-mail: dpatsora@gmail.com, тел.: +380996460618,*

https://orcid.org/0000-0001-9515-3672

Анотація: У статті розглянуто питання визначення фізичної суті робочого процесу безківшевих роторних робочих органів екскаваторів поздовжнього копання та раціонального вибору їх кінематичних і геометричних параметрів. Дослідження виконано з використанням стенду фізико-математичного моделювання робочих процесів землерийних машин безперервної дії на фізичній моделі безківшевого роторного робочого органу виготовленій в масштабі 1:5. Досліджено та розкрито фізичну суть копання траншей безківшевим роторним робочим органом. Процес розробки ґрунту полягає у відділенні різцями ротора стружки ґрунту від масиву, переміщенні розробленого ґрунту у його внутрішні кільцеві порожнини, заклинюванні зазначеної маси ґрунту у цих порожнинах та підйому ґрунту, до розвантажувального вузла за рахунок сил тертя ґрунту по робочим поверхням ротора. Транспортування розробленого ґрунту ротором та розвантаження здійснюється безперервним потоком, а не окремими порціями як це має місце в робочих органах традиційної конструкції.

Примусове розвантаження ґрунту із ротора з використанням двоступеневих розвантажувальних вузлів дозволяє забезпечити ефективну розробку ґрунту в широкому діапазоні зміни швидкостей різання та в повній мірі реалізувати на приводі робочого органа будь яку потужність силової установки машини. Вказана перевага безківшевих роторних робочих органів траншейних екскаваторів перед іншими конструкціями робочого обладнання є унікальною. Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень фізичної моделі (М 1:5) безківшевого роторного робочого органа екскаватора дав можливість визначити величину енергоемності розробки ґрунтів, діапазон

можливих змін продуктивності траншейних екскаваторів з безківшевим роторним робочим органом за зміни режимів роботи машин. Доказано, що енергоємність розробки ґрунтів безківшевими роторними робочими органами становить 0,25…0.30 кВт·год/м^3. Встановлено раціональні величини конструктивних параметрів ротора, а саме: ширину траверс ротора та кута їх установки на центральному диску ротора, як основних конструктивних параметрів ротора.

Ключові слова: екскаватор траншейний, кінематичний показник, ротор, траншея, енергоємність.

Вступ. На сучасному етапі розвитку промислового і транспортного будівництва обсяги земляних робіт у загальному обсязі будівельних робіт, залежно від об'єктів що споруджуються, коливається від 3..5 % до 80…90 %. Зважаючи на значні об'єми виконуваних робіт зрозуміло, що вони можуть бути ефективно і якісно виконані тільки з використанням високоефективної землерийної техніки.

За такої умови вартість будівництва лінійної частини магістрального газопроводу, наприклад, включаючи земляні роботи, складає в середньому 50 % його загальної вартості, а з урахуванням витрат на матеріали – до 85 % (за даними на 2012 рік). Вартість будівництва 1 кілометра розподільчого газопроводу діаметром 108 мм становить близько 400 тисяч гривень, в тому числі вартість виконання повного циклу земляних робіт складає 40…50 % повної вартості будівельно-монтажних робіт [1].

Останнім часом надзвичайно актуальним стало питання спорудження максимально швидкими темпами окопів повного профілю (траншей) та ходів сполучення між ними для фортифікаційного облаштування бойових позицій військ та укрить для бойової техніки.

Оскільки трубопроводи і окопи повного профілю будуються шляхом спорудження траншей, то зрозумілою стає роль траншейних машин у виконанні земляних робіт. Ефективність роботи машин є одним із головних факторів вирішення поставлених завдань.

Аналізуючи ефективність роботи сучасних роторних і ланцюгових траншейних екскаваторів кращих світових фірм-виробників відзначимо, що резерви підвищення їх продуктивності копання траншей заданих розмірів практично вичерпано. Причиною цього є об'єктивне протиріччя, суть якого полягає в наступному.

Підвищити продуктивність траншейного екскаватора, під час копання ним траншеї визначених розмірів, можна виключно за рахунок збільшення швидкості переміщення (подачі) машини в режимі копання ґрунту. Але, в той же час, відповідно, необхідно збільшити продуктивність робочого обладнання екскаватора по підйому розробленого ґрунту зі спорудженої виїмки та переміщення його до місця складування. Цього можна досягти шляхом збільшення швидкостей різання ґрунту ґрунторозробними ланцюгами робочого обладнання, або збільшенням швидкостей обертання роторних ківшевих робочих органів траншейних машин. Однак, відцентрові сили, що діють на ґрунт, який транспортується робочими органами екскаваторів на розвантаження з досягненням відповідної величини урівноважуються силами гравітації. В наслідок цього розвантаження робочих органів екскаваторів, особливо під час копання перезволожених в'язких ґрунтів, стає не можливим.

Такі режими роботи траншейних машин визначають порогову, максимальну величину продуктивності їх роботи. В результаті, навіть за умови монтажу традиційного роторного ківшевого, чи ланцюгового робочого обладнання на самих сучасних базових шасі (тягачах) достатньо великої потужності – підвищити продуктивність траншейних екскаваторів зверх порогових значень продуктивності робочого обладнання, не можливо.

Саме тому розробці нових та підвищенню ефективності використання традиційних технологій спорудження протяжних виїмок в ґрунті та технічних засобів для їх реалізації приділяється значна увага в багатьох країнах світу. Це можна відслідкувати за патентною активністю різних країн у вирішенні цих проблем, на прикладі Німеччини [2], США [3, 4], Японії [5,], України [6].

Переміщення центру уваги у вирішенні питання створення високопродуктивних конструкцій траншейних екскаваторів на машини з безківшевими роторними робочими органами [7], пояснюється явними потенційними перевагами, останніх порівняно з роторними ківшевими, або ланцюговими (ківшевими, та ланцюгово-балковими), робочими органами.

Суть переваг полягає у здатності безківшевих роторних робочих органів розробляти та транспортувати ґрунт з траншеї безперервним потоком, а не окремими порціями, відсутності конструктивних і кінематичних обмежень на швидкості різання ґрунту. Продуктивність виконання робіт такими робочими органами визначається виключно ґрунтовими умовами та потужністю базового шасі машини. Подібних характеристик не має жодне технічне рішення відомих конструкцій траншейних екскаваторів.

Опубліковані на сьогоднішній день роботи, що спрямовані на створення траншейних машин з безківшевими роторними робочими органами, малочисельні і не системні. Питання, що в них вирішувались, не є питаннями першочергової важливості в процесі створення високоефективних землерийних машин безперервної дії [8-12].

Враховуючи фізичну суть робочого процесу копання ґрунту роторним робочим органом, що включає в себе розробку ґрунту, транспортування його з забою до місця розвантаження та власне сам процес розвантаження можна стверджувати про недостатність об'єктивних даних та технічних пропозицій для створення високоефективного роторного робочого обладнання траншейних екскаваторів.

На наш погляд, тільки системний підхід з використанням об'єктивних даних про особливості фізичного процесу розробки ґрунтів безківшевими роторними робочими органами, кінематику робочого процесу, особливостей конструктивних рішень робочих органів та вузлів їх розвантаження дозволить вирішити питання створення високоефективних траншейних машин принципово нової конструкції.

Об'єктом дослідження є безківшеві роторні робочі органи екскаваторів поздовжнього копання та процес розробки ґрунтів зазначеними конструкціями робочих органів.

Виклад основного матеріалу. Вихідною конструкцією експериментальних досліджень є конструкція безківшевого роторного робочого органа, приведена на рис. 1. Робочий орган забезпечує копання траншей шириною до 0,6 м, глибиною 1,1…1,5 м в ґрунтах I – IV категорій складності розробки. Експериментальні дослідження виконувались на ґрунтовому каналі кафедри інженерії машин транспортного будівництва НТУ з використанням стенда фізико-математичного моделювання робочих процесів землерийних машин безперервної дії [8] з використанням моделі ротора, виготовленій в масштабі 1:5.

В процесі виконання досліджень вирішувались питання оцінки розробки ґрунтів безківшевим роторним робочим органом за зміни режимів копання ґрунту та визначення раціональної конструкції траверс робочого органа і параметрів їх установки на диску ротора як основних конструктивних параметрів.

Результати виконаних експериментальних досліджень дозволяють стверджувати, що під час копання ґрунту безківшевим роторним робочим органом (в перерахунку на «натуру») на різних режимах роботи, що забезпечують продуктивність роботи в межах 144…810 м^3/год загальна енергоємність розробки ґрунту змінюється в межах 0,320…0,225 кВт·год/м^3. За такої умови має місце тенденція до зменшення енергоємності зі збільшенням продуктивності ротора, за умови що має місце паралельне збільшення товщини стружки, що зрізується, рис. 2.

Зменшення загальної енергоємності копання ґрунту зі збільшенням товщини стружки пояснюється зменшенням енерговитрат на різання ґрунту за рахунок зменшення його подрібнення в процесі руйнування та ступеня проковзування транспортованого у внутрішніх кільцевих порожнинах ротора ґрунту.

Оцінюючи зміну крутного моменту на валу приводу ротора зі зміною товщини стружки ґрунту, що зрізується в процесі копання, відмітимо його збільшення за умови зростання товщини стружки. Це пояснюється збільшенням ступеню заповнення ґрунтом внутрішніх кільцевих порожнин ротора, бокового тиску транспортованого ґрунту на стінки відкопаної траншеї і, як наслідок, збільшення сил тертя транспортованого ґрунту по стінках траншеї, рис. 3.

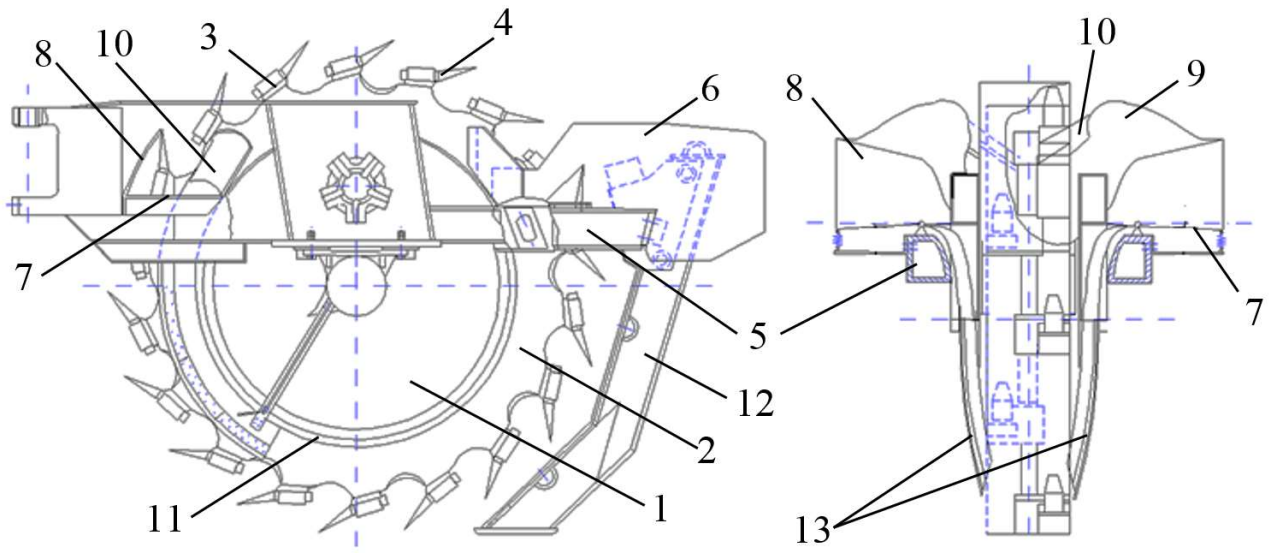


Рисунок 1 – Безківшевий робочий орган траншейного екскаватора: а – вид збоку; б – вид спереду; 1 – ротор; 2 – диск центральний; 3 – траверса; 4 – різець; 5 – рама; 6 – бермоутворювач; 7 – основа лотка; 8 – передня стінка лотка; 9 – стінка задня лотка; 10 – ґрунтознімач; 11 – кільцевий барабан; 12 – зачисний башмак; 13 – ніж-леміш

Figure 1 – Bucketless working body of the rotary excavator: a – side view; b - front view; 1- rotor, 2 – central disk; 3 – of the rotary excavator: a – side view; b - front view; 1- rotor, 2 – central disk; 3 –cross-arm; 4 - cutter; 5 – frame; 6 – berm maker; 7 – tray base; 8 – front wall; 9 – back wall; 10 – soil remover; 11 – annular shell; 12 – clean-up bearing plate; 13 – plow knife

Зі збільшенням товщини стружки, що зрізується ротором, збільшується і величина необхідної сили тяги на переміщення робочого органа в траншеї в процесі розробки ґрунту, що цілком зрозуміло. Це збільшення відбувається за лінійним законом, рис. 4. За зміни товщини стружки від 0,03 м до 0,065 м під час роботи натурної машини, сила тяги на переміщення робочого органа збільшується від 75,0 кН до 100,0 кН.

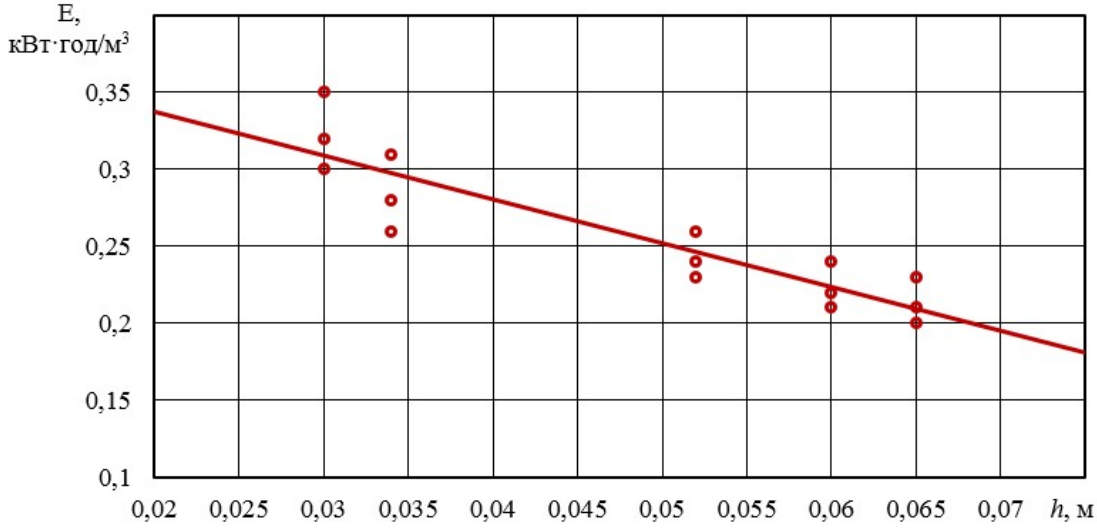


Рисунок 2 – Залежність енергоємності розробки ґрунту від товщині стружки
Figure 2 – Dependence of soil excavation energy intensity on the chip thickness

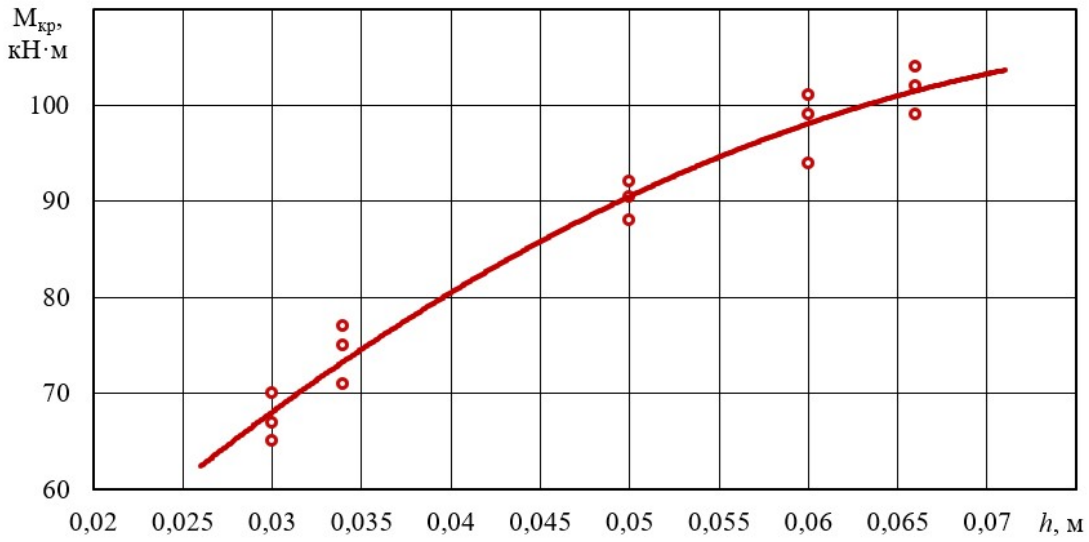


Рисунок 3 – Залежність крутного моменту на валу ротора від товщини стружки
Figure 3 – Correlation between torque on the rotor shaft and chip thickness

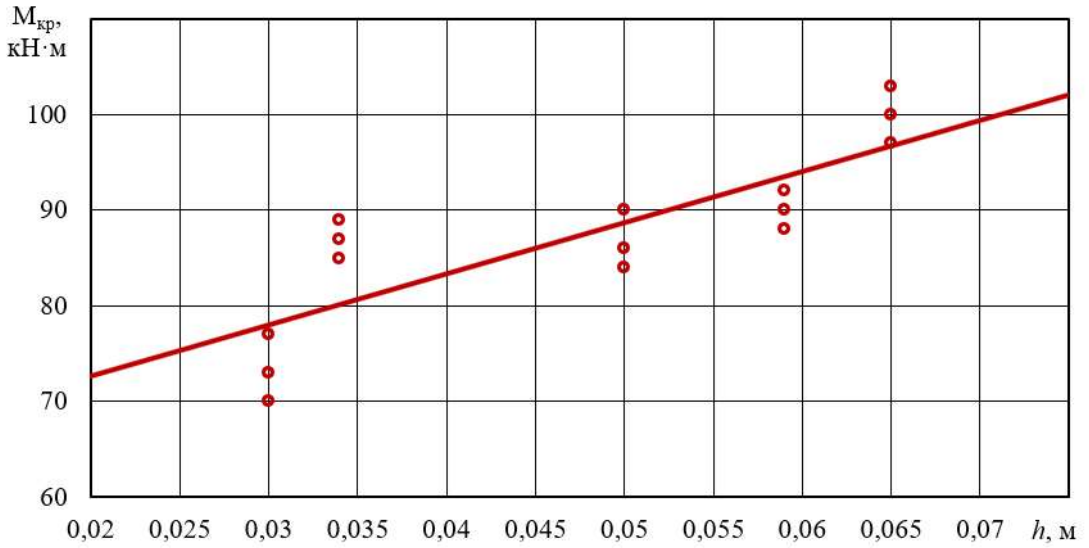


Рисунок 4 – Залежність тягового зусилля ротора від товщини стружки
Figure 4 – Correlation between traction force on the shaft and chip thickness

В ході виконання дослідження визначено вплив зміни кінематичного показника режиму роботи безківшевого ротора на величину енергоємності розробки ґрунту.

Під кінематичним показником роботи безківшевого ротора мається на увазі відношення швидкості різання ґрунту V_p до швидкості подачі V_e ротора на ґрунт забою.

Аналіз отриманих залежностей свідчить про те, що зі збільшенням кінематичного показника роботи ротора значення енергоємності розробки ґрунту зростають (рис. 5) за лінійним законом.

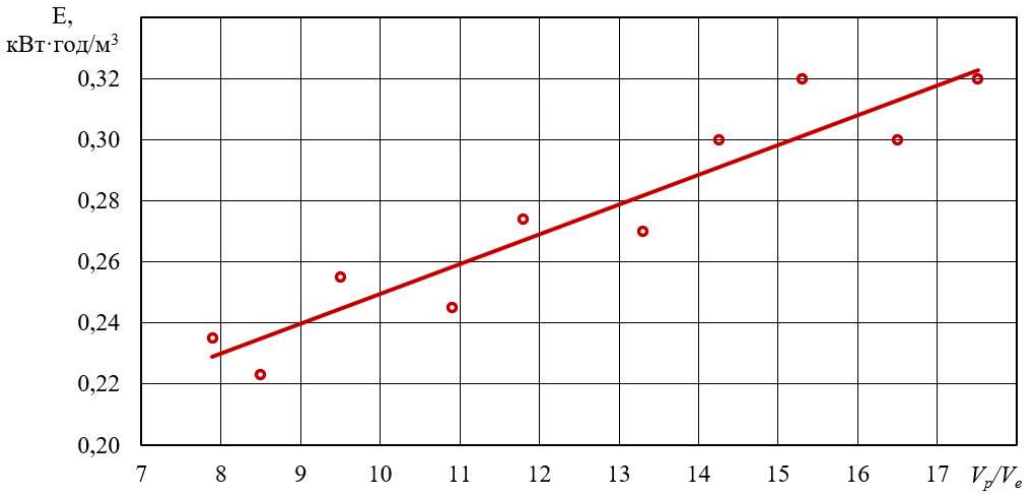


Рисунок 5 – Залежність енергоємності роботи ротора від зміни кінематичного показника
Figure 5 – Dependence of the rotor operation energy intensity on kinematic index

Отриманий ефект пояснюється тим, що зі збільшенням кінематичного показника роботи безківшевого ротора зменшується товщина зрізуваної стружки, збільшується ступінь подрібнення ґрунту під час відділення його від масиву. Як наслідок, збільшується проковзування ґрунту у внутрішніх кільцевих порожнинах ротора, що суттєво підвищує енергоємність розробки ґрунту. З графіка (див. рис. 5) слідує, що з досягненням величини кінематичного показника орієнтовно 6-7 вірогідне виникнення явища заштибування робочого органа – коли ротор не зможе підняти з забою об'єм ґрунту відділений від масиву за вказаної швидкості подачі екскаватора. За результатами виконаних досліджень можна стверджувати, що для забезпечення ефективної розробки ґрунтів безківшевим ротором з енергоємністю 0,200…0,250 кВт·год/м^3, значення кінематичного показника роботи ротора повинно бути в межах 6…10. Вирішення задачі пошуку критичного значення величини кінематичного показника роботи ротора в ґрунтах з різними фізико-механічними властивостями слід вважати предметом подальших досліджень.

Зміна геометричних розмірів траверс ротора (насамперед їх довжини-лінійного розміру в площині диска ротора) та кута установки α відносно радіуса центрального диска за результатами виконаних експериментальних досліджень доволі суттєво впливають на енергоємність розробки ґрунтів безківшевим роторним робочим органом.

Встановлено, що зі збільшенням довжини траверс енергоємність розробки ґрунту збільшується, рис. 6. Так за збільшення довжини траверс від 0,15 м до 0,40 м (в перерахунку на «натуру») і копанні ґрунту на різних режимах роботи ротора загальна енергоємність розробки ґрунту збільшується на 36…38 %.

Темпи збільшення енергоємності розробки ґрунту, на наш погляд пояснюються тим, що нормальні по відношенню до траверс ротора навантаження з боку ґрунту, який транспортується у внутрішніх кільцевих порожнинах при зміні тільки довжини траверс залишаються незмінними.

В той же час дотичні складові зовнішніх сил, що діють на ротор з траверсами збільшеної довжини в процесі копання ґрунту збільшуються на 32…93 %. Збільшення дотичних навантажень приводить до збільшення крутного моменту на приводі ротора і, як наслідок, до збільшення енергоємності розробки ґрунту. Збільшення дотичних навантажень на траверси ротора обумовлюється збільшенням сил тертя транспортованого у зовнішніх кільцевих порожнинах ґрунту по поверхні забою. Причиною цього є той факт, що в процесі копання ґрунту ротором частина зрізаного ґрунту не попадає у внутрішні кільцеві порожнини, а накопичується між поверхнею забою та корпусами траверс утворюючи своєрідне кільце з ущільненого ґрунту. Маса накопиченого ґрунту тим більша, чим більша довжина траверс.

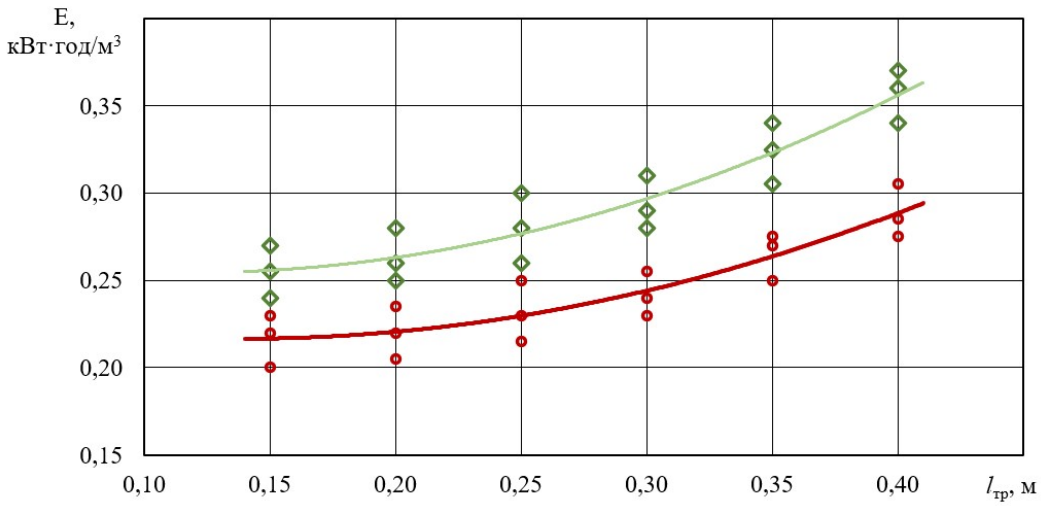


Рисунок 6 – Залежність енергоємності розробки ґрунту ротором за зміни довжини траверс:
○ – $V_р$ = 0,896 м/с; $V_е$ = 0,116 м/с; $C_{уд.}$ = 20; ◇ – $V_р$ = 1,635 м/с; $V_е$ = 0,116 м/с; $C_{уд.}$ = 20
Figure 6 – Dependence of soil excavation energy intensity by the rotor on changes in traverses length
○ – $V_р$ = 0,896 m/s; $V_е$ = 0,116 m/s; $C_{sh.}$ = 20; ◇ – $V_р$ = 1,635 m/s; $V_е$ = 0,116 m/s; $C_{sh.}$ = 20

Таким чином, логічним є висновок про те, що зі збільшенням довжини траверс має місце монотонне зростання енергоємності розробки ґрунту. Це значить що довжина траверс має вибиратись по можливості меншою, виходячи з умови забезпечення конструктивної міцності траверс та можливості кріплення на них ґрунторозробних різців. Збільшення кута установки траверс від 15˚ до 25˚ приводить до зменшення енергоємності розробки ґрунту на 10…18 %, рис. 7, що пояснюється, насамперед, змінною самої суті транспортування ротором розробленого ґрунту, на розвантаження – доволі значним стає ефект переміщення траверсами ротора ґрунту на розвантажувальні скребки. Цей ефект підсилюється зі збільшенням швидкості різання ґрунту.

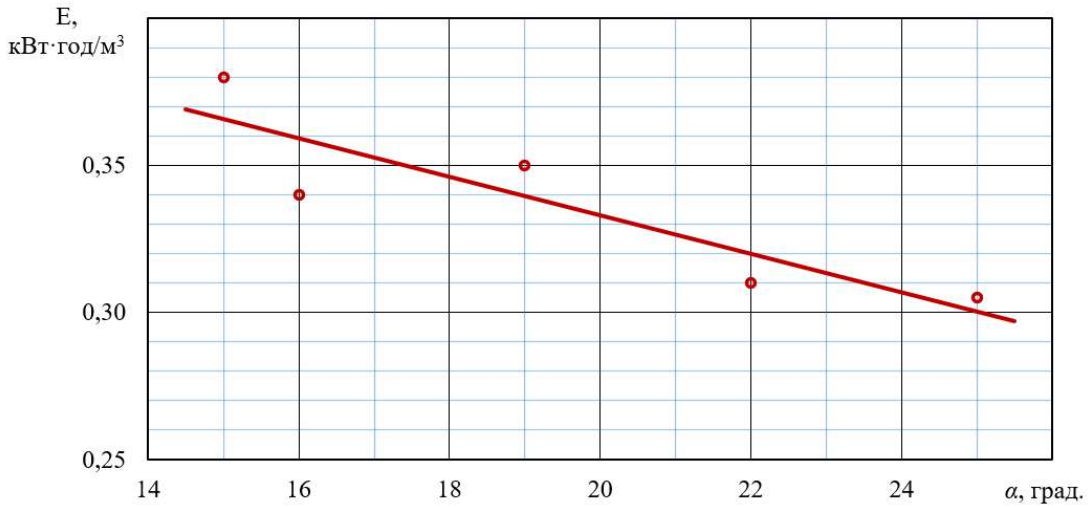


Рисунок 7 – Залежність енергоємності розробки ґрунту від зміни кута встановлення траверс до диску ротора
Figure 7 – Dependence of soil excavation energy intensity on changes in the angle of traverse installation to the rotor disk

Негативним моментом збільшення кута установки траверс на диску є збільшення фактичної товщини зовнішньої кільцевої порожнини ротора. Внаслідок цього гравітаційне розвантаження ґрунту з зовнішньої кільцевої порожнини ускладняється, що приводить до збільшення залишкових просипів ґрунту на дні споруджуваної траншеї.

Таким чином, можна стверджувати, що збільшення кута установки траверс на диску ротора до 20°…25° може дати суттєвий ефект в процесі розробки сипучих, незв'язних ґрунтів зі швидкостями різання ґрунту, що забезпечують гравітаційне його розвантаження з зовнішньої кільцевої порожнини ротора. Для роботи безківшевого ротора у в'язких, липких ґрунтах, збільшення кута установки траверс зверх 15◦ буде давати негативний результат.

Висновки та рекомендації.

1. Виконанні дослідження та їх результати дозволяють стверджувати про можливість створення, з використанням безківшевих роторних робочих органів, екскаваторів поздовжнього копання високої продуктивності, енергоємність розробки ґрунту якими становить до 0,25…0,32 кВт·год/м^3.

2. В результаті виконаних експериментальних досліджень з довірчою вірогідністю 0,95, похибкою вимірювань не більше 10% встановлено, що за зміни кінематичного показника режиму роботи безківшевого роторного робочого органа в межах від 8 до 17 енергоємність розробки ґрунтів збільшується на 38-40 %.

3. Під час роботи ротора на режимах, що характеризується кінематичним показником 6…10, енергоємність розробки ґрунту становить 0,25…0,30 кВт·год/м^3, що характерно для роботи траншейних екскаваторів традиційних конструкцій.

4. Під час конструювання безківшевих роторних робочих органів екскаваторів поздовжнього копання довжина траверс має вибиратись мінімальною за умови забезпечення їх міцності.

5. Кут установки траверс на диску ротора має бути в межах 15°…20º, що забезпечать гравітаційне розвантаження з зовнішньої кільцевої порожнини ротора як сипучих так і липких, зв'язних ґрунтів.

Перелік посилань

1. Мусійко В.Д., Коваль А.Б. Теорія та створення інноваційних землерийних машин безперервної дії: монографія. Видання друге, доповнене. Київ. 2018. 282 с.

2. Patent DE 102007056592, 19.06.2008.

3. Patent US 5521579, 28.05.1996.

4. Patent US 5601383, 11.02.1997.

5. Patent JP 2000291048 A, 17.10.2000.

6. Патент України на винахід № 100321. Дмитриченко М.Ф., Мусійко В.Д., Білякович М.О., Кузьмінець М.П., Клименко Ю.М., Поліщук О.В. Робочий орган роторного траншейного екскаватора.

7. Патент України на винахід № 99049. Дмитриченко М.Ф., Мусійко В.Д., Білякович М.О., Кузьмінець М.П., Клименко Ю.М. Робочий орган роторного екскаватора.

8. Мусійко В.Д. Фізико-математичне моделювання робочих процесів землерийних машин безперервної дії. Вісник НТУ. Вип. 1(31). – Київ: НТУ, 2015. – С. 385-394.

9. Мусійко В.Д., Клименко Ю.М. Безковшовий роторний робочий орган землерийної машини з двохступеневим розвантаженням. Вісник НТУ: В 2-х частинах: Ч.1. – К.: НТУ, 2009.– Випуск 19. – С. 116-130.

10. Мусійко В.Д., Клименко Ю.М. Математична модель процесу розвантаження ґрунту із зовнішньої кільцевої порожнини безковшового ротора траншейного екскаватора. Сб. науч. тр. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Вып. № 46. – Днепропетровск: ГВУЗ "ПГАСА", 2009. – С. 130-137.

11. Мусійко В.Д., Клименко Ю.М. Вибір оптимальних конструктивних параметрів лоткового розвантажувального вузла безківшового ротора траншейного екскаватора. Збірник наукових праць (Серія «Галузеве машинобудування, будівництво»). Вип. № 1(31). Полтава: ПНТУ, 2012. С. 119-124.

12. Мусійко В.Д., Коваль А.Б. Вдосконалення траншейного екскаватора з безківшовим роторним робочим органом. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків : Українська державна академія залізничного транспорту, 2014. – Вип. 148. – С.49-54.

RESEARCH OF THE IMPACT OF KINEMATIC AND GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF BUCKETLESS ROTARY WORKING BODIES OF TRENCH EXCAVATORS ON THE ENERGY INTENSITY OF SOIL EXCAVATION

Koval Andrii B., PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, Associate Professor of Department of engineering of transport construction machines, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: kandr6104@gmail.com, +3805002408947, https://orcid.org/0000-0003-1295-8200, SCOPUS id 57220055768

Patsora Danulo I., master of Science, graduate student of Department of engineering of transport construction machines, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: dpatsora@gmail.com, tel. +380996460618, https://orcid.org/0000-0001-9515-3672

Summary. This article delves into the determination of the physical essence of the working process of bucketless rotary working body in longitudinal digging excavators and the rational choice of their kinematic and geometric parameters. The research was conducted using a physical-mathematical modelling stand for continuous-action earthmoving machinery processes, with a physical model of a bucketless rotary working body of a trenching excavator manufactured at a 1:5 scale. The study explores and elucidates the physical nature of trench excavation using a bucketless rotary working body. The process of soil development involves the extraction of soil chips by the rotor from the mass, the movement of the excavated soil into the internal annular cavities of the rotor, jamming the mentioned soil mass in these cavities, and lifting the soil concentrated in these voids to the unloading node of the rotor through the frictional forces of the soil on the working surfaces of the rotor and soil unloading. The transport of the excavated soil by the rotor for unloading is carried out in a continuous flow, rather than in separate portions, as is the case with the working bodies of traditional design.

Forced unloading of soil from the rotor using two-stage unloading nodes allows for effective soil development over a wide range of cutting speeds and fully utilizes any power capacity of the machine's power plant. This advantage of bucketless rotary working bodies in trenching excavators over other traditional designs of working equipment is unique. An analysis of the obtained results of experimental studies of the physical model (1:5 scale) of the bucketless rotary working body of the excavator enabled the determination of the energy intensity of soil excavation, the range of possible changes in the productivity of trenching excavators with bucketless rotary working bodies when changing machine operating modes. It has been proven that the energy intensity of soil excavation with bucketless rotary working bodies is in the range of 0.25…0.30 kWh/m³. Rational values of the constructive parameters of the rotor, namely the width of the rotor's cross-arms and the angle of their installation on the central disk of the rotor, have been established as the main constructive parameters of the rotor.

Keywords: trenching excavator, kinematic indicator, rotor, trench, energy intensity

References

1. Musiiko V. D., Koval A.B. Teoriia ta stvorennia innovatsiinykh zemleryinykh mashyn bezperervnoi dii (Theory and creation of innovative earthmoving machines of continuous action) Kyiv. Vydavnytstvo Ludmyla Publ. 2018. 282 s. [in Ukrainian].

2. Patent DE 102007056592, 19.06.2008.

3. Patent US 5521579, 28.05.1996.

4. Patent US 5601383, 11.02.1997.

5. Patent JP 2000291048 A, 17.10.2000.

6. Patent Ukrainy № 100321. Dmytrychenko M.F., Musiiko V.D., Biliakovych M.O., Kuzminets M.P., Klymenko Yu.M., Polishchuk O.V. Robochyi orhan rotornoho transheinoho ekskavatora. (Patent of Ukraine № 100321. Working attachment of a rotor trench excavator). [in Ukrainian].

7. Patent Ukrainy № 99049. Dmytrychenko M.F., Musiiko V.D., Biliakovych M.O., Kuzminets M.P., Klymenko Yu.M. Robochyi orhan rotornoho ekskavatora. (Patent of Ukraine № 100321. Working attachment of a rotor excavator). [in Ukrainian].

8. Musiiko V.D. Phisico-mathematical modeling of the work processes for continuous earthmoving machines. Visnyk National Transport University. Kyiv. National Transport University. 2015. Vol. 1(31). S. 385-394 [in Ukrainian].

9. Musiiko V.D., Klymenko Yu.M. Bezkovshovyi rotornyi robochyi orhan zemleryinoi mashyny z dvokhstupenevym rozvantahzenniam (Bucketless rotary working body of the earthmoving machine with two-stage unloading). Visnyk National Transport University. Kyiv. National Transport University. 2009. Vol. 19. Part 2. S. 116-130 [in Ukrainian].

10. Musiiko V.D., Klymenko Yu.M. Matematychna model protsesu rozvantazhennia gruntu iz zovnishnoi kiltsevoi porohznyny bezkovshovoho rotora transheinoho ekskavatora. (Mathematical model of the soil unloading process from the outer annular cavity of the bucketless rotor of the trench excavator). Construction, materials science, mechanical engineering. Lifting and transport, construction and road machines and equipment. № 48. Dnepropetrovsk, 2009. S. 130-137 [in Ukrainian].

11. Musiiko V.D., Klymenko Y.M. The choice of optimal design parameters tray discharge sitebucket without rotor trenchers. Academic Journal Industrial Machine Building, Civil Engineering. Poltava, 2012. Vol.1(31). S.119-124 [in Ukrainian].

12. Musiiko V.D., Koval A.B. Improvement of the trench excavator with bucketless rotary implement. Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport. Kharkiv, 2014. Vol. 148. Part 1. S. 49-54[in Ukrainian].

УДК 338.12 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-170-179**
UDC 338.12

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

CURRENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS OF THE TRANSPORT INDUSTRY OF UKRAINE



***Бойко Вікторія Валеріївна**, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економіки, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail:tori704@bigmir.net, тел. 0442803016,*

https://orcid.org/0000-0002-3312-5948



***Складанівська Ольга Олександрівна**, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: velbvec04@ukr.net, тел. +380966155108*

https://orcid.org/0000-0003-0941-371X

Анотація. У статті досліджено сучасний стан транспортної галузі України, а також проблеми та перспективи її розвитку, запропоновані шляхи вирішення конкретних завдань для зміцнення позицій України на світовому ринку всієї транспортної інфраструктури. Для цього в даному дослідженні визначені основні показники, які відображають поточний стан транспортної галузі: динаміка та структура вантажо- та пасажирообігу, обсяги перевезення, кількість діючих підприємств галузі, внесок транспортного сектору у формування ВВП, інвестиційна привабливість галузі.

Для забезпечення сталого розвитку та стабільності транспортної галузі актуальним стає проведення аналізу її поточного стану. На основі отриманих результатів можна розробляти та запроваджувати дієві механізми для підвищення рівня розвитку даної галузі. Для України, яка зіштовхнулась із викликами військового характеру, вирішення безпекових завдань, пов'язаних із побудовою ефективної транспортної галузі є одним з найбільш важливих кроків на шляху збереження її державності та територіальної цілісності.

Проведене дослідження опосередковано відображує стан транспортної галузі, який проведений в розрізі автотранспорту України. Такий аналіз є вихідною базою для комплексної оцінки галузі, виявлення основних тенденцій, розробки стратегії та прогнозів їх розвитку на перспективу.

Ключові слова: транспортна галузь, аналіз, вантажні перевезення, пасажирські перевезення, підприємство.

Вступ. Транспортна галузь є важливою складовою комплексу інфраструктурних галузей України, яка впливає на ефективність функціонування та розвиток інших галузей економіки.

Транспортна галузь країни впливає на якість життя населення, розвиток та конкурентоспроможність економіки, забезпечуючи виробничі та невиробничі потреби в перевезеннях. Актуальність розвитку транспортної галузі обумовлюється його особливим значенням не лише для суспільного виробництва, а й для забезпечення національної безпеки та обороноздатності країни в сучасних умовах. Тому виникає необхідність проведення аналізу стану транспортної галузі та виявлення її тенденцій розвитку.

Оцінка стану транспортної галузі дозволяє виявити проблемні місця та визначити основні напрямки її розвитку.

Аналіз публікацій та постановка завдання. Проблемам функціонування транспортної галузі України, її впливу на економічний стан і розвиток країни, присвячені праці таких вчених, як: О.Є. Бабина, Н.М. Бондар [1], Ю.О. Крихтіна [2], Л.В. Кушнір [3], О.М. Ложачевська [4], Є.С. Чупрін, Д.В. Кондратенко, Є.М. Гелеверя [5] та багатьох інших. У наукових публікаціях приділяється увага значному колу питань щодо розвитку транспортної галузі України, проте суттєві зміни, які відбуваються в умовах функціонування підприємств транспорту в останні роки, що обумовлені карантинними обмеженнями і воєнними діями на території України потребують виявленню основних проблем і тенденцій на сучасному етапі розвитку та визначення шляхів їх вирішення.

Метою статті є проведення аналізу сучасного стану транспортної галузі України, виокремлення тенденцій розвитку для виявлення проблемних місць у її функціонуванні та визначенні шляхів їх вирішення.

Виклад основного матеріалу. Тенденції розвитку транспортної галузі України можна дослідити за основними показниками її роботи: внеском галузі у формування внутрішнього валового продукту країни, кількістю діючих транспортних підприємств, технічним станом основних засобів, обсягом інвестицій в основний капітал, обсягом перевезень вантажів та пасажирів, вантажо- та пасажирообігом. Проаналізуємо основні показники діяльності підприємств транспорту за 2014-2022 рр..

Важливим показником, який характеризує масштабність транспортної галузі у національній економіці є внесок у формування внутрішнього валового продукту (ВВП) країни. За даними рис. 1 видно, що протягом аналізованого періоду спостерігається зниження частки виду економічної діяльності (ВЕД) «Транспорт, складське господарство, кур'єрська та поштова діяльність» в ВВП з 6,36% у 2014 р. до 3,94% у 2022 р., що складає 204,5 млрд.грн [6]. Негативний вплив на величину даного показника здійснили карантинні обмеження, спричинені COVID-19 (у 2020-2021 рр.), повномасштабні воєнні дії на території країни (у 2022 р.). Проте транспорт залишається в десятці ВЕД, які мають найбільші частки в структурі формування ВВП країни. Суттєвий внесок транспортної галузі у формування ВВП України актуалізує необхідність систематизації теоретичних і прикладних аспектів економічного розвитку вітчизняних підприємств транспорту в умовах ринкової економіки.

Потрібно відзначити, що протягом аналізованого періоду за ВЕД «Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність» спостерігається зменшення кількості підприємств на 15% [7]. В структурі загальної кількості діючих підприємств транспорту найбільша частка належить малим підприємствам - в середньому 98,8% (з них мікропідприємства – 98,8%), середнім – близько 1,2%, і найменша частка - великим підприємствам (0,03%). Отже, підприємства транспорту функціонують на конкурентному ринку, оскільки мале підприємництво формує конкурентне середовище, оперативно реагуючи на зміни кон'юнктури ринку, надає ринковій економіці необхідної гнучкості, робить вагомий внесок у вирішення проблеми зайнятості населення.



Рисунок 1 – Динаміка частки ВЕД «Транспорт, складське господарство, кур'єрська та поштова діяльність» в структурі ВВП протягом 2014-2022 рр.

Figure 1 – Dynamics of the share of "Transport, warehousing, courier and postal activities" in the GDP structure during 2014-2022

Джерело: створено авторами на основі [6].

Проведений аналіз засвідчив, що у 2014-2022 рр. майже тридцять відсотків підприємств України отримали негативний фінансовий результат. За аналізований період спостерігається неоднозначна динаміка кількості збиткових підприємств, а частка підприємств транспорту, які працювали нерентабельно перевищував загальнонаціональні показники, проте у 2022 р. частка збиткових підприємств в цілому по Україні становила 33,9%, а в сфері транспорту та зв'язку – 31,6% [7]. Таким чином, діяльність транспортних підприємств можна оцінити як недостатньо ефективну, що свідчить про нераціональне використання ресурсів та загострення фінансових проблем.

Аналіз статистичних даних свідчить про те, що спостерігається скорочення темпів оновлення парку транспортних засобів. В зв'язку з чим відбувається погіршення технічного стану основних засобів підприємств транспортної галузі, збільшується ступінь зносу, знижується фондовіддача. Так, на 2021 р. ступінь зносу основних засобів характеризується як висока і становила 48,2%. Найбільший ступінь зносу спостерігається на наземному і трубопровідному транспорті – 55,1% [7].

Для вирішення проблеми технічного стану основних засобів підприємств транспортної галузі необхідні інвестиції в основний капітал. Важливим індикатором можливостей галузі щодо подальшого розвитку є її інвестиційна привабливість та активність. В цьому відношенні транспортна галузь є інвестиційно-привабливою, про що свідчать обсяги вкладень в основний капітал за видами економічної діяльності [8]. Частка капітальних інвестицій у ВЕД «Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність» в загальному обсязі капітальних інвестицій за аналізований період зросла з 7,1% у 2014 р. до 12,1% у 2022 р. і становила 49532,9 млн.грн (табл. 1). Найбільше за сумою капітальних інвестицій припадає на наземний і трубопровідний транспорт (6%) і зокрема на вантажний залізничний транспорт (3,6%), у 2022 р. вони склали відповідно 24726,2 млн.грн та 14863,1 млн.грн.

Таблиця 1 – Капітальні інвестиції за ВЕД «Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність»

Table 1 – Capital investments, by type of economic activity «Transport and storage, postal and courier activities»

Вид транспорту		Роки								
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Усього капітальних інвестицій	Сума, млн.грн	219419,9	251154,3	326163,7	448461,5	578726,4	623978,9	508217,0	673899,3	409660,0
	Питома вага, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	Сума, млн.грн	15498,2	16277,9	24737,7	37943,5	50078,3	43792,8	34884,6	43944,6	49532,9
	Питома вага, %	7,1	6,5	7,6	8,5	8,7	7,0	6,9	6,5	12,1
Наземний і трубопровідний транспорт	Сума, млн.грн	3916,2	7218,0	14957,2	22245,7	31005,7	24569,7	20208,3	27941,6	24726,2
	Питома вага, %	1,8	2,9	4,6	5,0	5,4	3,9	4,0	4,1	6,0
вантажний залізничний транспорт	Сума, млн.грн	-	-	6929,7	11312,0	17690,3	11416,4	8708,6	14775,8	14863,1
	Питома вага, %	-	-	2,1	2,5	3,1	1,8	1,7	2,2	3,6
вантажний автомобільний транспорт	Сума, млн.грн	1470,5	3161,1	2834,9	4428,6	5819,6	5240,5	4136,9	4966,1	5500,5
	Питома вага, %	0,7	1,3	0,9	1,0	1,0	0,8	0,8	0,7	1,3
трубопровідний транспорт	Сума, млн.грн	577,7	1009,4	2831,4	2432,2	2224,4	3557,8	2173,1	4342,9	-
	Питома вага, %	0,3	0,4	0,9	0,5	0,4	0,6	0,5	0,6	-
Водний	Сума, млн.грн	204,8	333,8	234,2	253,7	198,2	252,4	325,6	232,1	84,6
	Питома вага, %	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0,1	0	0
Авіаційний	Сума, млн.грн	410,2	658,7	697,6	1302,5	1527,7	1767,9	856,2	1598,0	685,6
	Питома вага, %	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,2

Джерело: створено авторами на основі [8].

Динаміка перевезень вантажів різними видами транспорту протягом 2014–2021 рр. [7] (табл. 2) свідчить про коливання досліджуваних показників. За період, що аналізується спостерігається зниження обсягів перевезення вантажів за всіма видами транспорту, що пов'язано з складною економічною та політичною ситуацією в країні. Найбільші обсяги перевезень вантажу припадають на 2018 рік – 1643 млн. т. (з них автомобільним транспортом перевезено 1206 млн. т., що на 7% більше, ніж у 2017 році). У 2021 році спостерігається падіння обсягів перевезень, що є наслідками спричиненими карантинними обмеженнями через пандемію COVID-19. У 2022 році було здійснено 317,5 млн. т перевезень вантажів всіма видами транспорту або 51,1% від обсягу попереднього року [6]. Основними причинами такого різкого зниження обсягів є військова агресія з боку РФ.

У структурі вантажних перевезень в Україні за видами транспорту у 2021 р. переважає автомобільний транспорт – його частка становить 74%, питома вага залізничного транспорту у структурі перевезень вантажів – 21%, трубопровідного – 5%, авіаційного – 0,01 % [7]. Слід зазначити, що перевезення автомобільним транспортом у загальному обсязі перевезень вантажів з 2015 року зростає (за виключенням 2020 р.), що свідчить про процес загострення конкуренції серед перевізників.

Таблиця 2 – Обсяг перевезень вантажів за видами транспорту
Table 2 – Freight transportation by type of transport

Вид транспорту		Роки							
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Усі види транспорту, в т.ч.:	Обсяг, млн.т.	1623	1474	1543	1582	1643	1579	1641	1518
	Темп зростання, %	90	91	105	103	104	96	104	93
	Питома вага, %	100	100	100	100	100	100	100	100
залізничний	Обсяг, млн.т.	386	350,0	343	339	322	313	306	314
	Темп зростання, %	89	91	98	99	95	97	98	103
	Питома вага, %	24	24	22	22	20	20	19	21
автомобільний	Обсяг, млн.т.	1131	1021	1086	1122	1206	1147	1232	1121
	Темп зростання, %	92	90	106	103	107	95	107	91
	Питома вага, %	70	69	71	71	73	73	75	74
водний	Обсяг, млн.т.	6,0	6,4	6,7	5,9	5,6	6,1	5,6	5
	Темп зростання, %	95	108,4	103,5	88	95	109	92	95
	Питома вага, %	0,36	0,0	0,44	0,37	0,36	0,0	0,0	0,0
трубопровідний	Обсяг, млн.т.	100	97	107	115	109	113	97	78
	Темп зростання, %	80	98	110	108	95	103	87	80
	Питома вага, %	6	7	7	7	7	7	6	5
авіаційний	Обсяг, млн.т.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Темп зростання, %	85	88	107	112	120	93	95	93
	Питома вага, %	0,01	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Джерело: створено авторами на основі [7].

Воєнні дії на території України, карантинні обмеження через пандемію COVID-19 сприяли зниженню попиту на послуги вантажного транспорту у 2014-2021 р.. Вантажообіг залізничним, водним та трубопровідним транспортом характеризується негативною динамікою, натомість на автомобільному та авіаційному транспорті спостерігається зростання вантажообігу за період, що розглядається (табл. 3). У 2022 році відбувся спад вантажообігу, який становить 166,7 млрд. ткм, що на 42,43% менше, ніж в попередньому році. Отже, показники діяльності підприємств транспорту впродовж аналізуємого періоду мають негативну динаміку, що потребує впровадження заходів для створення можливостей їх сталого розвитку.

Таблиця 3 – Обсяг та структура вантажообігу різними видами транспорту
Table 3 – Volume and structure of freight traffic by mode of transport

Вид транспорту		Роки							
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Усі види транспорту, в т.ч.:	млрд.ткм	335,2	334,7	344,2	364,2	361,3	355	313,2	304,7
	Питома вага, %	100	100	100	100	100	100	100	100
залізничний	млрд.ткм	209,6	195,1	187,6	191,9	186,3	181,8	175,6	180,4
	Питома вага, %	62,5	58	55	53	52	51	56	59
автомобільний	млрд.ткм	37,8	53,3	58	62,3	72,1	65	65,1	61,8
	Питома вага, %	11,3	16	17	17	20	18	21	20
водний	млрд.ткм	5,4	5,5	4,0	4,3	3,4	3,4	2,9	3,0
	Питома вага, %	1,6	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
трубопровідний	млрд.ткм	82,1	80,7	94,4	105,4	99,2	104,5	69,3	59,2
	Питома вага, %	24,4	24	27	29	27	30	22	20
авіаційний	млрд.ткм	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	Питома вага, %	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Джерело: створено авторами на основі [7].

В структурі вантажообігу у 2021 р. найбільшу частку займає залізничний транспорт – 59% (180,4 млрд. ткм), автомобільний – 20% (61,8 млрд. ткм), трубопровідний – 20% (59,2 млрд. ткм), а найменші частки належать водному (1,0% - 3,0 млрд. ткм) та авіаційному (0,1% - 0,3 млрд. ткм) транспорту. Частка вантажообігу автомобільним транспортом протягом 2014-2021 рр. має позитивну динаміку, що свідчить про зростання відстані перевезень вантажів даним видом транспорту.

У 2014-2021 рр спостерігається зменшення кількості перевезених пасажирів всіма видами вітчизняного транспорту на 55% (табл. 4). Значне зниження (на 40%) перевезень пасажирів відбулося у 2020 р., що пов'язано з пандемією. У 2021 р. транспортний сектор України демонструє зростання пасажирських перевезень, переважно через скасування, або пом'якшення карантинних обмежень.

У 2021 році послугами транспорту скористалися 2655,4 млн. пасажирів. Статистичні дані дають можливість стверджувати, що автомобільний транспорт посідає перше місце в структурі пасажирських перевезень: на автомобільні перевезення припадає 41,02% - 1089,3 млн. пас; питома вага перевезень тролейбусами складає 22,38% (594,4 млн. пас.), метрополітеном – 18,17% (482,6 млн. пас.), трамваями – 14,65% (389 млн. пас.). Найменша частка в структурі перевезень пасажирів належить: залізничному транспорту – 3,06% (81,3 млн. пас.), авіаційному - 0,35% (9,3 млн. пас.), водному транспорту – 0,02% (0,5 млн. пас.).

Таблиця 4 – Кількість перевезених пасажирів за видами транспорту
Table 4 – The number of transported passengers by mode of transport

Вид транспорту		Роки							
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Усі види транспорту, в т.ч.:	Обсяг, млн.пас	5902,3	5166,8	4853,8	4648,2	4487,1	4262,3	2570,2	2655,4
	Темп зростання, %	89,1	87,5	93,9	95,8	96,5	95,0	60,3	103,3
	Питома вага, %	100	100	100	100	100	100	100	100
залізничний	Обсяг, млн.пас.	389,3	389,8	389,1	164,9	158,0	154,8	68,3	81,3
	Темп зростання, %	91,6	100,1	99,8	42,4	95,8	98,0	44,1	119,0
	Питома вага, %	6,60	7,54	8,02	3,55	3,52	3,63	2,66	3,06
автомобільний	Обсяг, млн.пас.	2913,3	2250,3	2024,9	2019,3	1906,8	1804,9	1083,9	1089,3
	Темп зростання, %	87,1	77,2	90,0	99,7	94,4	94,7	60,1	100,5
	Питома вага, %	49,36	43,55	41,72	43,44	42,50	42,35	42,17	41,02
водний	Обсяг, млн.пас.	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,3	0,5
	Темп зростання, %	8,2	96,9	83,1	123,5	113,0	101,2	45,7	150,9
	Питома вага, %	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
метрополітенівський	Обсяг, млн.пас.	725,8	700,4	698,4	718,9	726,6	715,0	411,1	482,6
	Темп зростання, %	93,7	96,5	99,7	102,9	101,1	98,4	57,5	117,4
	Питома вага, %	12,30	13,56	14,39	15,47	16,19	16,77	15,99	18,17
трамвайний	Обсяг, млн.пас.	769,9	738,6	694,0	675,8	666,3	627,5	422,8	389,0
	Темп зростання, %	101,7	95,9	94,0	97,4	98,6	94,2	67,4	94,1
	Питома вага, %	13,04	14,30	14,30	14,54	14,85	14,72	16,45	14,65
тролейбусний	Обсяг, млн.пас.	1096,9	1080,8	1038,7	1058,1	1016,2	945,7	549,0	594,4
	Темп зростання, %	84,0	98,5	96,1	101,9	96,0	93,1	61,2	102,7
	Питома вага, %	18,58	20,92	21,40	22,76	22,65	22,19	21,36	22,38
авіаційний	Обсяг, млн.пас.	6,5	6,3	8,3	10,6	12,5	13,7	4,8	9,3
	Темп зростання, %	79,8	97,4	131,3	127,5	118,7	109,4	35,0	194,9
	Питома вага, %	0,11	0,12	0,17	0,23	0,28	0,32	0,19	0,35

Джерело: створено авторами на основі [7].

Пасажирообіг у 2014-2021 рр., як і вантажообіг, має неоднозначну динаміку (табл. 5). За аналізуємий період спостерігається суттєве зменшення пасажирообігу – на 41%. Найвищих значень пасажирообіг досягнув у 2019 році (107,2 млрд. пас.км). Найбільший темп скорочення пасажирообігу спостерігався у 2020 р. – на 54,3% порівняно з попереднім роком. У 2022 році пасажирообіг підприємств транспорту становив 31,1 млрд. пас.км., або 49,64 % від пасажирообігу 2021 року [6], що спричинено початком повномасштабного вторгнення РФ на територію України.

У структурі пасажирообігу 2021 р., який становить 62,7 млрд. пас.км, найбільша частка припадає на перевезення автомобільним (29,91% - 18,8 млрд. пас.км), авіаційним (29,86% - 18,7 млрд. пас.км) та залізничним (25,04% - 15,7 млрд. пас.км) транспортом, а найменша – метрополітеновським (5,85% - 3,7 млрд. пас.км), тролейбусним (5,53% - 3,5 млрд. пас.км), трамвайним (3,81 % - 2,4 млрд. пас.км) та водним (0,01% - 0,6 млрд. пас.км) транспортом. Треба відзначити, що частка автомобільного транспорту в пасажирообігу скоротилася з 40,09% у 2014 р. до 29,91% у 2021 р.

Таблиця 5 – Обсяг та структура пасажирообігу за різними видами транспорту
Table 5 – Volume and structure of passenger turnover by mode of transport

Вид транспорту		Роки							
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Усі види транспорту, в т.ч.:	Обсяг, млрд. пас.км	106,3	97,0	102,2	99,4	104,4	107,2	49,0	62,7
	Питома вага, %	100	100	100	100	100	100	100	100
залізничний	Обсяг, млрд. пас.км	35,9	35,4	36,8	28,1	28,7	28,4	10,7	15,7
	Питома вага, %	33,73	36,45	36,05	28,24	27,46	26,51	21,81	25,04
автомобільний	Обсяг, млрд. пас.км	42,6	34,6	34,6	35,5	34,6	33,9	19,1	18,8
	Питома вага, %	40,09	35,64	33,81	35,72	33,09	31,61	38,94	29,91
водний	Обсяг, млрд. пас.км	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06
	Питома вага, %	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01
метрополі-тенівський	Обсяг, млрд. пас.км	5,6	5,4	5,4	5,5	5,6	5,5	3,1	3,7
	Питома вага, %	5,23	5,53	5,24	5,54	5,32	5,11	6,41	5,85
трамвайний	Обсяг, млрд. пас.км.	4,3	4,2	3,9	3,9	3,9	3,7	2,5	2,4
	Питома вага, %	4,04	4,37	3,91	3,95	3,76	3,48	5,18	3,81
тролейбусний	Обсяг, млрд. пас.км	6,4	6,1	5,9	6,0	5,8	5,4	3,5	3,5
	Питома вага, %	5,99	6,28	5,77	6,05	5,56	5,05	7,04	5,53
авіаційний	Обсяг, млрд. пас.км	11,6	11,4	15,6	20,3	25,9	30,2	10,1	18,7
	Питома вага, %	10,89	11,71	15,20	20,47	24,79	28,22	20,61	29,86

Джерело: створено авторами на основі [7].

З 2014 року транспортна галузь як частина економіки України функціонувала в умовах гібридної війни РФ проти України та, виявивши відносну стійкість, перейшла від фази кризи до фази відновлювального зростання. Упродовж 2021 – на початку 2022 років транспорт найбільше серед інших ВЕД відчув вплив карантинних обмежень. Падіння темпів обсягів перевезень і скорочення обсягів вантажообігу і пасажирообігу відбулося через жорсткі обмеження діяльності галузі в середині країни та в світі з метою мінімізації поширення пандемії COVID-19 в умовах глобального уповільнення економічної активності [9].

Таким чином, формування тенденцій розвитку транспортної галузі обумовлено наступними основними чинниками: значним зниженням економічної активності в країні та світі; високим ступенем зносу основних засобів; зниженням попиту з боку основних користувачів на послуги галузі. Впровадження антикризових державних заходів, спрямованих на підтримку населення та бізнесу, а також пом'якшення карантинних обмежень в середині країни, стали факторами, які дозволили перейти до поступового економічного відновлення галузі.

В умовах повномасштабної війни з 2022 р. сфера транспорту зазнала найбільших втрат через: руйнування виробничих потужностей; скорочення попиту населення, яке опиняється в окупації, в зоні активних воєнних дій або вимушено покидає Україну; скорочення економічної активності у сфері послуг та окремих видах промислової діяльності; зруйновану транспортну інфраструктуру, заблоковані порти [10]. Відновленню активності діяльності підприємств транспорту сприяє запроваджена на період дії правового режиму воєнного стану нова економічна політика, основними елементами якої стали:

- програма релокації підприємств на безпечну територію;
- формування державного замовлення на продукцію;
- впровадження низки важливих рішень з дерегуляції;

-нова податкова політика, спрямована на зменшення фіскального навантаження на підприємства;

-програми безвідсоткового кредитування для всіх сфер бізнесу;

-програма грошових виплат для внутрішньо переміщених осіб (ВПО) «єПідтримка».

В сучасних умовах ефективність функціонування транспортної галузі значною мірою залежатиме від відновлення її цілісності: маршрутів пасажирських та вантажних перевезень з урахуванням попиту на транспортні послуги та потреб безпеки, організації мультимодальної взаємодії, поліпшення логістичної зв'язаності внутрішніх і міжнародних перевезень, відновлення безперешкодного руху автомобільного транспорту в регіонах, які перебували в зонах бойових дій [10].

Відновленню вітчизняної економіки, її конкурентоспроможності як на внутрішньому, так і на зовнішніх ринках сприятиме використання всього потенціалу транспортної галузі, а для цього необхідним завданням є усунення проблем у сфері реформування та розвитку транспортного сектору. Основними напрямками державної політики, які дозволять вирішити ці проблеми є:

-створення умов для повноцінного відтворення та модернізації основних засобів у транспортній галузі;

-запровадження конкурентного тарифного регулювання;

-інтеграція транспортного сектору України до світової транспортної системи за рахунок адаптації вітчизняного законодавства у транспортній сфері з міжнародними нормами;

-інтенсифікація співпраці України з міжнародними фінансовими організаціями з метою залучення фінансової допомоги для модернізації дорожньо-транспортної інфраструктури;

-розвиток мультимодальних потужностей перевезення вантажів;

-оптимізація структури перевезень завдяки використанню незадіяних можливостей окремих видів транспорту.

-передача збиткових або зношених об'єктів транспортної інфраструктури у концесію [10].

Висновки. Аналіз сучасного рівня розвитку транспортної галузі України свідчить про наявність негативних тенденцій і неповну відповідність пріоритетам сталого розвитку країни. Досить складно відбувається пристосування вітчизняного транспортного сектору до сучасних реалій функціонування світового ринку високоінтегрованих транспортно-логістичних ланцюгів. Роль України на світовому ринку транспортних послуг зовсім незначна, що пов'язано з неоптимальним використанням транспортного потенціалу. Існує ціла низка проблем та суперечностей, які заважають повноцінно реалізовувати транспортний потенціал та гальмують розвиток транспортної галузі України в сучасних умовах.

Причинами нестабільності розвитку транспортній галузі можна виділити негативний вплив як внутрішніх, так і зовнішніх факторів: недосконала тарифна політика, низька транзитна привабливість, недостатній технологічний рівень, зношення рухомого складу, політична ситуація в країні, зниження рівня доходів населення, відсутність обґрунтованих стратегічних програм щодо розвитку окремих видів транспорту і транспортної системи в цілому. Для подальшого розвитку транспортної галузі в даних умовах сучасних викликів та ризиків необхідна цілісна система прийняття і здійснення ефективних управлінських рішень.

Для сталого розвитку транспортної галузі в довгостроковій перспективі варто: забезпечити повноцінне використання потенціалу всіх видів транспорту з урахуванням їх сильних та слабких сторін, а також міжнародного досвіду; створити законодавчо визначені умови, що стимулюють інвестиції та підвищити інвестиційну привабливість галузі шляхом забезпечення розвитку відповідного конкурентного середовища; всебічно сприяти розвитку транспортно-логістичної інфраструктури; пришвидшити процес відповідності вітчизняного законодавства до загальноєвропейських норм у сфері транспорту [2, 9, 11].

Перелік посилань

1. Малиш Н. А. Економічний аналіз транспортної інфраструктури України / Н.А. Малиш, Н. М. Бондар // Вісник Національної академії державного управління при Президентові України. - 2016. - Вип. 2. - С. 50-57.
2. Крихтіна Ю. О. Державна політика розвитку транспортної галузі України: теорія, методологія, практика: монографія / Ю.О. Крихтіна . - Харків: «Діса плюс», 2022. - 336 с.
3. Кушнір Л.В. Науково-методичні підходи до визначення залежності між роботою транспорту та динамікою економічного розвитку / Л.В. Кушнір // Молодий вчений. - 2015. - № 5(20), ч. 2. - С. 15-19.
4. Ложачевська О. М. Сучасні аспекти специфіки управління автотранспортними підприємствами України / О.М. Ложачевська // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Національні економічні стратегії розвитку в глобальному середовищі». -2018. – С. 45-47.
5. Чупрін Є.С. Аналіз та перспективи розвитку транспортної галузі України з позиції автотранспортних підприємств / Є.С. Чупрін, Д.В. Кондратенко, Є.М. Гелеверя // Науковий вісник Ужгородського національного університету. - 2019. - Вип. 24. Ч. 3. - С. 125-130.
6. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.ukrstat.gov.ua/
7. Статистичний збірник «Транспорт України» за 2022 рік [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.ukrstat.gov.ua/
8. «Статистичний щорічник України» за 2022 рік [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.ukrstat.gov.ua/
9. Собкевич О.В. Антикризова політика в реальному секторі економіки України: пріоритетні напрями і завдання : аналіт. доп. / Собкевич О. В., Шевченко А. В., Русан В. М. та ін.; за наук. ред. Я. А. Жаліла. - Київ : НІСД, 2022. - 72 с. 9
10. Функціонування транспортного сектору України в умовах правового режиму воєнного стану. Огляд. Національний інститут стратегічних досліджень. 13.04.2022. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://niss.gov.ua/
11. Овчар П.А. Організаційно-управлінські особливості розвитку автомобільного транспорту України / П.А. Овчар // Науковий вісник Херсонського державного університету. - 2017. - Вип. 27. Ч. 1. - С. 76-80. 11

CURRENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS OF THE TRANSPORT INDUSTRY OF UKRAINE

Boiko Victoriia V., PhD, associate professor, associate professor, department of Economics, National Transport University, e-mail: tori704@bigmir.net, tel.0442803016, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1 of.313, orcid.org/0000-0002-3312-5948

Skladanivska Olha O., National Transport University, e-mail: velbvec04@ukr.net, tel.+380966155108, orcid.org/0000-0003-0941-371X

Abstract. The current state of the transport industry of Ukraine, as well as the problems and prospects of its development, proposed ways of solving specific tasks to strengthen the position of Ukraine in the world market of the entire transport infrastructure are studied in the article. For this purpose, this study determined the main indicators that reflect the current state of the transport industry: the dynamics and structure of freight and passenger traffic, the volume of transportation, the number of active enterprises in the industry, the contribution of the transport sector to the formation of GDP, the investment attractiveness of the industry.

To ensure the sustainable development and stability of the transport industry, it is important to analyze its current state. On the basis of the obtained results, it is possible to develop and implement effective mechanisms for increasing the level of development of this industry. For Ukraine, which has faced challenges of a military nature, solving security tasks related to the construction of an efficient transport industry is one of the most important steps on the way to preserving its statehood and territorial integrity.

The conducted research indirectly reflects the state of the transport industry, which was conducted in the section of motor vehicles of Ukraine. Such an analysis is the starting point for a comprehensive assessment of the industry, identification of main trends, development of a strategy and forecasts of their future development.

Key words: transport industry, analysis, truck transportation, passenger transportation, enterprise.

References

1. Malysh N. A., Bondar N. M. (2016). Ekonomichnyi analiz transportnoi infrastruktury Ukrainy [Economic analysis of transport infrastructure of Ukraine]. *Visnyk Natsionalnoi akademii derzhavnoho upravlinnia pry Prezydentovi Ukrainy - Bulletin of the National Academy of Public Administration under the President of Ukraine,* 2. 50-57. [in Ukrainian].

2. Krykhtina, Yu. O. (2022). *Derzhavna polityka rozvytku transportnoi haluzi Ukrainy: teoriia, metodolohiia, praktyka: monohrafiia* [State policy of development of the transport industry of Ukraine: theory, methodology, practice: monograph]. Kharkiv: «Disa plius». [in Ukrainian].

3. Kushnir, L.V. (2015). Naukovo-metodychni pidkhody do vyznachennia zalezhnosti mizh robotoiu transportu ta dynamikoiu ekonomichnoho rozvytku [Scientific and methodical approaches to determining the dependence between the operation of transport and the dynamics of economic development]. *Molodyi vchenyi - A young scientist,* № 5(20).15-19. [in Ukrainian].

4. Lozhachevska O. M. (2018) Suchasni aspekty spetsyfiky upravlinnia avtotransportnymy pidpryiemstvamy Ukrainy [Modern aspects of the specifics of management of motor transport enterprises of Ukraine]. *Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Natsionalni ekonomichni stratehii rozvytku v hlobalnomu seredovyshchi» - Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "National Economic Development Strategies in a Global Environment"*, 45-47. [in Ukrainian].

5. Chuprin, Ye.S., Kondratenko, D.V., Heleveria, Ye.M. (2019). Analiz ta perspektyvy rozvytku transportnoi haluzi Ukrainy z pozytsii avtotransportnykh pidpryiemstv [Analysis and prospects for the development of the transport industry of Ukraine from the standpoint of motor transport enterprises]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu - Scientific Bulletin of the Uzhhorod National University,* 24. 125-130. [in Ukrainian].

6. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. Retrieved from: https://www.ukrstat.gov.ua/ (Accessed 30 August 2023) [in Ukrainian].

7. The statistical publication «Transport of Ukraine» for 2022. Retrieved from: https://www.ukrstat.gov.ua/ (Accessed 30 August 2023) [in Ukrainian].

8. The publication «Statistical Yearbook of Ukraine» for 2022. Retrieved from: https://www.ukrstat.gov.ua/ (Accessed 30 August 2023) [in Ukrainian].

9. Sobkevych, O. V., Shevchenko, A. V., Rusan, V. M. (2018). *Antykryzova polityka v realnomu sektori ekonomiky Ukrainy: priorytetni napriamy i zavdannia : analit. dop.* [Anti-crisis policy in the real sector of the economy of Ukraine: priority directions and tasks: analyst. add.]. Kyiv: NISD. [in Ukrainian].

10. Functioning of the transport sector of Ukraine under legal conditions martial law regime. Review. The National Institute for Strategic Studies. Retrieved from: https://www.ukrstat.gov.ua/ (Accessed 30 August 2023) [in Ukrainian].

11.Ovchar, P.A. (2017). Orhanizatsiino-upravlinski osoblyvosti rozvytku avtomobilnoho transportu Ukrainy [Organizational and managerial features of the development of road transport in Ukraine]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu - Scientific Bulletin of Kherson State University, 27. 76-80.* [in Ukrainian].

УДК: 338.2 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-180-185**
UDC: 338.2

ЦИФРОВІЗАЦІЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВ ТРАНСПОРТУ ЯК ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ

DIGITALIZATION OF BUSINESS PROCESSES OF TRANSPORT COMPANIES AS A FACTOR OF ENSURING THEIR ECONOMIC DEVELOPMENT



Гречан Алла Павлівна, *доктор економічних наук, професор, професор кафедри економіки, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: Grechan.ap@gmail.com,, тел.+380442803016,*

https://orcid.org/0000-0003-3984-9952



Гавриков Дмитро Володимирович*, аспірант, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: dmytriy.gavrikov@gmail.com, тел.+380442803016*

https://orcid.org/0009-0003-2182-0390

Анотація. Стаття розглядає важливість цифровізації бізнес-процесів на підприємствах транспортного сектору як ключового фактору для забезпечення їхнього економічного розвитку. Автори обґрунтовують, що в умовах сучасного швидкозмінюваного бізнес-середовища цифрові технології стають необхідним інструментом для підвищення ефективності та конкурентоспроможності підприємств транспортного комплексу.

Стаття аналізує основні тенденції цифровізації в транспортній сфері та їхній вплив на різні бізнес-процеси. Зокрема, виділено і проаналізовано такі напрями діджиталізації на транспорті: оптимізація маршрутів і логістики, управління рухомим складом, онлайн-замовлення і моніторинг, безпілотні автомобілі і автономні транспортні системи, аналітика і управління даними, задоволення клієнтів, електронна документація і автоматизація, безпека і контроль, екологічні і соціальні аспекти, конкурентні переваги підприємств на ринку транспортних послуг.

Крім того, стаття розглядає організаційно-економічні аспекти впровадження цифрових технологій, включаючи вибір та інтеграцію цифрових платформ, оптимізацію бізнес-процесів, та навчання персоналу. Зазначається, що правильно спроектований механізм цифровізації сприяє підвищенню задоволеності працівників, збереженню та приваблению талановитого персоналу, а також стимулює інноваційність та творчість в організації.

В статті застосовано системних підхід для розкриття взаємодії різних елементів системи транспортного підприємства та їх взаємодії внаслідок цифровізації бізнес-процесів.

Загалом, стаття надає глибокий аналіз впливу цифровізації на підприємства транспортного сектору, розкриваючи її ключову роль у забезпеченні їхнього економічного розвитку в умовах сучасного бізнес-середовища .

Ключові слова: цифровізація, транспорт, підприємства транспорту, бізнес-процеси, економічний розвиток.

Вступ. Постановка проблеми. В сучасному бізнес-середовищі, що піддається стрімким змінам та впливу технологічних інновацій, питання цифровізації бізнес-процесів стають домінуючими для підприємств різних галузей. Зокрема, у транспортній сфері, де швидкість, ефективність та точність мають вирішальне значення, цифрові технології можуть стати ключовим фактором забезпечення економічного розвитку.

Попри те, що цифровізація на підприємствах транспортного комплексу може принести значні переваги, існують питання, пов'язані з ефективністю впровадження цифрових технологій та їх впливом на різні аспекти економічного розвитку. Проблеми безпеки даних, високі витрати на впровадження, адаптація персоналу та багато інших аспектів вимагають детального аналізу та стратегічного підходу до вирішення.

Основною метою даної статті є систематичний розгляд впливу цифровізації на бізнес-процеси підприємств транспортного сектору та визначення організаційно-економічних аспектів, що впливають на їхню успішну імплементацію. Запропоновані практичні рекомендації для вирішення ключових викликів, що виникають при впровадженні цифрових інновацій в транспортній галузі, дозволить визначити можливі шляхи розвитку та використання цифрових технологій для забезпечення сталих та ефективних бізнес-процесів у сучасному транспортному секторі.

Основна частина. Цифровізація бізнес-процесів відіграє ключову роль у економічному розвитку підприємств, оскільки вона дозволяє оптимізувати операції, покращувати управління і надавати більш якісні послуги клієнтам. Сфера транспорту однією з перших відчула на собі впровадження цифрових технологій: об'єктивна необхідність в автоматизації управління, підвищення надійності транспортної системи підштовхнули транспортні компанії раніше інших провести комп'ютеризацію управлінських процесів, а після й цифровізацію всієї сфери [1].

На повну цифровізацію процесів на транспорті та створення єдиної інтелектуальної транспортної системи спрямовані і ініціативи національних державних інституцій [2]. Активне впровадження проектів, пов’язаних з цифровізацією галузі (таких як транспортного порталу електронних послуг e-transport.gov.ua, єдиного е-квитка SmartTicket, перший державний платіжний сервіс PayGovUA, галузева система кіберзахисту і-Cyber, автоматизована система оплати проїзду АСОП, цифрова стратегія Мінінфраструктури, проєкт цифрової модернізації кампусу відомства Digital Tower, ІТ-стратегія Укрзалізниці, проєкт впровадження системи автоматизації та обробки заявок на безпілотні польоти, Tolling-системи та ін.) свідчить про надзвичайно важливу роль даних процесів у забезпеченні умов для сталого розвитку галузі і її підприємницьких структур на основі спроможності до швидкого реагування на перманентні зміни у зовнішньому середовищі, корегуванні конкурентних стратегій та забезпеченні економічної ефективності

На сучасному етапі саме інформаційні технології на транспорті сприяють зниженню витрат, підвищувати ефективність діяльності, формуванню конкурентних переваг, що є невід’ємною умовою забезпечення економічного розвитку кожного суб’єкту господарювання.

Дослідження науковців [3, 4, 5] свідчать, що основними видами цифрових технологій, які впроваджуються підприємствами галузі на сучасному етапі, є:

-аккаунти у соціальних мережах;

-дистанційний доступ працівників для здійснення бізнес-процесів;

-хмарні технології з розміщення та обслуговування офісного програмного забезпечення і баз даних;

-SEO технології оптимізації контенту;

-технології таргетування – поглибленого фокусування реклами у соціальних мережах;

-чат-боти, інтелектуальне управління лідами.

Але якщо виділяти напрями впливу цифровізації бізнес-процесів на розвиток транспортних підприємств, то, враховуючи галузеву та організаційно-економічну специфіку підприємницьких структур, а також інші внутрішні і зовнішні фактори на ринку транспортних послуг, то пропонується розглядати такі основні напрями (рис.1).

Використання систем управління логістикою і GPS-технологій для більшості підприємств вже є дієвим інструментом управління бізнес-процесами. Вони поєднують в собі використання GPS терміналів спільно з системами супутникового стеження, що встановлюються на транспортні засоби, що дозволяє в режимі реального часу отримувати і структурувати оперативні відомості про роботу техніки [6].



Рисунок 1 – Напрями впливу цифровізації бізнес-процесів на розвиток транспортних підприємств.

Figure 2 – Directions of influence of digitalization of business processes on the development of transport enterprises.

Системи GPS моніторингу транспорту - це цілий комплекс обладнання, що використовує потенціал і широкі можливості систем супутникового стеження. Невід'ємна складова таких систем - спеціальні термінали, якими обладнують транспортні засоби. Такі термінали за допомогою роботи з вбудованими на автомобіль або іншу пересувну техніку спеціальними датчиками здійснюють збір заданих даних (відомостей) про роботу транспорту, що сприяє створенню оптимальних маршрутів для доставки вантажів, враховуючи такі фактори, як трафік, погодні умови і перешкоди на дорогах. Ефективність для підприємства забезпечується зменшенням витрат на паливо і скороченням часу перевезень, що в свою чергу робить своєчасними доставки і підвищує їх привабливість.

Необхідність управління рухомим складом і іншими ресурсами транспортних підприємств обумовила впровадження у практику організаційного розвитку інтегрованих систем управління бізнес-процесами – ERP. Відповідна технологія поєднує фінанси, ланцюги поставок, операції, торгівлю,

звітність, виробництво, кадри та дозволяє керувати ними забезпечуючи баланс якості та рентабельності. Частка досліджених логістичних підприємств, які використовують ERP складає – 54% [7]. Системи моніторингу автомобілів, датчики і аналітика допомагають оптимізувати технічне обслуговування, управління витратами на ремонт і підвищити безпеку на дорогах, дозволяють швидше реагувати на позаштатні ситуації.

Цифрові платформи і додатки для замовлення і моніторингу вантажів допомагають клієнтам швидко і зручно розміщувати замовлення, відслідковувати статус своїх вантажів і взаємодіяти з перевізниками. CRM технологія автоматизованого управління взаємовідносинами з клієнтами почала впроваджуватись у бізнес-процеси під впливом постійного збільшення ступеня конкуренції на ринку логістичних послуг. Покращення клієнтського обслуговування і задоволення клієнтів додають конкурентних переваг, але частка логістичних підприємств, що використовують відповідні цифрові технології складає тільки 58% від загальної їх кількості [7].

Цифровізація передбачає дослідження і розробки в галузі безпілотних автомобілів і автономних транспортних систем. Основними перевагами безпілотних автомобілів є:

- можливість перевезення вантажів в небезпечних зонах, під час природних і техногенних катастроф або військових дій;
- зниження витрат на транспортування вантажів і пасажирів;
- зниження витрат на паливо і більш ефективне використання пропускної здатності доріг за рахунок централізованого управління транспортним потоком;
- економія часових ресурсів;
- розширення можливостей використання автомобіля для людей з обмеженими можливостями;
- мінімізація ДТП і числа людських жертв в них.

Реалізація переваг безпілотних автомобілів не може бути досягнута без ефективної роботи систем управління рухом, яка обмежена швидкодією вимірювальних, обчислювальних і виконавчих пристроїв. Цифрові системи моніторингу і безпеки дозволяють підприємствам слідкувати за швидкістю, маневреністю і поведінкою водіїв, знижуючи ризики аварій і покращуючи безпеку на дорогах.

Цифровізація надає підприємствам більше інформації про свою діяльність. Аналіз цих даних дозволяє виявити напрями для покращення, оптимізації і прийняття стратегічних рішень. Електронна документація і автоматизація: цифрові системи дозволяють замінити паперову документацію електронними аналогами. Це скорочує ризики помилок, спрощує облік і прискорює процеси обробки замовлень і звітності. автоматизація: системи обліку та управління, CRM та ERP.

Надзвичайно важливими аспектом впровадження цифрових технологій на транспорті є екологічні та соціальні наслідки [3]. Впровадження електричних або гібридних транспортних засобів, підтримуваних цифровими системами, з одного боку - зменшують шкідливий вплив на довкілля (контролюють викиди вуглецю), з іншого – дозволяють оптимізувати маршрути транспортування, що сприяє скороченню відстаней і, відповідно, зменшують витрати пального.

Соціальні аспекти цифровізації проявляються у підвищенні зручності і доступності транспортних послуг для більш широкого кола користувачів: додаткові можливості планувати маршрути переміщення, купувати квітки чи користуватися послугами каршерінгу, створення «розумних міст», де системи громадського транспорту, паркування та інші чинники транспортної інфраструктури інтегровані для оптимізації життя мешканців та забезпечення їх комфорту.

Отже, на сьогодні цифрова економіка серйозно розширилася і еволюціонувала, і її вплив став набагато фундаментальнішим. Переваги розвитку цифрових технологій можуть бути використані не лише як інструмент підвищення ефективності операційних процесів, а й як спосіб забезпечення сталого розвитку. За даними Всесвітнього економічного форуму та «Pio + 20», застосування сучасних технологій здатне прискорити досягнення принаймні 10 із 17 сформульованих ООН Цілей сталого розвитку [8].

Цифровізація бізнес-процесів на підприємствах транспорту не тільки підвищує їх конкурентоспроможність, але й сприяє більш ефективному управлінню і більш екологічним і

безпечним послугам для клієнтів. Це стає ключовим фактором економічного розвитку в сучасній економіці.

Висновки. Цифрові технології в умовах сьогодення стають каталізатором економічного розвитку, оскільки впровадження цифрових інновацій - це ключовий фактор для підвищення конкурентоспроможності та ефективності підприємств транспортного сектору. Можливості, що відкриваються завдяки цим технологіям, дозволяють оптимізувати логістичні процеси, підвищувати точність даних та реагувати на зміни в реальному часі. Але успішне впровадження цифрових технологій вимагає не лише технічних знань, але і компетентності в організаційних та економічних аспектах. Підприємства повинні уважно вивчити вартість впровадження, провести ефективний моніторинг та вирішити завдання з навчання персоналу з подальшим обґрунтуванням стратегічного планування. У контексті швидкозмінюваного бізнес-середовища важливо розробляти стратегії цифрової трансформації, які враховують специфіку транспортного сектору і дозволяють підприємствам бути гнучкими та адаптивними до нових ризиків.

Разом з тим, активізація впровадження цифрових технологій супроводжується неодмінною появою специфічних викликів, таких як забезпечення кібербезпеки, витрати на впровадження та навчання персоналу. Однак, враховуючи позитивний вплив цифровізації на підвищення ефективності та виникнення нових можливостей, як свідчить практика, вони переважають негативні аспекти.

Отже, ця стаття підкреслює необхідність та переваги цифрової трансформації в транспортному секторі, а також наголошує на важливості правильного підходу до впровадження та управління цим процесом для досягнення сталого економічного розвитку підприємств.

Перелік посилань

1.Січкаренко К.О. Вплив цифровізації економіки на розвиток транспортної галузі. Економіка та управління національним господарством. Випуск 38-1. 2019. С.76-79

2.Міністерство інфраструктури прагне повної цифровізації процесів і створення єдиної smart-системи на транспорті. [Електронний ресурс] Режим доступу https://lpnu.ua/news/ministerstvo-infrastruktury-pragne-povnoi-tsyfrovizatsii-protsesiv-na-transporti (Дата звернення 10.11.2023р.)

3.Бавико О.Є. Цифровізація бізнес-процесів як елемент стратегії сталого смарт-розвитку підприємницьких структур / О.Є. Бавико // Економічний журнал Одеського політехнічного університету. – 2023. – № 2 (24). – С. 15-23.

4.Пішенін І.К. Особливості впровадження цифрових інформаційних систем транспортної логістики. // Інфраструктура ринку. Випуск 53. 2021. – С.67-70.

5. Клименко К.В. Діджиталізація як інноваційний розвиток підприємств: досвід України. Вісник Хмельницького національного університету. 2020. № 4, Том 3. С. 13-18.

6. GPS як ефективна система контролю транспорту і спецтехніки. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://vikna.if.ua/cikavo/123517/view (Дата звернення 15.11.2023р.)

7. Eurostat. Digital economy and society statistics – enterprises. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Digital_economy_and_society_statistics_-_enterprises (Дата звернення 10.11.2023р.)

8. Підсумковий документ Конференції ООН із сталого розвитку «Ріо + 20» «Майбутнє, яке ми хочемо». URL: http://www.uncsd2012.org/content/documents/779futurewewant_ukrainian.pdf (Дата звернення 18.11.2023р.)

DIGITALIZATION OF BUSINESS PROCESSES OF TRANSPORT COMPANIES AS A FACTOR OF ENSURING THEIR ECONOMIC DEVELOPMENT

Grechan Alla P., Doctor of Economics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, Grechan.ap@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-3984-9952

Gavrikov Dmytro V., Graduate student of the Department of Economics of the Faculty of Economics and Law, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: dmytriy.gavrikov@gmail.com, orcid.org/0009-0003-2182-0390

Abstract. Abstract. The article deals with the importance of digitalization of business processes at enterprises of the transport sector as a key factor for ensuring their economic development. The authors justify that in the conditions of today's fast-changing business environment, digital technologies are becoming a necessary tool for increasing efficiency and competitiveness of enterprises of the transport complex. The article gives a detailed analysis of main trends of digitization in the transport sector and their impact on various business processes. In particular, the following directions of digitization in transport were highlighted and analyzed: route optimization and logistics, rolling stock management, online ordering and monitoring, unmanned cars and autonomous transport systems, analytics and data management, customer satisfaction, electronic documentation and automation, security and control, environmental and social aspects, competitive advantages of enterprises in the market of transport services.

In addition, this article considers the organizational and economic aspects of the implementation of digital technologies, including the selection and integration of digital platforms, optimization of business processes and personnel training. It is noted that a properly designed digitization mechanism helps to increase employee satisfaction, retain and attract talented personnel, and also stimulates innovation and creativity in the organization.

The article uses a systemic approach to reveal the interaction of various elements of the transport enterprise system and their interaction as a result of digitalization of business processes.

In general, this article provides an in-depth analysis of the impact of digitalization on enterprises in the transport sector, revealing its key role in ensuring their economic development in the conditions of the modern business environment.

Keywords: digitalization, transport, transport companies, business processes, economic development.

References

1.Sichkarenko K.O. Vplyv tsyfrovizatsiyi ekonomiky na rozvytok transportnoyi haluzi. Ekonomika ta upravlinnya natsional′nym hospodarstvom. Vypusk 38-1. 2019. S.76-79. [in Ukrainian].

2. Ministerstvo infrastruktury prahne povnoyi tsyfrovizatsiyi protsesiv i stvorennya yedynoyi smart-systemy na transporti. [Elektronnyy resurs] Rezhym dostupu https://lpnu.ua/news/ministerstvo-infrastruktury-pragne-povnoi-tsyfrovizatsii-protsesiv-na-transporti (Data zvernennya 10.11.2023). [in Ukrainian].

3. Bavyko O.YE. Tsyfrovizatsiya biznes-protsesiv yak element stratehiyi staloho smart-rozvytku pidpryyemnyts′kykh struktur / O.YE. Bavyko // Ekonomichnyy zhurnal Odes′koho politekhnichnoho universytetu. – 2023. – № 2 (24). – S. 15-23. [in Ukrainian].

4.Pishenin I.K. Osoblyvosti vprovadzhennya tsyfrovykh informatsiynykh system transportnoyi lohistyky. // Infrastruktura rynku. Vypusk 53. 2021. – S.67-70. [in Ukrainian].

5. Klymenko K.V. Didzhytalizatsiya yak innovatsiynyy rozvytok pidpryyemstv: dosvid Ukrayiny. Visnyk Khmel′nyts′koho natsional′noho universytetu. 2020. № 4, Tom 3. S. 13-18. [in Ukrainian].

6. GPS yak efektyvna systema kontrolyu transportu i spetstekhniky. [Elektronnyy resurs] Rezhym dostupu: https://vikna.if.ua/cikavo/123517/view (Data zvernennya 15.11.2023r.) [in Ukrainian].

7. Eurostat. Digital economy and society statistics – enterprises. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Digital_economy_and_society_statistics_-_enterprises (Data zvernennya 10.11.2023)

8. Pidsumkovyy dokument Konferentsiyi OON iz staloho rozvytku «Rio + 20» «Maybutnye, yake my khochemo». URL: http://www.uncsd2012.org/content/documents/779futurewewant_ukrainian.pdf (Data zvernennya 18.11.2023) [in Ukrainian].

УДК: 65.338.4 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-186-191**
UDC: 65.338.4

ІННОВАЦІЙНІ ЧИННИКИ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ ТРАНСПОРТУ

INNOVATIVE FACTORS IN THE DEVELOPMENT OF TRANSPORT ENTERPRISES



Гречан Алла Павлівна, *доктор економічних наук, професор, професор кафедри економіки, Національний транспортний університет, e-mail: Grechan.ap@gmail.com, тел.+380442803016, Київ,Україна,*

https://orcid.org/0000-0003-3984-9952



Сахацький Данило Станіславович*, аспірант, Національний транспортний університет, e-mail: sdanilo@yahoo.com, тел.+380442803016, м.Київ, Україна.*

https://orcid.org/0009-0009-5314-6613

Анотація. Метою статті є дослідження і аналіз інноваційних чинників, які впливають на розвиток підприємств у транспортному секторі на основі виділення ключових аспектів і стратегій, які сприяють успішній імплементації інновацій у сфері транспортного бізнесу.

Визначено та досліджено особливості дії на підприємствах транспортної галузі основних чинників, до яких віднесено: використання сучасних технологій, інтелектуальні транспортні системи (ITS), екологічні інновації, управління інформацією і аналітика, електронні ринкові платформи, роботизація, автоматизація і штучний інтелект, електронні платіжні системи, стійкість і безпека, розвиток екосистем, безпілотні автомобілі і дрони, ефективне управління трудовими ресурсами. З позиції комплексного підходу всі чинники узагальнено охоплюють економічні, технічні, технологічні, соціальні та екологічні аспекти. Їх вплив на економічний розвиток підприємств розглядається через спрямованість на зменшення витрат, формування конкурентних переваг і підвищення конкурентоспроможності, забезпечення соціального і екологічного ефектів. Це набуває особливого значення для адаптації і подальшого розвитку підприємств галузі в умовах військового стану сьогодення і майбутніх динамічних змін у сучасному світі.

Дослідження базується на актуальних концепціях інноватики та враховує специфіку і особливості діяльності транспортних підприємств.

Ключові слова: інновації, інноваційний розвиток, транспорт, підприємства транспорту, інноваційні чинники.

Вступ. Постановка проблеми.

У контексті стрімкого технологічного розвитку в світі, в умовах кризових явищ, посилення конкуренції у сфері транспортних послуг, дослідження інноваційних чинників стає важливим завданням для підприємств транспорту. Швидкі зміни в технологічному середовищі, зростання безпекових потреб, соціальних і екологічних вимог вимагають від суб'єктів господарювання активного

впровадження інновацій, які забезпечать надійність і швидкість перевезень, створять додаткові конкурентні переваги на внутрішньому і міжнародних ринках, сприятимуть відновленню і подальшому розвитку національної економіки. Проте, не дивлячись на потенційні вигоди інновацій, багато підприємств стикаються із складністю імплементації та ефективного використання сучасних технологій та стратегій інноваційного розвитку. Тому, активізація інноваційної діяльності, ефективне використання інноваційних чинників розвитку підприємств дозволять збільшити обсяг перевезень, підвищать рівень і безпеку обслуговування клієнтів, сприятимуть зниженню вартості послуг і тим самим підвищать гнучкість і конкурентоспроможність підприємств транспортного сектору.

Метою статті є дослідження і аналіз інноваційних чинників, які впливають на розвиток підприємств у транспортному секторі на основі визначення ключових аспектів і стратегій, які сприяють успішній імплементації інновацій у сфері транспортного бізнесу.

Основна частина.

В умовах динамічного розвитку сучасного суспільства, активного поширення процесів економічної глобалізації, високих темпів науково-технічного прогресу все більш визначальним стає значення інновацій у забезпеченні конкурентоспроможності підприємств транспорту, сприянні їх стійкому економічному розвитку. Питанням інноваційного розвитку підприємств транспортної галузі присвячено чимало наукових праць як вітчизняних, так і закордонних науковців [1, 2, 3, 4,], але більшість досліджень фокусують свою увагу в основному на економічних, технічних, соціальних і стратегічних аспектах інноваційного розвитку. Тому потребує більш детального аналізу обґрунтування саме інноваційних чинників, які забезпечують транспортним підприємствам економічний розвиток. Інноваційні чинники охоплюють нові технології, методи управління, стратегії, а також зміни в інфраструктурі, екологічні стандарти Саме інновації внаслідок підвищення ефективності діяльності підприємств, зменшення витрат тим самим зміцнюють конкурентні позиції на ринку транспортних послуг і відіграють ключову роль у забезпеченні їх економічного розвитку.

Узагальнення доробку науковців та аналіз практичної діяльності підприємств дозволив виділити найвагоміші чинників, які забезпечують економічний розвиток підприємств транспортної галузі, які представлено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Інноваційні чинники розвитку підприємств транспорту
Table 1 – Innovative factors in the development of transport enterprises

№ з/п	Чинник	Вплив на розвиток підприємства
1	2	3
1.	Використання сучасних технологій	Впровадження сучасних інформаційних і комунікаційних технологій (ІКТ) дозволяє покращити управління підприємствам.
2.	Інтелектуальні транспортні системи (ITS)	ITS об’єднує системи управління рухом, контролю за транспортними засобами і інформаційні системи.
3.	Екологічні інновації	Розробка і впровадження екологічно безпечних і енергоефективних автомобілів і технологій (наприклад, електричні, гібридні транспортні засоби) дозволяють значно зменшити шкідливий вплив на довкілля, знижують споживання палива і сприяють дотриманню екологічних стандартів
4.	Управління інформацією і аналітика	Системи збору і аналізу даних дозволяють оптимізувати маршрути, передбачати потреби в обслуговуванні транспорту і оптимізувати запаси.
5.	Електронні ринкові платформи	інноваційні електронні ринкові платформи і онлайн-ринки вантажоперевезень сприяють пошуку клієнтів і замовлень, спрощують процес планування і ведення бізнесу
6.	Роботизація, автоматизація і штучний інтелект	Впровадження роботів і автоматизованих систем, штучного інтелекту у складських і логістичних операціях дозволяє автоматично оптимізувати маршрути, підвищити ефективність управління запасами, аналізувати інформацію і приймати рішення на основі алгоритмів.

Продовження таблиці 1
Continuation of table 1

1	2	3
7.	Електронні платіжні системи	Інновації у платіжних системах дозволяють зручніше і безпечніше здійснювати фінансові трансакції для замовників транспортних послуг і партнерів
8.	Стійкість і безпека	Інновації в галузі безпеки і захисту даних допомагають попереджувати кібератаки, а також забезпечувати безпеку вантажів і пасажирів.
9.	Розвиток екосистем	Співпраця з іншими транспортними компаніями, технологічними стартапами, університетами і державними органами може стимулювати інновації і створення нових рішень.
10.	Безпілотні автомобілі і дрони	Автоматизовані безпілотні автомобілі і дрони можуть бути використані для транспортування вантажів на тривалі відстані або у важкодоступні місця, що підвищує ефективність і зменшує ризики.
11.	Ефективне управління трудовими ресурсами	інновації в управлінні персоналом (навчання, розвиток співробітників) підвищують мотивацію і професіоналізм працівників

Одним із вагоміших інноваційних чинників, без якого неможливо уявити розвиток успішного підприємства, є використання сучасних технологій Процеси широкомасштабної інформатизації суспільства, і тісно пов'язані з ними процеси інформатизації підприємств транспорту характеризуються вдосконаленням та масовим поширенням сучасних інформаційних і комунікаційних технологій. Інформаційно-комунікаційні технології, насамперед, передбачають створення, збереження, передачу, обробку інформації. Це визначення включає в себе всі засоби технологій, що використовуються для діяльності з інформацією - усі інструменти технологічних можливостей, а саме: комп'ютери, гаджети, мережу Інтернет, радіо та телевізійні передачі, хмарні сховища, телефонний зв'язок [5]. На транспортних підприємствах активного впровадження зазнали системи управління маршутами, системи GPS і інші види ІКТ, які дозволяють здійснювати моніторинг і оптимізувати транспортні процеси.

Більш ефективній організації руху на дорогах, зменшенню заторів і підвищенню безпеки сприяють інтелектуальні транспортні системи (ITS) [6]. Дані системи інтегрують сучасні технології управління з телематикою і призначені для автоматизованого пошуку та прийняття найбільш ефективних сценаріїв керування транспортними засобами з метою забезпечення мобільності при встановленому рівні якості обслуговування користувачів.

У світовій практиці ІТС визнані як загальнотранспортна ідеологія інтеграції досягнень сучасних інноваційних методів управління і телематики в усі види транспортної діяльності для вирішення проблем соціального характеру і забезпеченню економічного розвитку: підвищення ефективності функціонування пасажирського та вантажного транспорту, зниження транспортних витрат, забезпечення транспортної безпеки і поліпшення екологічних показників [7].

Одним із значущих інноваційних чинників, що забезпечує економічний розвиток транспортних підприємств, є екологічні інновації. Особливості їх дії обумовлені необхідністю захисту інтересів майбутніх поколінь і водночас є інструментом безпосередньої реалізації концепції сталого розвитку. Важливого значення екологічні інновації набувають у зв'язку з обмеженістю ресурсів та створенням абсолютно нових революційних технологій перевезень, що використовують альтернативні джерела енергії. Такі інновації на транспорті є ефективним засобом більш раціонального використання ресурсів і, як наслідок, формування позитивного іміджу підприємства [8].

Системи збору і аналізу даних, як чинник «управління інформацією і аналітика» дозволяють оптимізувати маршрути, передбачати потреби в обслуговуванні транспорту і оптимізувати запаси. Аналітика також допомагає в прийнятті стратегічних рішень, які спрямовані на нові конкурентні переваги, а отже, і економічний розвиток.

Підвищенню ефективності логістичних і транспортних операцій, також забезпеченню більшої прозорості діяльності, а відповідно і конкурентоспроможності сприяють електронні ринкові платформи. Ці онлайн-платформи з'єднують різних учасників ринку транспортних і логістичних послуг з метою взаємодії, пошуку партнерів і замовників, а також складення угод. Вони надають цифровий простір для збирання, обробки, обміну інформацією щодо транспортування вантажів, пасажирів. Важливим аспектом електронних ринкових платформ є їх здатність об'єднати попит і пропозицію на логістичні і транспортні послуги.

Стосовно використання штучного інтелекту у транспортній галузі, за твердженням всіх учасників ринку, ChatGPT здатний зробити революцію у транспортно-логістичній галузі . Як ChatGPT "особисто" оцінює власну цінність для логістики? Якщо поставити штучне інтелект таке питання, ChatGPT відповідає, що він здатний:

- автоматизувати ручні та трудомісткі процеси,
- аналізувати великі обсяги даних для прийняття зважених рішень,
- прогнозувати терміни доставки відправлень,
- автоматично обробляти запити та скарги клієнтів,
- навчати та підтримувати співробітників [9].

Кожний із цих напрямів є визначальним у зниженні витрат підприємства, підвищенні продуктивність використання всіх ресурсів, а отже і зміцненні своїх конкурентних позицій на ринку.

Важливим чинником, який сприяє економічному розвитку, ефективній логістиці та покращенню якості транспортних послуг, є електронні платіжні системи. Вони значно підвищують зручність користувачів (пасажири можуть оплачувати проїзд, квітки або послуги електронно), дозволяють операторам збирати та аналізувати дані про маршрути, обсяги пасажиропотоку, попит в розрізі доби, щоб оперативно розподіляти ресурси, оптимізувати логістику і підвищувати конкурентоспроможність.

Чинник стійкості і безпеки є вкрай значущим особливо для транспортних підприємств, оскільки це дозволяє забезпечити вищий рівень безпеки як для пасажирів, так і для вантажів. Активне використання розробок в галузі автономної транспортної техніки безумовно сприяють покращанню безпеки на дорогах, а системи штучного інтелекту, датчики та камери допомагають транспортним засобам у виявленні небезпеки та униканні аварій. На попередження небезпечних ситуацій та мінімізацію ризиків також спрямовано аналіз великих обсягів даних (Big Data), який дозволяє створювати обґрунтовані і більш дієві системи прогнозування. Але активне використання таких технологій значно підвищують рівень кіберзагроз, що вимагає від підприємств відповідних дій (розширення використання технологій блокчейн та кібербезпеки), що сприяє захисту від несанкціонованого доступу до конфіденційної інформації та забезпечує єдність і безпеку електронної інфраструктури.

Необхідність створення і розвитку екосистем у транспортній галузі зумовлена світовими тенденціями переходу на екологічні види транспорту та наявною в країні екологічною ситуацією. Інтеграція різних видів транспорту (громадського, приватного, електроскутерів, тощо), по-перше, дозволяє користувачам зручно переміщатися, обираючи оптимальний засіб транспорту в залежності від умов та потреб, а, по-друге, вимагає комплексного системно-орієнтованого стратегічного управління розвитком всього транспортного комплексу з безумовним урахуванням екологічного критерію [10]. В цьому контексті широкого застосування у транспортній галузі у майбутньому прогнозують безпілотним автомобілям і дронам, які можуть бути використані для транспортування вантажів на тривалі відстані або у важкодоступні місця, що підвищує ефективність, зменшує ризики,

Безперечною умовою активного і ефективного використання всіх вже розглянутих чинників є забезпеченість підприємств відповідним наявним персоналом, що впливає на раціональне застосування професійного потенціалу співробітників та на продуктивні результати діяльності підприємства завдяки скороченню загальних витрат на робочу силу за рахунок науково-обґрунтованої політики раціонального використання трудових ресурсів, що призводить до економічного зростання. Тільки впровадження інноваційних методів управління персоналом, які зорієнтовані на забезпечення

гнучкості, стимулювання творчості, підвищення ефективності працівників підвищать мотивацію і професіоналізм працівників і сприятимуть досягненню стратегічних цілей економічного розвитку.

Отже, інновації у транспортній галузі неодмінно підвищать конкурентоспроможність, зменшать негативний екологічний вплив і створять нові можливості для підприємств. Керівники, менеджери і весь персонал кожного підприємства повинні активно залучати і впроваджувати інноваційні рішення для успішного конкурування на ринку транспортних послуг і забезпечити стійкий економічний розвиток бізнесу.

Висновки. Економічний розвиток підприємств транспортного комплексу вимагає активного впровадження ряду ключових інноваційних чинників та стратегій, які забезпечать отримання нових конкурентних переваг, сприятимуть підняття на лідерські позиції на ринку транспортних послуг. З позиції комплексного підходу всі чинники узагальнено охоплюють економічні, технічні, технологічні, соціальні та екологічні аспекти. І тільки ефективне використання цих чинників дозволить транспортним підприємствам не лише вистояти і адаптуватися до кризових умов сьогодення і змін у сучасному світі, але й активно формувати його майбутнє.

Перелік посилань

1. Вовк О.М., Абдулгусейнова А.Р., Дмитрик Х.Ю. Економічна ефективність інноваційних процесів на транспортних підприємствах в умовах інтелектуалізації. *Економіка та суспільство.* 2021. No 32. С. 1–6

2. Гречан П.Ю. Інноваційна активність підприємств автомобільного транспорту в Україні. *Інтелект XXI*. 2019. No 5. С. 114–117.

3. Новальська Н. І., Клименко В. В. Інвестиційно-інноваційна діяльність транспортно-логістичних підприємств в умовах сучасного бізнес-середовища. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського.* Економіка і управління. 2021. Т. 32 (71). No 4. С. 64–69.

4. Шатіло О.В. Вплив інновацій на розвиток автотранспортних підприємств України. Розвиток регіонів і галузей. *Стратегія економічного розвитку України*. 2018. No 43. С. 118–128.

5. Інформаційно-комунікаційні технології. [Електронний ресурс]. Режим доступу URL: http://confesp.fl.kpi.ua/node/1103

6. Чередніченко О., Валацкене А. Інтелектуальні транспортні системи як інструменти управління транспортними потоками. *Містобудування та територіальне планування*, (80), 416–450.

7.Intelligent Transport Systems in action. Action Plan and Legal Framework for theDeployment of ITS in Europe / Directorate-General for Mobility and Transport; EuropeanCommission. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020року.

8.Комчатних О.В. Екологічні інновації як інструмент сталого розвитку транспортних підприємств. *Економічний простір*, 2021 (171), 32-36.

9.ChatGPT: майбутнє штучного інтелекту у логістичній сфері. [Електронний ресурс]. Режим доступу https://vladtrans.com.ua/chatgpt-majbutnye-shtuchnogo-intelektu-u-sferi-logistyky/

10. Желновач Г.М., Внукова Н.В. Системний підхід до реалізації процедури стратегічної екологічної оцінки розвитку автотранспортного комплексу регіону. *Екологічна безпека та природокористування*, № 1 (41), 2022. С.56-68.

INNOVATIVE FACTORS IN THE DEVELOPMENT OF TRANSPORT ENTERPRISES

Grechan Alla P., Doctor of Economics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: Grechan.ap@gmail.com, orcid.org/ 0000-0003-3984-9952

Sakhatskyi Danylo S. Graduate student of the Department of Economics of the Faculty of Economics and Law, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: sdanilo@yahoo.com, orcid.org/0009-0009-5314-6613.

Abstract. Abstract. The purpose of the article is to research and analyze innovative factors that affect the development of enterprises in the transport sector based on the selection of key aspects and strategies that contribute to the successful implementation of innovations in the field of transport business.

The peculiarities of the action of the main factors at the enterprises of the transport industry have been determined and researched, they include: the use of modern technologies, intelligent transport systems (ITS), environmental innovations, information management and analytics, electronic market platforms, robotics, automation and artificial intelligence, electronic payment systems, sustainability and security, development of ecosystems, self-driving cars and drones, effective management of labor resources. From the position of an integrated approach, all factors generally cover economic, technical, technological, social and environmental aspects. Their impact on the economic development of enterprises is considered through the focus on reducing costs, forming competitive advantages and increasing competitiveness, ensuring social and environmental effects. This is of particular importance for the adaptation and further development of industry enterprises in the conditions of the current military situation and future dynamic changes in the modern world. The study is based on current concepts of innovation and considers the specifics and features of the activities of transport enterprises.

Key words: innovations, innovative development, transport, transport enterprises, innovation factors.

References

1. Vovk O. M., Abdulguseinova, A. R., Dmytryk, H. Yu. (2021). Ekonomichna efektyvnist innovatsiinykh protsesiv na transportnykh pidpryiemstvakh v umovakh intelektualizatsii [Economic efficiency of innovative processes at transport enterprises in conditions of intellectualization]. Ekonomika ta suspilstvo, no/ 32, p. 1–6.

2. Grechan P. (2019) Yu. Innovatsiina aktyvnist pidpryiemstv avtomobilnoho transportu v Ukraini [Innovative activity of road transport enterprises in Ukraine]. Intelekt XXI, no 5, p. 114–117.

3.Novalska N. I., Klymenko V. V. (2021) Investytsiino-innovatsiina diialnist transportno-lohistychnykh pidpryiemstv v umovakh suchasnoho biznes-seredovyshcha [Investment and innovation activity of transport and logistics enterprises in the conditions of the modern business environment]. Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Ekonomika i upravlinnia. T. 32 (71), no. 4, p. 64–69.

4. Shatilo O. V. (2018) Vplyv innovatsii na rozvytok avtotransportnykh pidpryiemstv Ukrainy [The influence of innovations on the development of motor vehicle enterprises of Ukraine]. Rozvytok rehioniv i haluzei. Stratehiia ekonomichnoho rozvytku Ukrainy, no. 43, p. 118–128.

5.Informatsiyno-komunikatsiyni tekhnolohiyi [Information and communication technologies URL: http://confesp.fl.kpi.ua/node/1103

6.Cherednichenko O., Valatskene A. (2019) Intelektual′ni transportni systemy yak instrumenty upravlinnya transportnymy potokamy [Intelligent transport systems as tools for managing traffic flows] // Mistobuduvannya ta terytorial′ne planuvannya, (80), 416–450.

7.Intelligent Transport Systems in action. Action Plan and Legal Framework for the Deployment of ITS in Europe / Directorate-General for Mobility and Transport; European Commission. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020.

8.Komchatnykh O.V. (2021). Ekolohichni innovatsiyi yak instrument staloho rozvytku transportnykh pidpryyemstv [Environmental innovations as a tool for sustainable development of transport enterprises]. Ekonomichnyy prostir, (171), 32-36.

9. ChatGPT: maybutnye shtuchnoho intelektu u lohistychniy sferi. [ChatGPT: the future of artificial intelligence in logistics] [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu https://vladtrans.com.ua/chatgpt-majbutnye-shtuchnogo-intelektu-u-sferi-logistyky/

10.Zhelnovach H.M., Vnukova N.V. Systemnyy pidkhid do realizatsiyi protsedury stratehichnoyi ekolohichnoyi otsinky rozvytku avtotransportnoho kompleksu rehionu [A systematic approach to the implementation of the procedure of strategic environmental assessment of the development of the motor transport complex of the region] // Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya, № 1 (41), 2022. S.56-68.

УДК 338.47 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-192-204**
UDC 338.47

РОЛЬ ПЕРСОНАЛУ В УПРАВЛІННІ КОНКУРЕНТНИМ ПОТЕНЦІАЛОМ ПІДРИЄМСТВА АВТОТРАНСПОРТУ

THE ROLE OF STAFF IN MANAGING THE COMPETITIVE POTENTIAL OF A MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE



Спіцина Ангеліна Євгенівна, *кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри економіки, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, angel7a@ukr.net, tel. +380679053181*

https://orcid.org/0000-0001-9730-6249



Галицький Богдан Юрійович, *аспірант кафедри економіки, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, galitskyi@ukr.net, tel. +380675380569*

https://orcid.org/0009-0007-5494-4962

Анотація. Конкурентний потенціал, сформований як потенціал інноваційно-орієнтованого розвитку, містить невикористані можливості накопичених ресурсів, що можуть бути приведені в дію для досягнення цілей підриємства автотранспорту тільки за умови застосування нового знання у різних сферах діяльності підприємства. Таким чином, тільки підприємство, яке організує свою роботу так, щоб постійно накопичувати та реалізовувати нові знання, формує свою базу знань, яка відповідає обраним напрямам розвитку підприємства, зможе ефективно та повно реалізувати конкурентний потенціал відповідно прийнятій стратегії розвитку, буде стабільно конкурентоспроможним на сучасному ринку та зможе вписатися в технологічну траєкторію розвитку національної економіки.

Оптимальне функціонування і розвиток конкурентного потенціалу підприємства автотранспорту залежать від оптимізації управлінських рішень і організаційної структури управління, в рамках якої ці рішення розроблюються і реалізуються. А тому створення на кожному підприємстві ефективної системи управління конкурентним потенціалом, яка дозволить забезпечити конкурентоспроможність підприємства, є нагальною необхідністю.

Формування стійких конкурентних переваг як економіки, загалом, так і конкретного підприємства автотранспорту, можливе лише при умові ефективного, раціонального використання персоналу підприємств. Практика функціонування підприємств підтверджує, що послідовність принципів та методів залучення і використання людського капіталу забезпечує отримання взаємовіддачі, збільшення прибутку, підвищення рівня отримання соціально-економічного ефекту.

У нинішніх умовах господарювання більшість керівників визнають, що конкурентну перевагу підприємства автотранспорту відображає перевага персоналу цього підприємства відносно інших. Нове обладнання, сировина, техніка будь-якої якості доступні всім конкурентам на ринку, тому такі особливості персоналу, як їх знання, кваліфікація, рівень підготовки, постійний розвиток, тощо можуть стати головною перевагою серед конкурентів.

Ключові слова: конкурентний потенціал, персонал, управління, підприємства автотранспорту, конкурентні переваги, транспортна система, інновації, технології.

Вступ. Постійні зміни та виклики зовнішнього середовища, посилення конкуренції, ускладнення виробничої та комерційної діяльності транспортних підприємств, підвищення значення чинника часу, розширення масштабів діяльності підприємства, збільшення обсягів і швидкості отримання інформації та нових знань підвищують значущість внутрішніх джерел економічного зростання, здатних забезпечити ефективність підприємницької діяльності.

В сучасних умовах розвитку економіки, попри значні темпи науково-технічного прогресу та появу численних засобів автоматизації і механізації виробничих процесів, людина та її спроможність до праці залишаються найбільш актуальними проблемами незалежно від галузі та виду економічної діяльності суб'єктів господарювання. В цих умовах проблемам ефективного управління ресурсами підприємств автотранспорту, особливо людськими, приділяється недостатня увага.

Транспортні підприємства України відіграють ключову роль у реалізації Стратегії сталого розвитку України на період до 2030 року та Національної транспортної стратегії України до 2030 року[24]..

Відповідно до цих стратегій метою є розвиток ефективної транспортної системи України, яка забезпечуватиме швидке та доступне переміщення людей і вантажів, що приведе до створення привабливих умов для інвестицій, покращення конкурентоспроможності країни. Для досягнення цих цілей транспортні підприємства повинні надавати якісні послуги з розвитку інфраструктури, включаючи покращення існуючих транспортних засобів, розвиток екологічно стійких транспортних маршрутів, створення нових транспортних засобів та інноваційних технологій. Транспортні підприємства надають транспортні послуги для забезпечення потреб промисловості, торгівлі та туризму, що дозволяє створювати додаткові можливості для розвитку економіки країни. Вони забезпечують переміщення людей, вантажів і товарів по всій країні, що є важливою умовою для підвищення життєвого рівня населення та соціально-економічного розвитку країни загалом. Транспортні підприємства надають також необхідну підтримку для побудови інфраструктури та забезпечення безпеки перевезень. Вони також відіграють ключову роль у зниженні рівня забруднення навколишнього середовища, надаючи альтернативні[4].

В умовах економічних змін сучасне автотранспортне підприємство, яке здійснює перевезення, як і будь-яке інше підприємство, що виконує роботи або надає послуги, стикається з безліччю проблем. Джерелами підвищеної складності управління є високий ступінь невизначеності ринкової ситуації, сезонна нестабільність попиту на автотранспортні послуги, жорсткість конкуренції в галузі, нестача фінансових ресурсів тощо. У таких умовах назріла необхідність стратегічного мислення, яке повинно втілитися в програму дій, що уточнює цілі та засоби реалізації обраного шляху розвитку. Виживання та розвиток на довгострокову перспективу залежать від здатності організації вчасно передбачити зміни на ринку та відповідним чином адаптувати свою організаційну структуру та зміст портфеля замовлень на роботи та послуги. Тому сьогодні необхідний системний комплексний підхід до вдосконалення концепції управління вітчизняними підприємствами, який приділяє найбільшу увагу стратегічним аспектам розвитку. Необхідне формування загального напряму, на якому слід шукати шляхи досягнення цілей, а також набору правил і засобів для прийняття рішень, якими керується організація у своїй діяльності, тобто формування стратегії розвитку господарюючого суб'єкта в сучасних умовах. Побудова в Україні соціально-орієнтованої ринкової економіки вимагає нових якостей від персоналу: підвищення ініціативності, креативності, відповідальності та надійності[25].

Проблема оцінки та ефективного використання конкурентного потенціалу підприємства за останнє десятиліття в Україні стала однією з найбільш обговорюваних, вона є досить актуальною. З огляду на це існує необхідність її всебічного дослідження. Конкурентний потенціал підприємства є одним з головних чинників, який визначає успіх ринкової діяльності підприємств автотранспорту.

Метою роботи є визначення сучасних особливостей формування конкурентного потенціалу та його значення для забезпечення конкурентоспроможного розвитку підприємств автотранспорту та дослідження і обгрунтування ролі персоналу в ефективному управлінні підприємством.

Постановка задачі. Сучасні економічні перетворення, що відбуваються в Україні, пов'язані з пошуком нових методів управління персоналом, адже саме від цих складових залежить формування

виробничого процесу, ефективне управління підприємством. Підготовка компетентного персоналу, його раціональне просторове та структурне розміщення, результативна культура управління, і є запорукою досягнення успіху підприємства автотранспорту.

Без кваліфікованих і мотивованих працівників не в змозі ефективно працювати системи маркетингу, логістики, продажу, фінансів тощо. Роль та місце персоналу особливо важливе у нинішніх умовах глобальної конкуренції, стрімкого науково&технічного прогресу, тоді коли продукти, технології, операційні методи та навіть організаційні структури швидко старіють, а знання та навички працівників стають вагомим джерелом постійного розвитку підприємств.

Конкурентний потенціал підприємства з точки зору економічного управління є систематизованим комплексом економічних ресурсів та потенційних можливостей підприємства автотранспорту відповідно до конкурентного середовища його функціонування, які у взаємодії та за раціонального використання шляхом узгодження, об'єднання, координації та регулювання всіх економічних процесів, що відбуваються на підприємстві, формуватимуть такі конкурентні переваги, що забезпечуватимуть підприємству стійке функціонування в довгостроковому періоді, високий конкурентний статус та підвищення цінності на ринку загалом.

Аналіз основних досліджень та публікацій. У сучасних умовах зростаючого рівня конкурентної боротьби питанням розвитку конкурентного потенціалу приділяється все більше уваги. Вчені визначають його роль при збереженні та збільшенні конкурентоспроможності економічних систем у довготривалій перспективі. Так, теоретичні та прикладні дослідження проблем формування та розвитку конкурентного потенціалу викладені в працях Афанасьєвої М.В., Гудзинського О.Д., Другової О.С., Кучіної О.В., Михальченко О.А., Нижник І.В., Паладової Т.А., Шульги М.О. та інших [1,7,11,13]. Науковцями досліджується сутність та зміст категорії "конкурентний потенціал", механізми його формування розвитку, взаємозв'язок з конкурентоспроможністю тощо.

Поняття «конкурентний потенціал підприємства» належить до найбільш складних економічних категорій. Найчастіше під цим терміном розуміють сукупність наявних та невикористаних можливостей підприємства, корпорації, галузі [7, с. 23].

Конкурентний потенціал визначається сукупністю параметрів, що визначають можливість і здатність корпорації (системи) ефективно функціонувати на ринку в перспективі (мати високий рівень рентабельності, утримувати або збільшувати частку на ринку) та мати сукупність конкурентних переваг серед інших учасників ринку. Таким чином, конкурентний потенціал показує можливість зберігати або збільшувати свою конкурентоспроможність у довгостроковому періоді [21, с. 123].

Аспекти теорії та практики ролі персоналу розглядали у своїх працях Л.В. Балабанова, М.С. Вороніна, М.Д. Виноградський, А.М. Колот, Л.Г. Цимбалюк, А.В. Череп, Л.І. Шваб та інші. Однак неоднозначність поглядів на роль персоналу при ефективному управлінні підприємством потребує ще більш чіткої деталізації.

Поняття «персонал» містить в собі складові елементи працюючих в організації, що здійснюють управлінські та виробничі функції. Персонал має значиму роль у функціонуванні організації, так як є вагомою ланкою в здійсненні його прибутковості і конкурентоспроможності [2].

Дашко І.М. вважає, що "сучасні умови ринкової економіки зумовлюють потребу в розробленні принципово нових підходів до управління персоналом з усвідомленням того, що головним резервом підприємства є працівники" [10, с. 37].

Виклад основного матеріалу. Основою ринкових відносин на автомобільному транспорті є конкуренція автотранспортних підприємств як виробників транспортної продукції за ринок збуту своєї продукції, тобто перевезення вантажів і послуги, з метою отримання високих фінансових результатів (доходів, прибутку).

Конкуренція автотранспортних послуг - це суперництво між господарюючими суб'єктами автомобільного транспорту, що визначається поточною стадією свого життєвого циклу і прогностичним аналізом, що намічає шляхи її подальшого розвитку.

Поняття і уявлення про конкурентоспроможність послуг автомобільного транспорту зводиться до відмінності певних властивостей надаваних послуг одного господарюючого суб'єкта

автомобільного транспорту в порівнянні з іншим. Конкурентоспроможність розглядається як відносна оцінка переваги автотранспортних послуг, яка дозволяє з більшою ефективністю задовольняти потреби споживачів [11].

Конкурентоспроможність виявляє переваги рівня якості автотранспортних послуг перед аналогічними конкурентами. Конкурентоспроможність характеризує здатність протистояти іншим послугам цього ж призначення на певному сегменті ринку автотранспортних послуг. Таким чином, можна зробити висновок, що конкуренція на ринку автотранспортних послуг сприяє наданню конкурентоспроможних послуг. Вона визначається якісними і вартісними значеннями надаваних автотранспортних послуг, які всебічно «оцінюються» споживачами за значимістю, задоволеністю, витратами

Виділимо визначальні ознаки конкуренції послуг автомобільного транспорту [13]:

- наявність конкурентних переваг послуг автомобільного транспорту за допомогою ринкового зіставлення в розвитку конкуренції;
- категоріальний характер, тобто сукупність конкурентів різних категорій: індивідуальних, підприємств, галузевих, міжгалузевих (національних);
- поєднання різноманіття і відкритості конкурентних послуг автомобільного транспорту в умовах насиченого і диференційованого ринку;
- переважання взаємної вигоди суб'єктів автомобільного транспорту, що надають автотранспортні послуги, з частиною зовнішнього оточення, і наявності у них абсолютного і відносного ділового суверенітету;
- перетворення суперництва між конкуруючими суб'єктами автомобільного транспорту в одну з двох протилежних, але доповнюючих один одного тенденцій розвитку: конкуренції та інтеграції.

Рівень конкурентоспроможності послуг автомобільного транспорту у кожен конкретний момент часу визначається спільним впливом ряду факторів. Вивчення та аналіз факторів дозволяють визначити, наскільки вони сприяють або перешкоджають досягненню рівня конкурентоспроможності послуг автомобільного транспорту.

Тільки комплексний підхід до управління конкурентоспроможністю дозволить, забезпечити підприємству стійке положення на ринку, чітке розуміння сильних і слабких сторін, як у своїй діяльності, так і в роботі конкурентів, що в сукупності дозволить забезпечити підприємству конкурентну перевагу в будь-який момент.

Транспорт повинен розглядатися не тільки як важливий фактор економічного зростання і умова реалізації конкурентних переваг, але і, як активний фактор формування конкурентоспроможності товарів і послуг, національної економіки.

В умовах сучасних трансформацій є перешкоди, які заважають руху вперед та негативно відображаються на економіці підприємства, держави. До основних перепон ефективного використання персоналу можна віднести [9]:

— неадаптованість до мінливих умов господарювання;
— негнучкість системи управління;
— невміння враховувати вплив зовнішніх факторів;
— історично сформований трудовий менталітет;
— відрив планування розвитку кадрового потенціалу на підприємствах автотранспорту від реальної ситуації щодо формування кадрового потенціалу в певному регіоні;
— кадровий дефіцит, який зростає внаслідок збільшення обсягів трудової міграції в інші країни, де на підприємствах пропонується більш приваблива заробітна плата;
— невідповідність обсягів та структури управління персоналом потребам підприємства;
— якість підготовки кадрів у регіонах не влаштовує менеджерів підприємств автотранспорту.

Здійснення ефективного використання персоналу на підприємствах вимагає впливу та участі здібних, талановитих менеджерів на початковому етапі, який вимагає вирішення закономірного опору змінам, деяким бар'єрам психологічного несприйняття під час впровадження нових проектів і нетрадиційних для працівників заходів у сфері управління.

Відтак ефективність управління персоналом слід розуміти як рівень якості, корисності управління людськими ресурсами та здатність функціонування троїстого ефекту у вигляді економічної вигоди для підприємства, удосконалення організації виробництва і соціальної вигоди для співробітників.

Усі три складові (економічна, організаційна і соціальна) ефективності управління персоналом тісно взаємопов'язані і взаємодіють між собою, однак певна перевага належить організаційній ефективності. Це обгрунтовується тим, що управлінські рішення трансформуються у конкретні організаційні заходи. За чіткої організації праці та виробництва, а отже, раціональному використанню виробничих ресурсів підвищуються економічні показники господарської діяльності підприємства, тим самим створюються фінансові можливості для збільшення якості трудового життя персоналу (підвищення трудових доходів, удосконалення умов праці), що є проявом ефективності управління персоналом. Якщо матеріальні, соціально-психологічні, організаційні, морально-етичні та інші умови роботи персоналу удосконалюються, то це обов'язково відображається на подальшому підвищенні економічної, організаційної ефективності управління персоналом[19]..

Ефективність функціонування підприємства залежить від «налаштування» та узгодженості всіх його підсистем. Повною мірою це стосується і системи управління персоналом підприємства. Прийнята в організації філософія роботи з «людським капіталом», виражається в оптимізації його структури, вартості, розвитку та визначає ті принципи, які мають бути покладені в основу побудови системи управління персоналом [23].

Будь-яке підприємство є динамічною системою, що перебуває у процесі постійного розвитку. І рівень стійкості цього розвитку залежить від гнучкості підприємства, його мобільності в управлінні своїми ресурсами. Співробітник як «елемент сукупного людського капіталу підприємства» повинен мати цілий набір характеристик, що дозволяють суб’єкту господарювання ефективно досягати своїх цілей. До таких характеристик на сучасному етапі можна віднести не лише традиційні якості робочої сили (кваліфікація, освіта, стаж роботи), а й нові вимоги сьогодення (інноваційні здібності, уміння працювати в команді, самолідерство тощо) [14].

Головна мета економічного управління конкурентним потенціалом підприємства автотранспорту полягає в ефективному формуванні, реалізації та нарощуванні конкурентного потенціалу як загалом, так і в розрізі його окремих складових, що дасть змогу забезпечити життєздатність підприємства, підви щити його конкурентний статус та, як наслідок, цінність підприємства загалом. Для досягнення поставленої мети мають бути вирішені такі основні завдання[11].:

1) формування структури конкурентного потенціалу підприємств автотранспорту:

- визначення особливостей конкурентного потенціалу підприємств;
- виокремлення складових конкурентного потенціалу підприємства з урахуванням специфіки галузі;
- обґрунтування структури конкурентного потенціалу з урахуванням основних елементів економічного управління;

2) формування наукового підходу до методики діагностики конкурентного потенціалу:

- кількісне оцінювання визначених складових конкурентного потенціалу, що ґрунтується на економічних показниках, які значною мірою відображають наявність та використання економічних ресурсів, економічну результативність діяльності та економічний (фінансово- майновий, фінансово-економічний) стан автотранспортних підприємств;
- розроблення методики аналізу та оцінювання елементів конкурентного потенціалу, а також кількісного визначення характеристик впливу один на одного;
- систематизація та аналіз структурних елементів конкурентного потенціалу підприємства автотранспорту та взаємодії між ними;
- визначення взаємної залежності визначених елементів у формуванні конкурентного потенціалу загалом;

3) розроблення заходів, спрямованих на підвищення конкурентного потенціалу підприємства автотранспорту:

-виявлення резервів нарощування конкурентного потенціалу відповідно до цілей та завдань розвитку підприємства автотранспорту;

- пошук та економічне обґрунтування напрямів використання конкурентного потенціалу підприємства автотранспорту

- забезпечення компенсаторного поєднання елементів конкурентного потенціалу та їхньої внутрішньої збалансованості;

- обґрунтування загальних та локальних стратегічних альтернатив щодо підвищення конкурентного потенціалу підприємства.

Таким чином, вирішення визначених завдань економічного управління конкурентним потенціалом підприємства автотранспорту сприятиме забезпеченню його економічного розвитку в умовах наростаючої конкуренції та невизначеності зовнішнього середовища шляхом формування ефективних заходів протидії його негативним проявам шляхом розроблення методичних підходів, що дадуть змогу оперативним чином здійснювати оцінювання впливу наслідків прийнятих управлінських рішень на економічні результати діяльності підприємства та сприятимуть найбільш повному освоєнню потенційних та реальних можливостей підприємства автотранспорту в конкурентному середовищі (рис.1).



Рисунок 1– Показники визначення рівня конкурентного потенціалу підприємства

Figure 1 **–** Indicators for determining the level of the enterprise's competitive potential

Конкурентний потенціал визначає конкурентні можливості, в основі яких лежать матеріальні і нематеріальні ресурси підприємства автотранспорту. Наявність ресурсів є необхідною умовою для функціонування підприємства, але не достатньою для перемоги у конкурентній боротьбі. Для формування конкурентних переваг серед інших учасників закордонного ринку необхідне ефективне використання ресурсів та правильна їх комбінація[12].

Важливим аспектом управління конкурентним потенціалом підприємства автотранспорту є діагностика та оцінювання за певними показниками. Діагностику та вимір конкурентного потенціалу підприємства здійснюють на основі наступних трьох підходів [18]:

1. У ресурсному підході конкурентний потенціал розглядають як сукупність продукції ресурсів,

основних засобів та предметів праці, що використовуються у виробництві. При цьому аналізується лише ресурсна складова потенціалу. В результаті взаємодії ресурсів, що становлять систему, проявляється ефект синергії, тобто, виникають нові властивості, якими кожен окремий вид ресурсу не володіє. Оцінка полягає у визначенні вартості наявних ресурсів, а рівень використання визначається співвідношенням отриманого результату та обсягу використаних ресурсів.

2. У результативному підході конкурентний потенціал представляється як здатність підприємства автотранспорту освоювати, переробляти наявні ресурси для задоволення потреб споживачів. Результат визначається наявністю на підприємстві будь-якого виду потенціалу та його вдалим використанням. Як тільки підприємство починає підтримувати наявний потенціал у стабільному стані та продовжує його розвивати, воно отримує конкурентну перевагу. При цьому аналізується та оцінюється максимальна кількість переваг, яку підприємство може реалізувати на зовнішньому ринку при даній кількості, якості та структурі ресурсів.

3. У резервному підході конкурентний потенціал розглядається з точки зору резервів підвищення результатів виробничо-господарської діяльності підприємства автотранспорту. Резерви це невикористані можливості підвищення ефективності діяльності, посилення впливу факторів, що сприяють зростанню показників ефективності, усунення негативного впливу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища. Виявлення резервів та визначення шляхів їх мобілізації є основними завданнями економічного аналізу потенціалу підприємства.

Оцінка конкурентного потенціалу підприємства автотранспорту дає можливість об'єктивно оцінити різні напрями його діяльності, і є основою для створення системи управління рівнем конкурентного потенціалу. Виявляючи свій конкурентний потенціал, підприємство встановлює недоліки в своїй господарській діяльності та розробляє пропозиції щодо підвищення рівня потенціалу відповідно до запланованих значень показників.

Персонал є головною ланкою виробничого процесу на підприємстві. Якими б не були новітні технології, інноваційні ідеї, вони ніколи не будуть ефективними, приносити максимальну користь без високоефективної роботи, належної підготовки і кваліфікації людських ресурсів. Управління персоналом є достатньо складним процесом, адже люди наділені інтелектом, здатністю мислити. Вони постійно розвивають між собою взаємовідносини, які часто впливають на продуктивність праці, виробництво, внутрішній клімат підприємства[3].

Сучасні підходи до управління персоналу підприємства свідчать про певні проблеми в системі управління підприємством, основними серед яких є недооцінювання керівництвом залежності конкурентоспроможності підприємства в сучасних умовах від якості персоналу. Пріоритетами для керівників підприємств є вирішення технічних, технологічних та фінансових питань.

Виконуючи вантажні перевезення, транспорт є складовим елементом матеріального виробництва та виконує взаємозв’язок між поставщиками та користувачами готової продукції. Клієнтами підприємств автотранспорту являються практично всі підприємства та організації народного господарства. Робітники підприємств автотранспорту беруть на себе відповідальність за строки доставки та збереження вантажів, забезпечуючи тим самим ефективність виробництва. Різноманітна номенклатура перевезених вантажів, наявність спеціалізованого пересувного складу, дотримання різних умов перевезень процесом, тому що зростає число факторів, які необхідно враховувати при прийнятті управлінських питань. Безперервність технологічного процесу роботи транспорту викликає необхідність використання додаткових резервів технологічних потужностей, а відтак і трудових ресурсів, високої кваліфікації виробничого персоналу, володіння суміжними професіями, збільшує роль соціального та психологічного аспектів управління персоналом [19].

Високий динамізм процесу перевезення, висока швидкість сполучень потребують від управлінського та виробничого персоналу постійного контролю за ситуацією, високої оперативності прийняття рішень. Цим визначається особливо уважне відношення до стану здоров’я персоналу, до психофізіологічних якостей та особистих властивостей працівників транспорту, наприклад, до персоналу диспетчерських служб підприємства автотранспорту, до водіїв міжнародних вантажних та пасажирських перевезень, до машиністів потягів дальнього слідування. Саме кадровий потенціал

характеризує можливості персоналу підприємства автотранспорту застосувати нові технології, реалізувати нові організаційні й управлінські рішення. Необхідно зазначити, що кадровий потенціал займає значне місце у підвищенні сталого розвитку підприємства підприємства автотранспорту, характеризує якість управлінського апарату і систему управління, її гнучкість, адаптивність[8].

Зазвичай проблеми в системі управління персоналом виникають як наслідок застою в цій системі. Кризові ситуації з персоналом не виникають випадково, а є результатом системних кризових явищ в різних сферах розвитку підприємства. Непристосованість результатів роботи персоналу до нових умов, які швидко змінюються, також може стати причиною кризових ситуацій, що виникають внаслідок змін в будь-якій з систем підприємства автотранспорту[22].

Отже, основними актуальними проблемами управління персоналом в умовах кризи можуть бути:

1. Збереження ключових співробітників підприємства автотранспорту, які забезпечують його стабільність та успішність, а також визначення ефективних методів залучення та утримання талановитого персоналу.
2. Мінімізація витрат на оплату праці та інші витрати, зокрема, шляхом скорочення штату та зменшення бюджету на розвиток персоналу, що може негативно вплинути на якість роботи підприємства автотранспорту та його конкурентоспроможність.
3. Розробка ефективної стратегії управління персоналом в умовах кризи, що дозволить зберегти конкурентоспроможність підприємства автотранспорту та збільшити ефективність його діяльності.
4. Розвиток креативних підходів до управління персоналом, які дозволять підтримувати мотивацію співробітників та стимулювати їхню продуктивність, незважаючи на складні умови кризи.

Таким чином, все вищесказане можна узагальнити в контексті того, що актуальні проблеми управління персоналом в умовах кризи (пандемія, військові дії) вимагають розробки ефективної стратегії залучення та утримання талановитого персоналу, мінімізації витрат на оплату праці та розвиток креативних підходів до мотивації співробітників.

Система управління персоналом містить в собі правила, які встановлюють взаємозв'язки між різними сферами управління персоналом підприємства та формують відповідні цілі щодо управління наявним персоналом. Для наочної ілюстрації може бути використана схема якості управління персоналом підприємства (рис. 2).

Система управління персоналом на підприємстві має наступні складові: прийняття рішень, контроль, облік, планування, аналіз та оцінка, коригування, стимулювання. Ці основні функції управління повинні виконуватись у системі управління персоналом незалежно від розмірів підприємства та його галузевої приналежності. До спеціальних функцій управління персоналом на підприємстві можна віднести: формування персоналу підприємства (зокрема вимог до персоналу); розвиток персоналу підприємства; оцінку персоналу підприємства; забезпечення персоналу необхідними ресурсами; використання персоналу підприємства[23].

Надання можливості навчання допомагає працівникам задовольняти свої професійні потреби та є нематеріальним стимулом у роботі підприємства для формування конкурентного потенціалу. Використання правил оцінювання забезпечує об’єктивну можливість формування уявлень про професіоналізм співробітників у керівництві та серед співробітників. Створення привабливих заохочень спонукає працівників підприємства автотранспорту до активної участі в удосконаленні виробничих процесів з метою підвищення рівня конкурентного потенціалу[28].

Підвищення ефективності роботи працівників задля покращення результатів господарської діяльності підприємства автотранспорту досягається завдяки: обов’язкового дотримання посадових інструкцій; автоматизованій системі обліку робочого часу; атестації співробітників; мотивування; системі заохочування дисциплінованих працівників (їх зарплата відповідає їхньому коефіцієнту корисної дії для підприємства); покарання для порушників трудової дисципліни [6].

Головною необхідністю для керівника є обізнаність у ключових подіях на підприємстві, інтересів, обставин і психологічного настрою кожного з підлеглих. Висока продуктивність не може бути досягнута без поваги до індивідуальності кожного робітника [6].

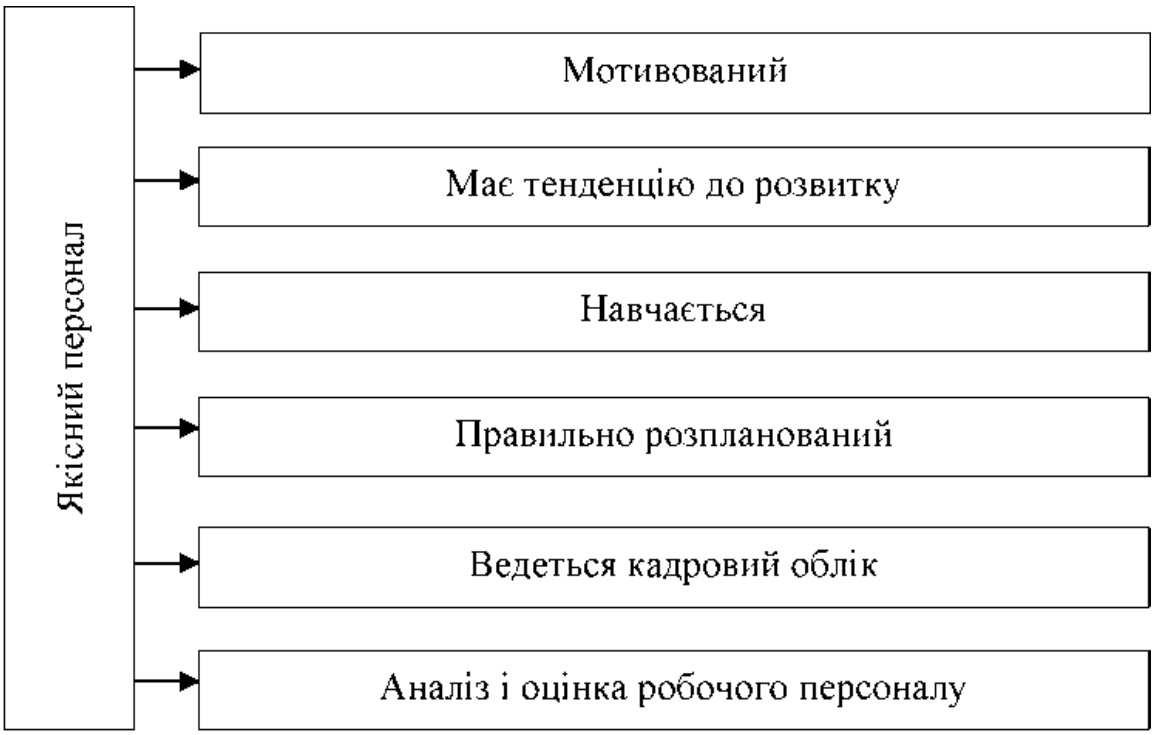


Рисунок 2 – Схема якості управління персоналом

Figure 2 – Scheme of personnel management quality

У свою чергу, для співробітників повинні бути розроблені такі способи стимулювання: запорука безпеки на робочому місці та його збереження; можливості кар'єрного розвитку на підприємстві автотранспорту; дохід працівника, тобто зарплата, прийнятна для працівника та виду виконуваних робіт; система винагород (винагороди, екскурсії, безкоштовний проїзд, пільги, знижки, подарунки) [20].

Інтелектуалізація та інформатизація підприємства визначає нові стандарти вирішення завдань аналізу та регулювання групових і міжособистісних відносин, усунення конфліктів і зниження колективного рівня стресу. Цифровий інструментарій також сприяє здійсненню соціально-психологічної діагностики колективу та управління мотивацією праці з урахуванням професійних особливостей та соціально-психологічної адаптації працівників. Такі модифікації вимагають повної реорганізації всієї існуючої системи управління [16].

Висновки. Таким чином, в роботі обґрунтовано роль персоналу в забезпеченні ефективності управління розвитком підприємства, визначено мету управління персоналом та складові системи управління персоналом на підприємстві. Основні функції управління повинні виконуватись у системі управління персоналом незалежно від розмірів підприємства та його галузевої приналежності, а до спеціальних функцій управління персоналом на підприємстві можна віднести: формування персоналу підприємства (зокрема вимог до персоналу); розвиток персоналу підприємства; оцінку персоналу підприємства; забезпечення персоналу необхідними ресурсами; використання персоналу підприємства.

Ефективність фінансово-господарської діяльності будь-якого підприємства, залежить від ефективності управління його персоналом, кожним елементом окремота системою в цілому. Тож, в роботі запропоновано заходи щодо оптимізації кадрових ресурсів адміністративного персоналу, що

дозволить зменшити адміністративні витрати та способи стимулювання співробітників, що повинно буде покладено в основу системи управління персоналом.

Управління конкурентним потенціалом підприємства автотранспорту повинно враховувати його оцінку і базуючись на результатах аналізу дає змогу адекватно вибудувати відповідну схему управління. При цьому вибудувана концепція повинна забезпечувати та підтримувати сформовані конкурентні переваги, це дасть змогу підтримати конкурентний потенціал підприємства автотранспорту на відповідному закордонному ринку.

Успішний розвиток підприємства автотранспорту слід пов'язуваии із значним підвищенням продуктивності виробничих ресурсів і зростанням продуктивності праці. Менеджери повинні бути озброєні різними методиками оцінки ефективності різноманітних ресурсів, насамперед персоналу. У складних умовах ведення бізнесу (військові дії) все більшого значення набуває менеджмент персоналу відповідно до інноваційних розробок, спрямований на миттєве реагування на постійно виникаючі ризики. Сучасні керівники підприємств автотранспорту і галузі повинні розробляти стратегії, орієнтовані на ринкові критерії, забезпечувати постійне оновлення переліку послуг, створювати сприятливу організаційну культуру, постійно відстежувати зміни, що відбуваються в зовнішньому середовищі, та реагувати на них у внутрішній діяльності підприємства

Перелік посилань

1.Афанасьева М.В. Концептуальна модель конкурентного потенціалу підприємства роздрібної торгівлі. *Розвиток національної економіки: теорія і практика: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Івано-Франківськ,* 3-4 квітня 2015 р.; ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»). Тернопіль: Крок, 2015. Ч. 2. С. 19-20.

2.Балабанова Л. В., Сардак О.В. Управління персоналом: підручник. Київ: Центр навчальної літератури, 2011. 468 с.

3.Бреус С. В., Кириленко І. В. Основні напрями підвищення ефективності процесу управління персоналом організації. *Інфраструктура ринку*. 2018. Вип. 25. С. 183–187.

4. Виклики та тренди в HR 2020: огляд кейсів номінантів Премії HR-бренд. URL: https://eba.com.ua/vyklyky-ta-trendy-v-hr-2020-oglyad-kejsiv-nominantiv-premiyi-hr-brend/.

5.Волянська-Савчук Л.В., Царук В.Ю. Використання сучасних комп'ютерних та інформаційних технологій в розвитку корпоративної культури на підприємстві. *Бізнес-навігатор*. 2018. № 2 (45). С. 189-196.

6.Гаєва В.П., Зінгаєва Н.Є., Стільник В.В. Професійний розвиток персоналу та його роль в управлінні //Молодий вчений» , 2018 р. № 10 (62) жовтень.

7.Головкова Л.С. Сукупний економічний потенціал корпорації: формування та розвиток: монографія / Л.С. Головкова. - Запоріжжя: Вид-во КПУ, 2009. - 340 с.

8.Гринько Т.В., Гвініашвілі Т.З., Піпкіна А.Є. Роль персоналу у процесі управління розвитком підприємства //*ЕКОНОМІКА ТА СУСПІЛЬСТВО.* Випуск 44 / 2022

9.Грішнова О.А., Заїчко О.С. Новітні технології в економіці персоналу: нові можливості і нові виклики.*Вісник економічної науки України*. 2016. № 2. С. 52—57.

10.Дашко І.М. Розвиток інноваційних технологій управління персоналом на підприємствах у сучасних умовах господарювання. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Сер.: Міжнародні економічні відносини та світове господарство. 2016. Вип. 9. С. 37—41.

11.Карачина Н.П., Перцата Л.І. Конкурентний потенціал та його роль у формуванні конкурентоспроможності підприємства. *Економічний простір*. 2014. № 86. С. 164-172.

12.Квасницька Р.О., Ардашкіна Н.І. Конкурентний потенціал: економічна природа та елементний склад. *Економічний аналіз*. 2012. Т 10 (4). С. 161-164.

13.Конкурентний потенціал та його роль у формуванні конкурентоспроможності підприємства URL: http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/CCAE8BAF-0B8A-42A9-A8C8-B65C4DABEC0A.pdf. (дата звернення: 15.11.2023)

14.Корсаков Д.О. Організаційна діагностика системи управління персоналом підприємства / Д.О. Корсаков [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/portal/Soc_Gum/Ecoroz/2011_3/ell3kors.pdf.

15.Кустріч Л.О. Стратегічне управління ресурсним потенціалом аграрних підприємств: дис. ... д-ра екон. наук: 08.00.04. Херсон, 2018. 504 с.

16.Ляшенко В. І., Вишневський О. С. Цифрова модернізація економіки України як можливість проривного розвитку: монографія / НАН України, Ін-т економіки пром-ті. Київ, 2018. 252 с.

17.Лужецький А. І. Ідентифікація поняття «конкурентний потенціал підприємства» та підходи до його управління. *Інноваційна економіка.* 2013. № 8 [46]. С. 125-128.

18. Матвєєв В. В. Методи оцінки конкурентного потенціалу підприємства. *Ефективна економіка.* 2013. № 12. С. 123-129.

19.Овчар П.А. Економічний розвиток автотранспортної галузі України в умовах глобальних викликів: [моногр.] П. А. Овчар. К.: ЦП «Компринт», 2018. 374 с.

20.Олійник А. С., Вельбой М. Б., Лук'яновець Н. М. Роль персоналу та виробничих витрат при ефективному управлінні підприємством. *Агросвіт*. 2021. № 7–8. С. 94–102.

21. Омельчак Г.В. Інституціональне середовище та сутність конкурентного потенціалу корпорацій / Г.В. Омельчак // *Держава та регіони*. Серія: Економіка та підприємництво - 2013. - № 3. - С. 121-125.

22.Посилкіна О. В. Управління персоналом: навч. посіб. Харків: НФаУ, 2015. 517 с.

23.Продіус О.І. Теоретично-методичні основи управління персоналом транспортного підприємства / О. І. Продіус. // *Причорноморські економічні студії*. – 2019. – №41. – С. 116–120.

24.Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Закон України від 30 травня 2018 року № 430-р. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p.

25.Стратегічний план розвитку автомобільного транспорту та дорожнього господарства на період до 2020 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://mtu.gov.ua/files/Стратегічний%20план%20авто.pdf.

26. Спіцина А.Є. Конкурентоспроможність персоналу транспортної галузі України в умовах євроінтеграції. *Економічний вісник Дніпровської політехніки*, 2022, №4(80). С. 80-94 https://ev.nmu.org.ua/index.php/uk/archive?arh_article=1469

27.Спіцина А.Є. Цифрова культура в управлінні персоналом транспортної галузі України. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.* 2023. №113.2. С.202-215. http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/113.2/UKR.htm

28.Шаманська О. І. Стратегічне управління персоналом підприємства в сучасних умовах. *Економіка та держава*, 2019. № 12. С. 66–70.

THE ROLE OF STAFF IN MANAGING THE COMPETITIVE POTENTIAL OF A MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE

Spitsyna Anhelina Ye., Ph.D., Associate Professor of the Department of Economics National Transport University, Kyiv, Ukraine, angel7a@ukr.net, tel. +380679053181, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, https://orcid.org/0000-0001-9730-6249

Halytskyi Bohdan Yu., graduate student of the Department of Economics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, galitskyi@ukr.net, tel. +380675380569, , Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, https://orcid.org/0009-0007-5494-4962

Abstract. Competitive potential, formed as the potential of innovation-oriented development, contains unused opportunities of accumulated resources that can be put into action to achieve the goals of the motor vehicle enterprise only under the condition of applying new knowledge in various spheres of the enterprise. Thus, only an enterprise that organizes its work in such a way as to constantly accumulate and implement new knowledge, forms its knowledge base that corresponds to the chosen directions of enterprise development, will be able to effectively and fully realize the competitive potential in accordance with the adopted development

strategy, will be stably competitive in the modern market and will be able to fit into the technological trajectory of the development of the national economy. The optimal functioning and development of the competitive potential of a motor vehicle enterprise depend on the optimization of management decisions and the organizational management structure within which these decisions are developed and implemented. Therefore, the creation of an effective competitive potential management system at each enterprise, which will ensure the competitiveness of the enterprise, is an urgent necessity. The formation of sustainable competitive advantages of both the economy in general and a specific motor vehicle enterprise is possible only under the condition of effective, rational use of enterprise personnel. The practice of the operation of enterprises confirms that the sequence of principles and methods of attracting and using human capital ensures mutual return, increased profit, and an increase in the level of socio-economic effect. In the current business environment, most managers recognize that the competitive advantage of a motor vehicle enterprise is reflected by the advantage of the personnel of this enterprise compared to others. New equipment, raw materials, equipment of any quality are available to all competitors on the market, so such features of personnel as their knowledge, qualifications, level of training, continuous development, etc. can become the main advantage among competitors.

Key words: competitive potential, personnel, management, motor transport enterprises, competitive advantages, transport system, innovations, technologies.

References

1.Afanaseva M.V. Kontseptualna model konkurentnoho potentsialu pidpryiemstva rozdribnoi torhivli. Rozvytok natsionalnoi ekonomiky: teoriia i praktyka: materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf. (Ivano-Frankivsk, 3-4 kvitnia 2015 r.; DVNZ «Prykarpatskyi natsionalnyi universytet imeni Vasylia Stefanyka»). Ternopil: Krok, 2015. Ch. 2. S. 19-20.

2.Balabanova L. V., Sardak O.V. Upravlinnia personalom: pidruchnyk. Kyiv: Tsentr navchalnoi literatury, 2011. 468 s.

3.Breus S. V., Kyrylenko I. V. Osnovni napriamy pidvyshchennia efektyvnosti protsesu upravlinnia personalom orhanizatsii. Infrastruktura rynku. 2018. Vyp. 25. S. 183–187.

4. Vyklyky ta trendy v HR 2020: ohliad keisiv nominantiv Premii HR-brend. URL: https://eba.com.ua/vyklyky-ta-trendy-v-hr-2020-oglyad-kejsiv-nominantiv-premiyi-hr-brend/.

5.Volianska-Savchuk L.V., Tsaruk V.Iu. Vykorystannia suchasnykh kompiuternykh ta informatsiinykh tekhnolohii v rozvytku korporatyvnoi kultury na pidpryiemstvi. Biznes-navihator. 2018. № 2 (45). S. 189-196.

6.Haieva V.P., Zinhaieva N.Ie., Stilnyk V.V. Profesiinyi rozvytok personalu ta yoho rol v upravlinni //Molodyi vchenyi» № 10 (62) zhovten, 2018 r.

7.Holovkova L.S. Sukupnyi ekonomichnyi potentsial korporatsii: formuvannia ta rozvytok: monohrafiia / L.S. Holovkova. - Zaporizhzhia: Vyd-vo KPU, 2009. - 340 s.

8.Hrynko T.V., Hviniashvili T.Z., Pipkina A.Ie. Rol personalu u protsesi upravlinnia rozvytkom pidpryiemstva //EKONOMIKA TA SUSPILSTVO. Vypusk # 44 / 2022

9.Hrishnova O.A., Zaichko O.S. Novitni tekhnolohii v ekonomitsi personalu: novi mozhlyvosti i novi vyklyky.Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy. 2016. № 2. S. 52—57.

10.Dashko I.M. Rozvytok innovatsiinykh tekhnolohii upravlinnia personalom na pidpryiemstvakh u suchasnykh umovakh hospodariuvannia. Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Ser.: Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove hospodarstvo. 2016. Vyp. 9. S. 37—41.

11.Karachyna N.P., Pertsata L.I. Konkurentnyi potentsial ta yoho rol u formuvanni konkurentospromozhnosti pidpryiemstva. Ekonomichnyi prostir. 2014. № 86. S. 164-172.

12.Kvasnytska R.O., Ardashkina N.I. Konkurentnyi potentsial: ekonomichna pryroda ta elementnyi sklad. Ekonomichnyi analiz. 2012. T 10 (4). S. 161-164.

13.Konkurentnyi potentsial ta yoho rol u formuvanni konkurentospromozhnosti pidpryiemstva URL: http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/CCAE8BAF-0B8A-42A9-A8C8-B65C4DABEC0A.pdf. (data zvernennia: 15.11.2023

14.Korsakov D.O. Orhanizatsiina diahnostyka systemy upravlinnia personalom pidpryiemstva / D.O. Korsakov [Elektronnyi resurs]. - Rezhym dostupu: http://www.nbuv.gov.ua/portal/Soc_Gum/Ecoroz/2011_3/ell3kors.pdf.

15.Kustrich L.O. Stratehichne upravlinnia resursnym potentsialom ahrarnykh pidpryiemstv: dys. ... d-ra ekon. nauk: 08.00.04. Kherson, 2018. 504 s.

16.Liashenko V. I., Vyshnevskyi O. S. Tsyfrova modernizatsiia ekonomiky Ukrainy yak mozhlyvist proryvnoho rozvytku: monohrafiia / NAN Ukrainy, In-t ekonomiky prom-ti. Kyiv, 2018. 252 s.

17.Luzhetskyi A. I. Identyfikatsiia poniattia «konkurentnyi potentsial pidpryiemstva» ta pidkhody do yoho upravlinnia. Innovatsiina ekonomika. 2013. № 8 [46]. S. 125-128.

18. Matveev V. V. Methods of assessing the competitive potential of an enterprise. Efficient economy. 2013. No. 12. P. 123-129.

19. Ovchar P.A. Economic development of the motor transport industry of Ukraine in conditions of global challenges: [monograph] P. A. Ovchar. K.: CP "Comprint", 2018. 374 p.

20.Oliinyk A. S., Velboi M. B., Lukianovets N. M. Rol personalu ta vyrobnychykh vytrat pry efektyvnomu upravlinni pidpryiemstvom. Ahrosvit. 2021. № 7–8. S. 94–102.

21. Omelchak H.V. Instytutsionalne seredovyshche ta sutnist konkurentnoho potentsialu korporatsii / H.V. Omelchak // Derzhava ta rehiony. Seriia: Ekonomika ta pidpryiemnytstvo. - 2013. - № 3. - S. 121-125.

22.Posylkina O. V. Upravlinnia personalom: navch. posib. Kharkiv: NFaU, 2015. 517 s.

23.Prodius O.I. Teoretychno-metodychni osnovy upravlinnia personalom transportnoho pidpryiemstva / O. I. Prodius. // Prychornomorski ekonomichni studii. – 2019. – №41. – S. 116–120.

24.Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku : Zakon Ukrainy vid 30 travnia 2018 roku № 430-r. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-r.

25.Stratehichnyi plan rozvytku avtomobilnoho transportu ta dorozhnoho hospodarstva na period do 2020 roku [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://mtu.gov.ua/files/Stratehichnyi%20plan%20avto.pdf.

26. Spitsyna A.Ie. Konkurentospromozhnist personalu transportnoi haluzi Ukrainy v umovakh yevrointehratsii. Ekonomichnyi visnyk Dniprovskoi politekhniky, 2022, №4(80). S. 80-94
https://ev.nmu.org.ua/index.php/uk/archive?arh_article=1469

27.Spitsyna A.Ie. Tsyfrova kultura v upravlinni personalom transportnoi haluzi Ukrainy. Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. 2023. №113.2. S.202-215. http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/113.2/UKR.htm

28.Shamanska O. I. Stratehichne upravlinnia personalom pidpryiemstva v suchasnykh umovakh. Ekonomika ta derzhava, 2019. № 12. S. 66–70.

УДК 338.47 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-205-213**
UDC 338.47

ДЕТЕРМІНАНТИ РОЗВИТКУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КАПІТАЛУ ПІДПРИЄМСТВ ТРАНСПОРТУ

DETERMINANTS OF INTELLECTUAL CAPITAL DEVELOPMENT OF TRANSPORT ENTERPRISES



Спіцина Ангеліна Євгенівна, *кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри економіки, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, angel7a@ukr.net, tel. +380679053181*

https://orcid.org/0000-0001-9730-6249



Голова Інна Георгіївна, *аспірант кафедри економіки, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, inna.golova@gmail.com, tel. +380677786658*

https://orcid.org/ 0000-0001-9717-7109

Анотація. У статті з'ясовано значення інтелектуального капіталу для розвитку підприємства. Розглянуто підходи до визначення сутності інтелектуального капіталу як соціального явища та інтелектуального капіталу підприємства як економічної категорії. Визначено, що інтелектуальний капітал розглядається з позиції здібностей людини, її знань, можливостей, які трансформуються у матеріальні блага, що стають основою для прогресивного розвитку суспільства. Інтелектуальний капітал підприємства у науковій літературі вивчається як сукупність наукових кадрів (інтелектуальна еліта), заводських марок, товарних знаків, ліцензій, патентів, зокрема й активів підприємства. Також узагальнено наукові підходи з приводу тлумачення інтелектуального капіталу підприємства та виокремленні класифікаційні ознаки, які вирізняють три аспекти формування зазначеної категорії: ресурси, практичне впровадження, ефект. Визначено детермінанти, що впливають на складові інтелектуального капіталу підприємств транспорту та удосконалено класифікацію чинників формування системи управління інтелектуальним капіталом таких підприємств шляхом виділення чинників на макро-, мезо- та мікрорівнях економіки. Окреслено авторське бачення визначення сутності інтелектуального капіталу підприємства та подано його структуру.

Ключові слова: інтелектуальний капітал підприємства, ресурси, детермінанти, інтелектуальна діяльність, інтелектуальні продукти, комерціалізація, практичне впровадження.

Вступ. У сучасному суспільстві економічне зростання, розподіл сукупного капіталу, використання інтелектуального потенціалу, технологічних переваг підприємства у конкурентному середовищі прямо пропорційні людському капіталу, що є складником інтелектуального капіталу. У результаті таких тенденцій окреслюється перехід від парадигми управління людськими ресурсами до управління розвитком людського капіталу. Це визначає необхідність відображення інформації про людський капітал в основі інноваційного розвитку підприємства, що є однією з невирішених проблем у даному напрямі дослідження.

Транспорт України в умовах національної та загальносвітової фінансово-економічної кризи, військових дій, знаходиться у складному становищі: скорочення обсягів перевезень, прогресуюче старіння основних засобів, нестача коштів на оновлення передовсім рухомого складу та інші фактори

призводять до зниження його конкурентоспроможності та ефективності функціонування. В цій ситуації керівництву транспортного комплексу, на нашу думку, треба звернути особливу увагу на інтелектуальний капітал, який складається з людського та структурного. Саме шляхом розвитку інтелектуального капіталу, тобто, покращенням практичних навичок, творчих і розумових здібностей персоналу, системи управління, технічного і програмного забезпечення, організаційних форм та структур, корпоративної культури, зв'язків з крупними вантажовласниками може бути досягнуто підвищення якості рішень, що приймаються, на всіх рівнях управління і, відповідно, зростання конкурентоспроможності транспортного комплексу. Тому актуальним є дослідження сутності, структури і методик оцінки інтелектуального капіталу для застосування цієї категорії в практиці діяльності транспортної галузі України.

Нова парадигма функціонування підприємства в сучасних економічних умовах визначається, зокрема, такими векторами, як цифровізація у різних її проявах, соціальна відповідальність, екологія, сталий розвиток. Тому сьогодення вимагає від підприємців визначення не лише традиційних мультиплікаторів бізнесу, а й таких, що характеризують нематеріальні активи, які забезпечують зростання вартості підприємства. До нових важливих для власника та інвестора ресурсів підприємства сьогодні включаються інтелектуальні ресурси: компетентності персоналу, рівень знань, об'єкти інтелектуальної власності, новітні технології, репутаційний капітал та ін. За сучасних умов підприємства значно різняться за рівнем інтелектуального капіталу, який можливо краще оцінити за іміджевими ознаками, ніж за допомогою кількісних вимірювань. У зв'язку із зазначеним актуальним науковим завданням є уточнення концептуальних засад формування інтелектуального капіталу підприємства в середовищі інноваційної економіки та визначення наукового підґрунтя його структурування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні та практичні аспекти розвитку інтелектуального капіталу є предметом дослідження таких вчених, як: В. Базилевич, В. Геєць. Стюарт, О. Кендюхов, Н. Кельчевська, І. Черненко, Ю. Богоявленська, А. Суходольська, Д. Богиня, З. Варналій, Н. Гавкалова, В. Гриньова, О. Грішнова, М. Долішний, А. Колот, в працях яких визначені сутність, структура інтелектуального капіталу, підходи до його оцінювання. Але незважаючи на наявність певної кількості публікацій, немає єдиної думки щодо термінології, структури інтелектуального капіталу і методики його оцінки для підприємств транспортного комплексу.

Метою статті є розкриття змісту інтелектуального капіталу підприємств та виявлення і систематизації чинників детермінатів, що впливають на формування інтелектуального капіталу підприємств транспортного комплексу

Виклад основного матеріалу. У наш час підприємства транспорту знаходяться в надзвичайно важких умовах, їх фінансово-економічний стан значно погіршився. Досліджуючи численні внутрішні причини кризової ситуації на підприємствах транспорту визначено, що найбільш серйозною загрозою для їх стійкого розвитку є неефективна інноваційно-інвестиційна діяльність, що в першу чергу, обумовлено недостатнім рівнем інтелектуального капіталу та низькою результативністю управління процесами його розвитку.

Зважаючи на те, що глибоке проникнення інтелектуального капіталу у виробництво змінює його характер, забезпечує зростання його ефективності, особливого значення набувають питання, пов'язані з дослідженням сутності інтелектуального капіталу підприємства.

Сьогодні інтелектуальний капітал є об'єктом дослідження в багатьох наукових працях, набуває все більшої актуальності в управлінні підприємством через суттєвий вплив на капіталізацію, існують також рекомендації із відображення окремих його складових у звітності. Звідси слідує, що підприємства, які виробляють послуги інтелектуального характеру, використовують високотехнологічне обладнання або забезпечують високий рівень цифровізації бізнес- процесів, володіють значними ресурсами інтелектуального капіталу. Як зазначила О.Собко, учення про роль інтелектуального капіталу зазнало еволюції, оскільки інтелектуальний капітал слід вважати однією із найбільш динамічних категорій в умовах стрімкої цифровізації, навчання протягом усього життя та впровадження штучного інтелекту у підприємницьку діяльність [8, с. 18]. Сьогодні інтелектуальний

капітал є економічною категорією, і у науковців немає єдиної думки стосовно його сутності, структури, формування та оцінювання.

Економічна сутність інтелектуального капіталу проявляється саме через вивчення його складових, що вимагає їх уточнення за певними параметрами. В. Базилевич розглядав інтелектуальний капітал через такі взаємопов'язані аспекти: 1) цінність, що визначається як актив, здатний приносити дохід; 2) система, що являє собою сукупність взаємопов'язаних елементів; 3) процес, який відображає наявність відтворювальних характеристик, пов'язаних із кругообігом; 4) результат, що означає пріоритет у процесі споживання [1, с. 57].

Можна погодитись із таким підходом, оскільки формування та/або використання багатьох складових інтелектуального капіталу в поточному періоді підвищить ефективність цих та інших категорій активів підприємства. О. Бутнік-Сіверський визначив класифікацію видів інтелектуального капіталу за такими ознаками: форма власності, корпоративна транзакція, резидентність, форма залучення, термін доступу, спосіб формування та можливість оцінювання вартості [2, с. 14]. Інтелектуальним капіталом в управлінському аспекті може виступати репутація, знання, компетентності, фінансові зв'язки, інформація, довіра клієнтів, організаційна культура, концепції та системи управління, бази даних та ін. Дослідивши тлумачення інтелектуального капіталу в економічному аспекті [4, 6] та врахувавши підходи авторів, можна визначити основні характеристики інтелектуального капіталу на підприємстві: вартісна оцінка, фактор отримання прибутку і збільшення ринкової вартості, нематеріальна форма, майновий і немайновий характер.

Найвагомішим фактором розвитку цього віку є інтелектуальний капітал, а найважливішим фактором розвитку інтелектуального капіталу є освіта, яка забезпечує набуття знань, навичок, професійних здібностей, культурних цінностей, розвиток інтелекту та вмінь, що створюють можливість швидкого реагування на зміну ринкових умов. Що вищий рівень освіти індивіда, то вищий рівень його інтелектуального капіталу, а отже, можливість отримання додаткових благ через перетворення даного капіталу в інтелектуальний бізнес.

Інтелектуальний капітал розглядається науковцями як система, складові якої є суперечливими, дискусійними, невичерпними, змінними у часі. На основі огляду літературних джерел узагальнено ті види складових інтелектуального капіталу, які найчастіше досліджуються у наукових працях: людський капітал (знання, вміння, досвід); структурний капітал; споживчий капітал; організаційний капітал; соціальний капітал; реляційний капітал (капітал відносин, взаємодії); технологічний капітал.

Проведене дослідження дозволило сформувати структурну модель інтелектуального капіталу підприємства, представлену на рис.1.

Найбільшого розвитку в економічних дослідженнях набула концепція людського капіталу, яка дозволяє визначити його об'єкти на рівні підприємства, а також шляхи їх використання і збільшення, встановлювати точки їх взаємозв'язків із соціальним капіталом, визначати межі колективної та індивідуальної власності на такі об'єкти та ін. Багато учених сходяться на думці, що людський капітал є найбільш цінним структурним елементом інтелектуального капіталу. Сьогоднішні вимоги до персоналу підприємства посилюються, доповнюючись такими видами компетентностей, як технологічні та комунікаційні навички, аналітичні здібності, гнучкість, творчість та ін. Зазначені компоненти інтелектуального капіталу можуть бути виміряні лише витратами на їх набуття й розвиток. Водночас людський капітал доцільно пов'язувати зі зростанням продуктивності праці, і тоді його вимірювання можливо забезпечити через показники доходу або інноваційного розвитку. При цьому варто зауважити, ефективне використання людського капіталу забезпечується шляхом встановлення та ефективної підтримки точок взаємодії персоналу всередині підприємства та поза його межами (з різними категоріями зацікавлених сторін - освітніми закладами, контрагентами, клієнтами). У сучасних умовах автоматизації процесів, використання штучного інтелекту беззаперечним залишається інтелектуальне забезпечення прийняття рішень людиною.



Рисунок 1 – Структурна модель інтелектуального капіталу підприємства
Джерело: розроблено за данними [1-6]
Figure 1 – Structural model of the enterprise's intellectual capital
Source: developed according to data [1-6]

Простір інтелектуального капіталу підприємства вибудовується через систему управління інтелектуальним капіталом, етапи та механізми, що забезпечує трансформацію та підвищення ступеня уречевлення (матеріалізації) елементів знаннєво-інформаційного капіталу. Основною умовою ефективного формування інтелектуального капіталу є належний рівень розвитку особливого середовищного простору, що відповідає в широкому розумінні соціальному капіталу підприємства.

У своїй унікальній комбінації для кожного підприємства утворюються функції інтелектуального капіталу, що створюють сприятливі умови для діяльності та подальшого розвитку підприємства, зменшують підприємницькі ризики, стимулюють фінансове зростання та підвищують стійку конкурентоспроможність та інноваційність підприємств.

"Інтелектуальний капітал підприємства" постає з визначення та огляду основних функцій інтелектуального капіталу підприємства (з урахуванням особливостей такого для розвитку підприємництва) :

творча (забезпечує генерацію, удосконалення та оновлення, а також полягає у можливості примноження інших видів активів/ресурсів підприємства шляхом їх трансформації та подальшої капіталізації);

накопичувальна (підвищує "концентрацію" корисних та цінних елементів знаннєвого, реляційного, клієнтського, технологічного, соціального та людського капіталів організації);

системоутворююча (постає з системного підходу до розгляду та аналізу інтелектуального капіталу підприємства, виявлення системних ознак організації сукупності нематеріальних активів підприємства та синергічного ефекту в результаті взаємодії складових/елементів інтелектуального капіталу підприємства);

виробнича (забезпечує виробничий процес, а також його оновлення через впровадження нових технологій, випуск інноваційних товарів, продуктів, диверсифікації надання послуг);

стимулююча (мотивує до отримання різних видів благ та цінностей); соціальна (генерує та поширює соціально значимі цінності, упорядковує та підтримує ієрархію таких, а також створює блага); інформаційна (забезпечує накопичення, систематизацію, поширення та примноження знаннєво - інформаційного капіталу підприємства);

пізнавальна (полягає у забезпеченні інформацією щодо стану зовнішнього середовища, запитів клієнтів та споживачів, інвесторів та інших зацікавлених сторін);

інтеграційна (об'єднує усі інші активи та ресурси підприємства у досягненні мети, місії підприємства, зокрема забезпечує цілісність одночасно сприяючи поширенню нових, наукових інноваційних знань та освітніх компетенцій у виробництво та бізнес);

регулююча (обумовлює ступінь динамізму виробничих та соціальних процесів на підприємстві в умовах інноваційного та екоінноваційного розвитку підприємства; розмір інтелектуального капіталу визначає масштаби діяльності організації);

екосвітоглядна та освітня (залежить від стану розвитку зеленого інтелектуального капіталу, практики поширення знань, екоінформації, ступеня розвитку соціального капіталу підприємства);

комунікативна (забезпечує внутрішньо- та зовнішньо середовищну взаємодію за сучасних можливостей наявних засобів комунікації); виховна, аксіологічна (полягає у формуванні актуалізованої особистості, утверджені норм і правил поведінки суб'єктів, нівелюванні соціального цинізму); адаптивна (обумовлює систему дій та процесів з проблеми пристосування до турбулентних умов ведення бізнесу, гарантування організаційної та економічної стійкості);

оперативна (як складова менеджменту визначається за рівнем хроновідповідності та адекватності укладення певних організаційних рішень/дій, а також можливістю виступати креатором розвитку організаційного потенціалу в умовах різновекторності спрямування інтегративних процесів на підприємства);

економічна (формує економічно значущі переваги; забезпечує процес куплі-продажу прав та об'єктів інтелектуальної власності; інтелектуальний капітал підприємства є “барометром” прихильності клієнтів, довіри зацікавлених сторін та фінансової стійкості, тощо);

прогностична (обумовлює майбутні можливості підприємства); ціннісно-культурологічна (вибудовує ієрархію цінностей та відіграє провідну роль у формуванні корпоративної культури підприємства);

консолідуюча (згуртовує соціогрупи, солідаризує, а також забезпечує інтеграцію та мобілізацію людських ресурсів підприємства);

організуюча (встановлення певного порядку та забезпечення фундаменту інновацій у наслідок внутрішньо- організаційної взаємоузгодженості);

розвиваюча та науково-дослідна (інтелектуальний капітал підприємства - драйвер інноваційного розвитку та прогресу).

Зазначені функції інтелектуального капіталу підприємства пов'язані з його ключовими сутнісними ознаками: нематеріально-інтелектуальною природою (відповідає творчій, ціннісно - культурологічній, пізнавальній, прогностичній, розвиваючій, інформаційній, комунікативній функції), як фактору виробництва (виробнича, стимулююча, інтеграційна, регулююча та організаційна функції), соціально-економічною значимістю (адаптивна, економічна, накопичувальна, консолідуюча та оперативна функції).

Інтелектуальний капітал підприємств транспортного комплексу формується і використовується під впливом множини чинників, які визначають специфіку його стану, розвитку та відтворення, і мають різний рівень впливу в залежності від внутрішньої структури та особливостей його застосування. Враховуючи специфіку підприємств транспорту чинники впливу на їх інтелектуальний капітал розкрито на макро, мезо і мікрорівні (рис. 2).

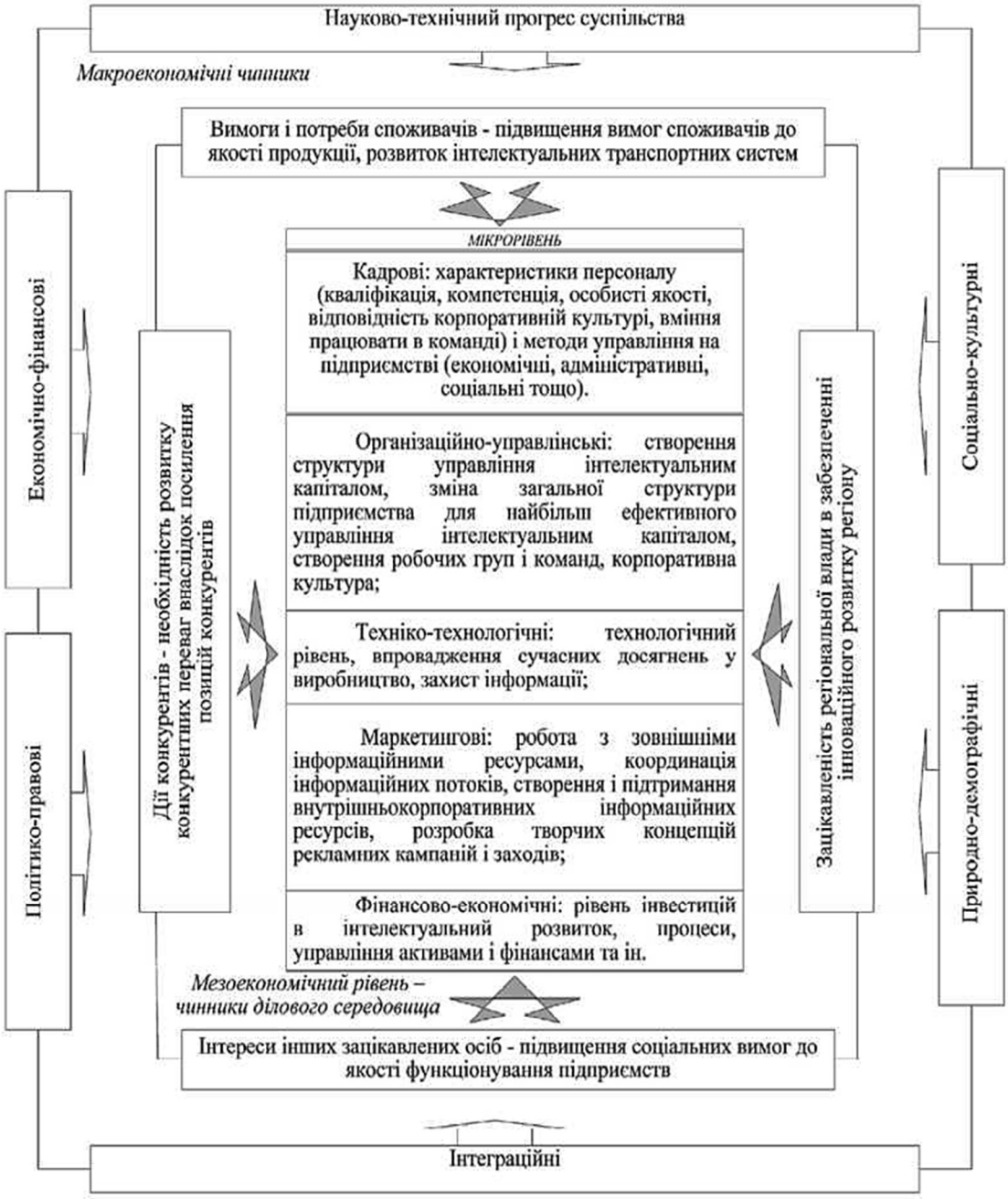


Рисунок 2 – Детермінанти розвитку інтелектуального капіталу підприємств транспортного комплексу [5-7].

Figure 2 – Determinants of the development of intellectual capital of enterprises of the transport complex [5-7]

Так, на макрорівні істотний вплив на інтелектуальний капітал підприємств транспорту здійснюють такі чинники:

1.Науково-технічний прогрес суспільства, який визначається: збільшенням кількості результатів інтелектуальної діяльності; появою нових, раніше не існуючих наукових розробок в різних галузях знань; "стрибком" науково-технічного прогресу, що дає моментальний комерційний ефект; формуванням і швидким розвитком віртуального простору шляхом об'єднання комп'ютерних мереж,

створенням інтернет-простору, що забезпечує нові можливості в сфері отримання, обміну і виробництва нових знань; можливістю проведення науково-дослідницької діяльності невеликими групами спеціалістів з отриманням значних результатів для науки та економіки.

2. Економічно-фінансові: підвищення витрачання фінансових ресурсів на створення і отримання об'єктів інтелектуальної власності; зростання вартості нематеріальних активів порівняно з матеріальної складової у виробництві товарів і послуг; формування нового ресурсу в господарській діяльності - інтелектуального капіталу і створення у зв'язку з цим нового швидко зростаючого сектора економіки - інформаційного; поява нової стратегії конкурентної боротьби, заснованої на змаганні "інтелектуальних капіталів підприємств"; поява глобальних інформаційних мереж викликало зміна характеру економічних відносин між господарюючими суб'єктами, розвиток нових структурних елементів в економіці; розвиток ринку об'єктів інтелектуальної власності, а також законодавства щодо захисту цих об'єктів; диференціація індивідуальних потреб, перехід на нові способи господарювання, які дозволяють задовольнити запити кожного конкретного клієнта.

3. Соціально-культурні чинники, що включають: підвищення рівня і якості життя населення; підвищення рівня освіти суспільства, впливає на формування інтелектуального потенціалу людства; збільшення динаміки і швидкості змін, що відбуваються в економічному середовищі, що призвело до перебудови світогляду суспільства, формування нових цінностей та здібностей; посилення влади інтелектуальної еліти, що володіє значним обсягом інформації і знань; зростання ролі засобів масової інформації в управлінні свідомістю і поведінкою населення; підвищення значущості інтелектуальних потреб суспільства і можливості їх задоволення; незатребуваність на ринку праці індивідів, не здатних отримувати нові знання і набувати нові навички та вміння, опановувати нові продукти.

4.Політико-правові, до складу яких входять: вдосконалення державної політики у сфері розвитку інтелектуального капіталу - вибір приоритетних напрямків розвитку науки і техніки, удосконалення національного законодавства у сфері захисту прав інтелектуальної власності; сприяння у розвитку інтелектуальної інфраструктури; вдосконалення державної політики у сфері соціального та людського розвитку.

5. Природно-демографічні: чисельність, структура населення та характеристика процесів його приросту; екологічна обстановка.

6. Інтеграційні: розвиток міжнародного співробітництва; формування міжнародних транспортно- логістичних систем товаро і пасажироруху.

На мезорівні найважливішими чинниками, що впливають на розвиток інтелектуального капіталу підприємств транспорту є такі:

1. Вимоги і потреби споживачів — підвищення вимог споживачів до якості продукції, розвиток інтелектуальних транспортних систем;
2. Дії конкурентів — необхідність розвитку конкурентних переваг внаслідок посилення позицій конкурентів;
3. Зацікавленість регіональної влади в забезпеченні інноваційного розвитку регіону;
4. Інтереси інших зацікавлених осіб - підвищення соціальних вимог до якості функціонування підприємств.

На рівні підприємств транспорту детермінантами розвитку інтелектуального капіталу є:

1. Кадрові: характеристики персоналу (кваліфікація, компетенція, особисті якості, відповідність корпоративній культурі, вміння працювати в команді) і методи управління на підприємстві (економічні, адміністративні, соціальні тощо).
2. Організаційно-управлінські: створення структури управління інтелектуальним капіталом, зміна загальної структури підприємства для найбільш ефективного управління інтелектуальним капіталом, створення робочих груп і команд, корпоративна культура.
3. Техніко-технологічні: технологічний рівень, впровадження сучасних досягнень у виробництво, захист інформації.
4. Маркетингові: робота з зовнішніми інформаційними ресурсами, координація інформаційних потоків, створення і підтримання внутрішньокорпоративних інформаційних ресурсів, розробка

творчих концепцій рекламних кампаній і заходів

5. Фінансово-економічні: рівень інвестицій в інтелектуальний розвиток, процеси, управління активами і фінансами та ін.

Для України сьогодні, вкрай важливо не зупинятися, а рухатися вперед, розширювати горизонти та можливості інтелектуального майбутнього, досягати нових суттєвих і впевнених успіхів. Та для цього економічно зацікавленим особам і відповідним органам влади, необхідно:

- забезпечити цивілізований ринок інтелектуальної власності, що дасть змогу розвивати прозорий інтелектуальний бізнес;

- необхідно значно посилити контроль за порушення прав інтелектуальної власності задля стимулювання таким чином суб'єктів господарювання до більш активного використання переваг у цій сфері і створення та комерціалізації об'єктів інтелектуальної творчої діяльності;

-слід проводити активну інформаційно-роз'яснювальну кампанію, спрямовану на популяризацію придбання, створення і комерціалізацію суб'єктами господарювання об'єктів інтелектуальної власності. Адже результати багатьох експертних опитувань засвідчують низький рівень обізнаності пред представників бізнесу щодо доцільності (зокрема, в аспектах капіталізації та оптимізації податкових платежів підприємств - прямих економічних зисків), переваг їх використання, а також механізмів створення, комерціалізації, проходження державної охорони і захисту [7].

Висновки. Отже, вирішення питання розвитку інтелектуального капіталу та інтелектуального бізнесу для сучасної української економіки, яка знаходиться в суспільному пошуку відповідей на політичні, фінансові, військові, соціальні, ресурсні та моральні питання, є важливим та актуальним пріоритетом для нашої держави. Україні, втративши за останні роки частину ринків, територій, стратегічних ресурсів і значних витрат на проведення військових операцій з низьким власним інтелектуально-технічним та ресурсним потенціалом у стратегії і тактиці ведення війни, надзвичайно важливим є усвідомлення значення підтримки працюючого інтелектуального капіталу та інтелектуального бізнесу, а також невикористаних можливо стей щодо їх реалізації та розвитку в інтересах зміцнення та стабілізації власної економіки.

Таким чином, досліджено підходи щодо визначення сутності інтелектуального капіталу підприємства і зроблено висновок про поширення комплексного підходу, який розкриває інтелектуальний капітал як систему капіталізованих інтелектуальних знань, творче використання яких забезпечує виробництво нових інтелектуальних благ та отримання відповідних доходів. На основі системного розгляду детермінант, що впливають на складові інтелектуального капіталу підприємств транспорту удосконалено класифікацію чинників формування системи управління інтелектуальним капіталом таких підприємств шляхом виділення факторів на макро-, мезо- і мікрорівнях економіки.

Перелік посилань

1. Базилевич В. Д. Інтелектуальна власність:підручник / В. Д. Базилевич.- 2 вид. К.: Знання, 2008. 431 с.

2. Бутнік-Сіверський О.Б., Красовська А.Г. Теоретичні засади інтелектуальної інноваційної діяльності на підприємстві. Економіка України. 2004. № 12.С. 31-37.

3. Геєць В. Економіка знань та перспективи її розвитку для України / В. Геєць // НАН України. Інт екон. прогнозув. К., 2005. 426 с.

4.Дикань В. Л. Стратегічні пріоритети розвитку економіки України в умовах зміни центрів економічної та політичної влади. *Вісник економіки транспорту і промисловості*: збірник науково-практичних статей. 2013. Вип. №41. С. 11-16.

5. Кендюхов О.В. Інтелектуальний капітал підприємства: методологія формування механізму управління: монографія / О.В. Кендюхов / НАН України Інститут економіки промисловості; ДонУЕП. Донецьк: ДонУЕП, 2006. 307 с.

6. Левченко Ю.Г. Інтелектуальний капітал та його роль у господарській діяльності підприємства / Ю.Г. Левченко // *Бізнес та інтелектуальний капітал*.– 2014.– № 1.– С. 92-97.

7. Польова В.В Теоретичні основи дослідження інтелектуального бізнесу. Вісник економіки

транспорту і промисловості. 2017. № 58. С. 179-189.

8. Собко О.М. Інтелектуальний капітал підприємства: концептуалізація – функціонування – розвиток. Тернопіль: Крок, 2014. 360 с.

DETERMINANTS OF INTELLECTUAL CAPITAL DEVELOPMENT OF TRANSPORT ENTERPRISES

Spitsyna Anhelina Ye., Ph.D., Associate Professor of the Department of Economics National Transport University, Kyiv, Ukraine, angel7a@ukr.net, tel. +380679053181, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, https://orcid.org/0000-0001-9730-6249

Golova Inna G. graduate student of the Department of conomics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, inna.golova@gmail.com, tel. +380677786658, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovich-Pavlenko, 1https://orcid.org/ 0000-0001-9717-7109

Abstract. The article clarifies the importance of intellectual capital for the development of the enterprise. Approaches to defining the essence of intellectual capital as a social phenomenon and the intellectual capital of an enterprise as an economic category are considered. It was determined that intellectual capital is considered from the standpoint of human abilities, knowledge, and opportunities that are transformed into material goods that become the basis for the progressive development of society. The intellectual capital of the enterprise is studied in the scientific literature as a collection of scientific personnel (intellectual elite), brands, trademarks, licenses, patents, and in particular, the assets of the enterprise. Scientific approaches to the interpretation of the enterprise's intellectual capital are also summarized and classification features are distinguished, which distinguish three aspects of the formation of the specified category: resources, practical implementation, effect. Determinants affecting the components of intellectual capital of transport enterprises have been determined and the classification of factors for the formation of the intellectual capital management system of such enterprises has been improved by identifying factors at the macro-, meso- and micro-levels of the economy. The author's vision of defining the essence of the enterprise's intellectual capital is outlined and its structure is presented.

Keywords: intellectual capital of the enterprise, resources, determinants, intellectual activity, intellectual products, commercialization, practical implementation.

References

1. Bazilevich V. D. Intelektualna vlasnIst:pIdruchnik / V. D. Bazilevich.- 2 vid. K.: Znannya, 2008. 431 c.

2. ButnIk-SIverskiy O.B., Krasovska A.G. TeoretichnI zasadi IntelektualnoYi InnovatsIynoYi dIyalnostI na pIdpriEmstvI. EkonomIka UkraYini. 2004. # 12.S. 31-37.

3. GeEts V. EkonomIka znan ta perspektivi YiYi rozvitku dlya UkraYini / V. GeEts // NAN UkraYini. Int ekon. prognozuv. K., 2005. 426 s.

4.Dikan V. L. StrategIchnI prIoriteti rozvitku ekonomIki UkraYini v umovah zmIni tsentrIv ekonomIchnoYi ta polItichnoYi vladi. VIsnik ekonomIki transportu I promislovostI: zbIrnik naukovo-praktichnih statey. 2013. Vip. #41. S. 11-16.

5. Kendyuhov O.V. Intelektualniy kapItal pIdpriEmstva: metodologIya formuvannya mehanIzmu upravlInnya: monografIya / O.V. Kendyuhov / NAN UkraYini Institut ekonomIki promislovostI; DonUEP. Donetsk: DonUEP, 2006. 307 s.

6. Levchenko Yu.G. Intelektualniy kapItal ta yogo rol u gospodarskIy dIyalnostI pIdpriEmstva / Yu.G. Levchenko // BIznes ta Intelektualniy kapItal.– 2014.– # 1.– S. 92-97.

7. Polova V.V TeoretichnI osnovi doslIdzhennya Intelektualnogo bIznesu. VIsnik ekonomIki transportu I promislovostI. 2017. # 58. S. 179-189.

8. Sobko O.M. Intelektualniy kapItal pIdpriEmstva: kontseptualIzatsIya – funktsIonuvannya – rozvitok. TernopIl: Krok, 2014. 360 s.

УДК 621.314 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-214-224**
UDC 621.314

СТРАТЕГІЇ ПЕРЕХОДУ АВТОТРАНСПОРТУ НА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

STRATEGIES FOR THE TRANSITION OF ROAD TRANSPORT TO CLEAN ENERGY SOURCES



***Порфіренко Володимир Іванович**, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри «Менеджмент». Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: porfirenko@gmail.com*

https://orcid.org/0000-0003-0329-6217



***Норець Станіслав Романович**, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, e-mail: st.norets@gmail.com*

https://orcid.org/0009-0005-8747-7681

Анотація. Автомобільний транспорт є одним із найбільших джерел забруднення повітря та зміни клімату. Перехід на екологічно чисті джерела енергії є ключовим завданням для пом'якшення впливу транспорту на навколишнє середовище.

За основу були взяті дослідження кафедри менеджменту Національного Транспортного університету в галузі екології автотранспорту. У статті розглянуто різні стратегії переходу автомобільного транспорту на екологічно чисті джерела енергії: розвиток електромобілів та інших транспортних засобів на альтернативних джерелах енергії, впровадження інфраструктури для зарядки електромобілів, розвиток екологічно чистого громадського транспорту, заохочення використання альтернативних видів транспорту.

Перехід на екологічно чисті джерела енергії для автомобільного транспорту є складним завданням, яке потребує зусиль з боку всіх зацікавлених сторін. Однак, це завдання є необхідним для захисту навколишнього середовища та забезпечення сталого розвитку.

Ключові слова: екологія, електричний автотранспорт, водневий автотранспорт, двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ), екологічний громадський транспорт, забруднення атмосферного повітря, електробуси, екологічно чисті джерела енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Транспорт завжди був невід'ємною частиною життя людства, і він постійно змінювався та адаптувався на всіх етапах історії, відповідно до розвитку та потреб людей. Наразі автотранспорт переживає революцію, спрямовану на створення більш екологічно чистих рішень. Одними з головних учасників цієї трансформації є електромобілі та автомобілі на водневих пальниках.

Для переходу автотранспорту на екологічно чисті джерела енергії та їхнього впливу на наше майбутнє, важливо проаналізувати перспективи розвитку найпоширенішого на сьогодні виду – автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) з технічної та екологічної сторін.

На жаль, на сьогоднішній день автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) є досить неекологічними з точки зору викидів шкідливих газів і споживання пального.Основною причиною забруднення є неповне і нерівномірне згоряння палива. При русі автомобіля лише .5% палива використовується для приводу, тоді як 85% викидається в атмосферу. Камера згоряння автомобільного двигуна діє як хімічний реактор, який виробляє отруйні речовини і викидає їх в атмосферу.

Негативний вплив автотранспорту на людей і навколишнє середовище має кілька основних факторів:

1) Забруднення повітря (викиди в атмосферу включають в себе багато шкідливих речовин, які шкодять як здоров'ю людини, так і навколишньому середовищу);

2) Забруднення навколишнього середовища (викиди автотранспорту також впливають на ґрунт і воду, що призводить до деградації природи);

3) Шум (автомобілі виробляють інтенсивний шум, що може негативно впливати на здоров'я людини і комфорт життя);

4) Вібрація (рух автомобілів також створює вібрацію, яка може впливати на структуру будівель і інфраструктури);

5) Виділення тепла (процес руху автомобілів супроводжується розсіюванням тепла, що може впливати на клімат та споживання енергії).

Джерелами забруднення повітря під час експлуатації автотранспорту є двигуни внутрішнього згоряння, які викидають в атмосферу відпрацьовані гази та паливні випаровування. Ці викиди містять багато різних компонентів продуктів повного і неповного згоряння нафтових палив, а також неорганічні сполуки.

Наприклад, при русі автомобіля зі швидкістю 80-90 км/год, вуглекислота утворюється в кількості, яка еквівалентна кількості кисню, що подається для дихання 300-350 осіб. Річний вихлоп одного автомобіля містить 800 кг небезпечного оксиду вуглецю, 40 кг оксидів азоту і більше 200 кг різних вуглеводнів. Через високу токсичність, допустима концентрація оксиду вуглецю в атмосферному повітрі не повинна перевищувати 1 мг/м3 (рис. 1).

Вуглеводні утворюються при неповному згорянні палива. Автотранспорт відповідає за приблизно 39% викидів вуглеводнів у індустріально розвинених країнах. Бензинові двигуни викидають більше вуглеводнів, ніж дизельні. Один з найнебезпечніших вуглеводнів, бензопірен, є природним компонентом сирої нафти і може виявлятися високими концентраціями на міських дорогах та біля заправних станцій.

Автомобілі також є основним джерелом чадного газу CO, який є однією з найбільш токсичних речовин, що шкодять здоров'ю людини. Крім того, в атмосферу виділяються оксиди азоту NO і N2O, які також мають негативний вплив на людей і рослини.

Озон, який в верхніх шарах атмосфери є захисним шаром, може стати шкідливим при забрудненні. Формування приземного озону є наслідком забруднення, викликаного автотранспортом, і включає фотохімічні реакції з участю оксидів азоту та вуглеводнів.

Сполуки сірки SO і SO2 можуть викликати окиснення води і ґрунтів, що негативно впливає на здоров'я людини і екосистему. Альдегіди, які утворюються під час неповного згоряння палива, мають неприємний запах і можуть викликати різні респіраторні проблеми, такі як роздратування очей, носа, кашель і утруднення дихання[1,2].

Отже, для запобігання забруднення планети, перехід до більш технічно досконалих та екологічно-дружніх альтернатив, необхідний, і спонукає до розвитку та експлуатації автотранспорту на чистих джерелах енергії. Це підтверджується багатьма науковими публікаціями [3, 4].

Для запобігання забруднення планети "Велика сімка" (G7) має спільний план, спрямований на досягнення повного усунення викидів на дорогах до 2050 року. Це є значущим кроком у боротьбі зі зміною клімату. Основний пункт цього плану передбачає: повністю електричні, гібридні або без викидні автомобілі до 2035 року. Країни G7 планують впровадити обмеження на продаж нових автомобілів, які використовують традиційні ДВЗ. Це означає, що всі нові автомобілі, що будуть продані в цих країнах, повинні бути повністю електричними, гібридними або використовувати паливо з нульовими викидами вуглекислого газу.

Велика Британія планує заборонити продаж нових автомобілів з ДВЗ після 2030 року. У той же час Європейський союз розглядає впровадження стандарту Євро-7 і планує припинити продаж автомобілів з ДВЗ до 2035 року, хоча це не буде повністю вдаватися. У Сполучених Штатах Америки наразі лише штати Нью-Йорк і Каліфорнія мають намір заборонити продаж автомобілів з ДВЗ [5].



Рисунок 1 – Аналіз викидів від автотранспорту по хімічних елементах
Figure 1 – Analysis of vehicle emissions by chemical elements

Варто зауважити, що передові країни вже зараз реалізовують цей план. Наївно припускати, що ідея ця є прийнятою серед всіх громадян, але влада має показувати це на власному прикладі, і такий приклад є – громадський транспорт.

Електробус є логічним розвитком громадського транспорту, враховуючи «зелені» тенденції розвитку. Це пасажирський транспортний засіб, який приводиться в рух електродвигуном. Електрична енергія для руху електробуса може отримуватися з акумуляторної батареї на борту, з контактної мережі, а також з обидвох джерел.

Електробуси все частіше використовуються в містах по всьому світу, оскільки вони є більш екологічно чистим і економічним видом транспорту[6,7].

Основна частина

У сучасному світі Китай є провідним у переході до використання електробусів, як малих, так і великих (рис. 2). За даними Bloomberg, 99% всіх вироблених у світі електробусів виготовляється саме в Китаї. Головна причина цього успіху полягає в тому, що на території Китаю знаходиться 95% всесвітніх запасів літію, який використовується як ключовий компонент у батареях для електричних автомобілів і електробусів.

У Сполучених Штатах лише 0,5% автобусів є електричними. Недавно ще розвинуті європейські країни, такі як Франція, Велика Британія, Норвегія та Швеція, відносилися до переходу

на електробуси з обережністю. Це було пов'язано з необхідністю будівництва інфраструктури для зарядки транспорту з нуля і обмеженою кількістю тестових випробувань.

Але починаючи з 2021 року, ситуація почала змінюватися. Європейська комісія схвалила активну підтримку екологічно чистих пасажирських транспортних засобів, рекомендуючи державам на території Європи підтримувати перевізників на державному рівні у закупівлі електробусів. Ця підтримка охоплює не лише придбання транспорту, але й створення відповідної інфраструктури.



Рисунок 2 – Найдовший в світі електробус BYD model K12A
Figure 2 – The world's longest electric bus BYD model K12A

Компанія BYD з Китаю входить до трійки провідних світових виробників електробусів, і їхні пасажирські автобуси експлуатуються в численних країнах світу, включаючи США, Колумбію, Данію, Нідерланди та Шотландію [8].

Щодо України, у Києві найбільшим забруднювачем повітря є приватний і комунальний транспорт із двигунами внутрішнього згоряння. Дизельні двигуни внутрішнього згоряння, які в основному використовуються на міському пасажирському транспорті в мегаполісах, є джерелом шкідливих викидів у повітря. Ці викиди негативно впливають на здоров'я людей, зокрема, скорочують тривалість життя. За оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я, через забруднення повітря українці втрачають близько 2,5 років життя. Цей показник є одним з найгірших у світі. За рівнем смертності через забруднення повітря Україна посідає 5 місце в Європі.

У той час як у багатьох європейських мегаполісах карантин призвів до зменшення забруднення повітря, у Києві в 2020 році, навпаки, кілька разів реєстрували рекордну забрудненість. Це було пов'язано не лише з лісовими пожежами, які періодично виникають на Київщині та Житомирщині, а й з постійними викидами від підприємств енергетики та автотранспорту. Державна екологічна інспекція здійснює контроль за викидами з ТЕЦ, але викиди від автотранспорту державою взагалі не регулюються [9].

Отже, Україні життєво необхідні реформи у сфері громадського транспорту. Президент підписав проект закону №8172, який чітко прописує, що “до перевезень пасажирів на міських автобусних маршрутах загального користування в режимі регулярних пасажирських перевезень у містах районного та обласного значення з 1 січня 2036 року допускаються виключно електробуси...”. Головною метою закону є вказати шлях, яким Україна буде рухатися з усім світом до зменшення викидів вуглецю. Але в реальності все може обмежитись переходом певної частини автобусного парку країни на природний газ. Адже експерименти з електробусами на окремих маршрутах проводяться вже не один рік, але суттєвих зрушень в цьому напрямку поки що не спостерігається. Чому?

Бо перехід на електробуси в Україні потребує значних інвестицій, які можуть складатися з декількох етапів. Спочатку необхідно придбати електробуси і налагодити інфраструктуру для їх зарядки, а потім підтримувати їх експлуатацію. Звичайно, такі інвестиції можуть мати позитивний ефект на здоров'я населення та екологію в містах. Але мова йде про значні кошти.Згідно інформації від Міністерства інфраструктури, в Україні нараховується приблизно 50 тисяч автобусів різних типів, з яких близько 30 тисяч обслуговують міські маршрути. Якщо виникає завдання замінити цей автопарк на більш екологічні транспортні засоби, такі як електробуси, автобуси на водневих паливних елементах або «метанові» автобуси, протягом 13 років, то необхідно проводити заміну 2300 автобусів щорічно. Цей висновок робить Марина Китіна, яка є експертом у галузі транспортних інновацій та еко-активістом.

За інформацією від одного виробника електробусів в Україні, корпорації "Електрон", вони вже на даний момент можуть виготовляти до 1000 електробусів щорічно, і можуть швидко розширити обсяг виробництва. Додатково, щонайменше два інші виробники в Україні також мають власні розробки електробусів. Зокрема, в Україні представлені представництва великих виробників електробусів, таких як компанії YUTONG та SKYWELL. Також, на початку 2019 року Україну відвідувала делегація найбільшого виробника у світі, компанії BYD, яка розглядала можливість створення власного виробництва електробусів або утворення спільного підприємства з українськими виробниками.

Проте, прогрес у розвитку виробництва у нас гальмується саме відсутністю попиту зі сторони міст, і саме цей закон повинен сприяти появі цього попиту. Ситуація аналогічна тій, яка виникла в Польщі, де завдяки замовленням від польських міст на електробуси, місцевий виробник SOLARIS за короткий період часу досяг шаленого розвитку і став найбільшим виробником електробусів в Європі, а зараз також розпочав виробництво водневих автобусів. Такий сценарій повинен розгорнутися і в Україні [9].

Для того, щоб громадяни всерйоз замислювались про купівлю електромобілів, необхідно, щоб вони були впевнені в наявності доступної та високоякісної інфраструктури для зарядки. Зокрема, необхідно розробити нормативно-правову базу, яка регулюватиме будівництво та експлуатацію зарядних станцій, надати фінансову підтримку для будівництва зарядних станцій та співпрацювати з приватним сектором для будівництва зарядних станцій. В ідеалі ця інфраструктура повинна відповідати таким вимогам:

Доступність: зарядні станції повинні бути доступні для всіх користувачів, незалежно від їхнього місцезнаходження або часу доби;

Швидкість: зарядні станції повинні дозволяти швидко заряджати електробуси та інші транспортні засоби, щоб вони могли продовжувати свою роботу без перерв;

Економічність: вартість зарядки електробусів та інших транспортних засобів повинна бути доступною для користувачів;

Екологічність: автомобілі повинні заряджатись тільки від джерел відновлюваної енергії.

Завдяки електрифікації громадського транспорту та розвитку інфраструктури для зарядки громадяни зможуть побачити переваги електротранспорту та стануть більш схильними до купівлі електромобілів.

Електромобілі вже давно не є диковинкою на ринку автотранспорту. Цікавий факт: електромобіль з'явився раніше, ніж автомобіль з двигуном внутрішнього згоряння. Протягом останніх декількох років електромобілі значно набули популярності та стали більш доступними для споживачів. Велика кількість автовиробників представляє на ринку різноманітні моделі електромобілів з різними характеристиками і ціновими діапазонами (рис. 3).

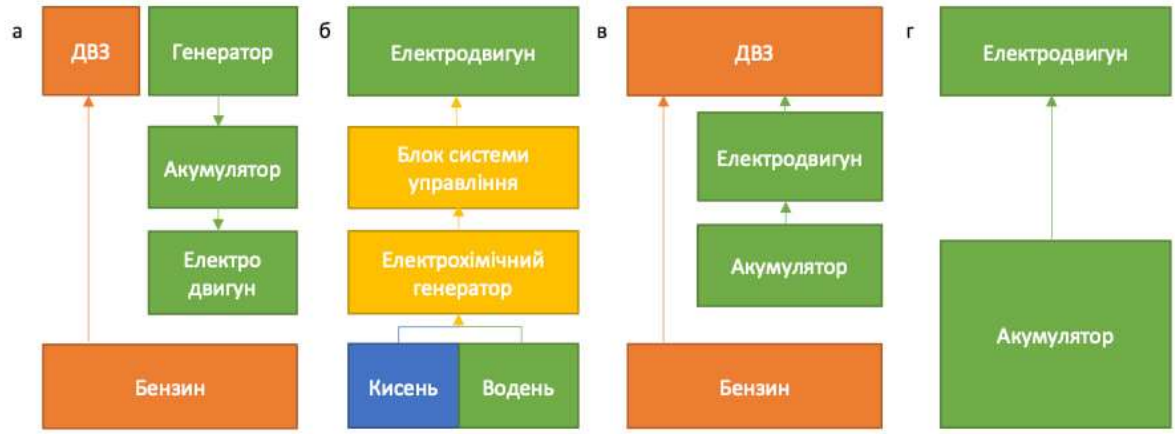


Рисунок 3 – Блок-схема типів електромобілів
Figure 3 – Block diagram of types of electric vehicles

З рисунку видно, що наразі існують чотири типи електромобілів:

а) гібридні, які мають невеликий ДВЗ, який підзаряджає через генератор акумуляторні батареї (АКБ), для приводу в дію електричного двигуна авто;

б) гібридні, які працюють на водні та використовують тип електродвигуна ,що мають акумуляторні електромобілі;

в) plug-in автомобілі, в яких АКБ при необхідності може підзаряджатись від загальної чи виділеної мережі електроструму;

г) повністю електричні авто, що працюють виключно від електроструму вмонтованого блоку АКБ.

Споживачі все більше віддають перевагу електромобілям через їхні численні переваги, такі як екологічність (менше викидів шкідливих газів), економічність (менше витрат на «пальне»), та технологічні можливості (автопілот, висока продуктивність, мережеве підключення тощо). Наразі електромобілі мають всі можливості витіснити автомобілі з ДВЗ до 2035 року, але все залежить від низки факторів, таких як: розвиток акумуляторних батарейних технологій, збільшення місткості батарей, збільшення швидкості зарядки та зменшення вартості батарей, розвиток мережі зарядних станцій, вартість електроавтомобілів, вартість пального, податки та інші економічні фактори, які можуть впливати на вибір водіїв при купівлі автомобіля.

Електромобілі сповна вирішують питання, пов’язані з викидами автомобільного транспорту, але й не можна сказати, що вони на 100% екологічно чисті. Коли електромобіль рухається, він залишається екологічно чистим та відносно безпечним на дорозі, але негативні впливи його експлуатації переносяться на те місце, де виробляється електроенергія у випадку, коли електромобіль не заряджався від джерела відновлюваної енергії та на те місце де автомобіль був виготовлений [10].

Другий аспект, за який часто висловлюють критику стосовно електромобілів, полягає в проблемі переробки батарей. У той час, коли традиційні свинцево-кислотні акумулятори, які використовуються у звичайних автомобілях, активно піддаються процесу переробки, це не можна

сказати про літій-іонні батареї. Батарея електрокарів є більшою та важчою і складається з численних літій-іонних елементів (рис. 4), кожен з яких необхідно розбирати окремо.

Технології утилізації не встигають відповідати швидко зростаючому ринку електромобілів, і це призводить до ситуації, де на сміттєзвалищах накопичуються тисячі відпрацьованих акумуляторних батарей. Небезпечні хімічні речовини з цих батарей можуть потрапити в навколишнє середовище. Учені з Бірмінгемського університету, у своїй публікації у журналі «Nature», закликають виробників електромобілів і уряди всього світу спільно розробити надійний план переробки батарей, який допоможе вирішити цю проблему якнайшвидше [11].

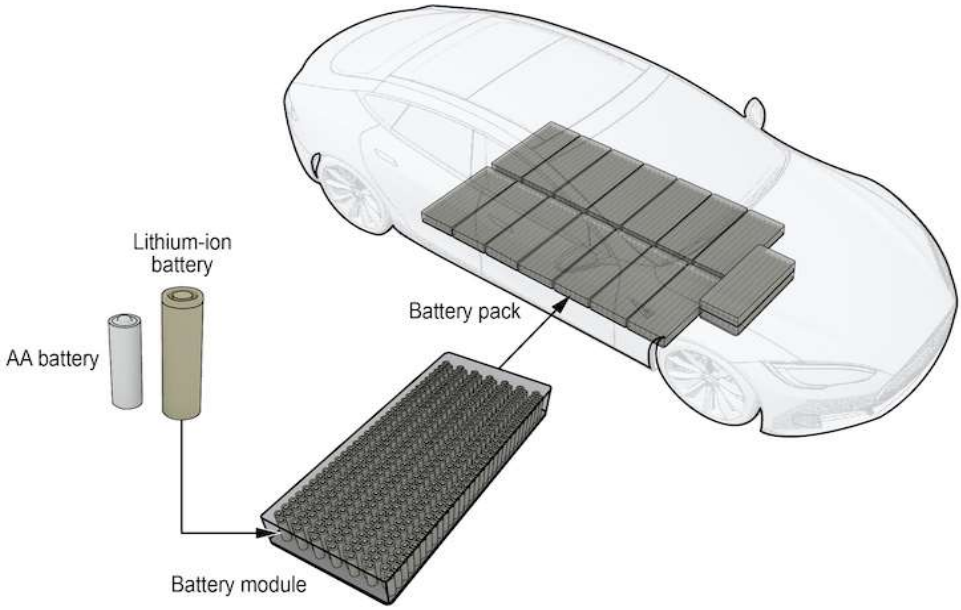


Рисунок 4 – Блок акумуляторів автомобіля Tesla
Figure 4 – Tesla car battery block

Проблема переробки літій-іонних батарей полягає в тому, що під час процесу втрачається значна частина важливих компонентів до так званої "чорної маси" – суміші літію, марганцю, кобальту та нікелю. Це вимагає подальшої дорогої обробки.

Крім цього, окрему небезпеку становить виробництво акумуляторів та електромоторів, оскільки потребує більшої кількості токсичних речовин нікелю, міді та алюмінію, які збільшують ризик окислення ґрунту [12].

Хоча ручний демонтаж дозволяє більш ефективно відновлювати більшість цих матеріалів, він потребує людської праці. В Європі ця праця стає дорогою, що робить проект економічно невигідним. У країнах з низькими витратами на працю, таких як Китай, умови праці є неприйнятними, або навіть небезпечними.

Водночас ефективна переробка акумуляторів могла б вирішити проблему дефіциту сировини. Наприклад, у Великій Британії взагалі відсутні природні ресурси для виробництва батарей. Крім того, під час виробництва електромобілів заводи можуть виділяти парникові гази та шкідливі забруднювачі, іноді навіть у більших кількостях, ніж під час виробництва автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння [13].

Отже, виникає питання «які є альтернативи?». А вони є - водень. ЄС затвердив водневу стратегію, яка дозволить поступово відмовитися від використання викопного палива та повністю перейти до зелених технологій .Існують три типи промислових технологій для виробництва водню, які часто класифікують як сірі, голубі та зелені.

Сірі технології: Виробництво водню з природного газу, що є найстарішою та менш екологічно ефективною методологією. Зазначається, що вона втрачає популярність через свою неекологічність.

Голубі технології: Виробництво водню з води шляхом електролізу, де енергія отримується від атомних або теплових електростанцій. "Голубий водень" розглядається як засіб для накопичення електроенергії у періоди низького попиту.

Зелені технології: Використання електролізу для виробництва водню, але з використанням енергії від відновлювальних джерел, таких як сонячні чи вітрові станції. Зазначається, що зниження вартості сонячних панелей зробило собівартість сонячної енергії конкурентоспроможною в порівнянні з енергією, виробленою на атомних електростанціях [14].

Воднева стратегія ЄС – це амбітний план, який має на меті зробити водень основним джерелом енергії для тих галузей економіки, які не можуть бути повністю електрифіковані. Це дозволить ЄС досягти нульових викидів вуглекислого газу до 2050 року. Водень – це чисте паливо, яке при згорянні утворює лише воду. Він не виділяє вуглекислого газу, тому його використання допоможе ЄС відмовитися від використання викопних вуглеводнів.

Пріоритетом для ЄС є виробництво відновлюваного водню, тобто зеленого, що виробляється шляхом електролізу за рахунок відновлюваних джерел енергії, переважно енергії вітру та сонця.

Згідно з Массачусетським технологічним інститутом, прогнозується, що виробництво водню за допомогою сонячних панелей може стати рентабельним протягом наступних десяти років. За даними Міжнародного агентства відновлюваної енергетики IRENA, до 2025 року "зелений водень" може коштувати $4-6 за кілограм з подальшою перспективою зниження цін до $2 за кілограм до 2040 року, що вдвічі дешевше, ніж на сучасному етапі.

З 2025 по 2030 рік планується довести потужність електролізерів в ЄС до 40 гігават, а річне виробництво водню до 10 млн т. До 2050 року виробництво і застосування водню має зрости ще більше.

Водневий альянс ЄС, до якого увійшли підприємства, громадські організації, міністерства і Європейський інвестиційний банк, має на меті забезпечити успішну реалізацію Водневої стратегії.

Воднева стратегія ЄС – це важливий крок у напрямку декарбонізації економіки та досягнення нульових викидів вуглекислого газу. Якщо вона буде успішно реалізована, ЄС зможе стати світовим лідером у галузі відновлюваної енергетики та декарбонізації [14].

Давайте розглянемо ситуацію, де двигун внутрішнього згоряння, призначений для використання водню, іншими словами, водневий двигун, конструктивно не відрізняється значуще від традиційного двигуна з внутрішнім згорянням (ДВЗ). В обох випадках є циліндри, поршні, камера згоряння і складний кривошипно-шатунний механізм для перетворення руху поршня в корисну роботу.

Основна відмінність полягає в тому, що в циліндрах водневого двигуна згорає суміш повітря та водню, а не бензину, газу або дизельного палива. Крім того, спосіб подачі водневого палива, створення суміші та запалювання відрізняється від аналогічних процесів у традиційних двигунах. Перш за все, горіння водню відбувається набагато швидше, ніж горіння нафтового палива. У звичайному ДВЗ суміш бензину або дизельного палива з повітрям заповнює камеру згоряння, коли поршень майже досягає верхньої мертвої точки (ВМТ), після чого паливо горить певний час, і лише потім відбувається випуск відпрацьованих газів.

У водневому двигуні реакція протікає набагато швидше, що дозволяє затримати наповнення циліндра на той момент, коли поршень вже почав рухатися вниз відносно нижньої мертвої точки (НМТ). Водень не містить вуглецю та вуглеводнів, тому єдиними небажаними викидами, які можуть виникнути при його використанні, є оксиди азоту (NOx). Ці сполуки виникають, коли азот із повітря окислюється при високих температурах, звісно помітно краще, ніж ДВЗ, працюючий на бензині, але не ідеально.

Автомобілі на гідрогені працюють не від великої важкої батареї, а від блоку паливних елементів. Проте для обертання коліс в такому транспортному засобі використовується той самий

тип електродвигуна, який мають акумуляторні електромобілі. Чистий водень проходить через мембрану і з'єднується з киснем з повітря, генеруючи електрику, яка в свою чергу обертає колеса.

Водневі електромобілі є однією із складових, спрямованих на розвиток екологічно чистої транспортної інфраструктури, і зараз вони ще не отримали широкого розповсюдження. Україна також поки що має невелику кількість таких автомобілів на дорогах, власники яких заправляють авто в Польщі через відсутність відповідної інфраструктури в межах України [15].

Висновок. Автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) існують на ринку вже протягом декількох десятиліть, а точніше – більше століття, але в їхньому сучасному вигляді їх майбутнє стає сумнівним. Для забезпечення їхньої тривалої експлуатації, необхідно розглядати можливості модифікації ДВЗ та їх адаптації до сучасних вимог і стандартів для забезпечення екологічності.

Електромобілі представляють перспективний напрямок розвитку автотранспорту, об'єднуючи передові технології і екологічну чистоту. Проте існують важливі виклики, які потрібно вирішити, включаючи недосконаліть акумуляторів, нестачу розвиненої інфраструктури для зарядки та доступу до відновлюваної енергії, недорогі та надійні місткі акумулятори, інфраструктуру для електро- та водневих автомобілів, ефективні та відносно недорогі засоби зберігання водню та заправки його для водневого транспорту.

Стратегії переходу автомобільного транспорту на екологічно чисті джерела енергії включають:

- Розвиток електромобілів та інших транспортних засобів на альтернативних джерелах енергії. Електромобілі є найбільш перспективним видом транспорту на альтернативних джерелах енергії. Вони не викидають шкідливих речовин в атмосферу і мають низький рівень шуму;
- Впровадження інфраструктури для зарядки електромобілів. Інфраструктура для зарядки електромобілів є ключовим фактором для їхнього поширення. Вона повинна бути доступною в різних місцях, таких як громадські паркінги, торгові центри та житлові комплекси;
- Розвиток екологічно чистого громадського транспорту. Громадський транспорт є найбільш ефективним видом транспорту з точки зору використання енергії. Його розвиток допоможе зменшити кількість приватних автомобілів на дорогах і зменшити забруднення повітря;
- Державне стимулювання розвитку електромобілів та інших транспортних засобів на альтернативних джерелах енергії. Для цього необхідно впровадити державні програми субсидування придбання електромобілів та електробусів, а також забезпечити доступність як територіально, так і фінансово, інфраструктури для зарядки електромобілів;
- Розробка національної Програми переходу автомобільного транспорту на екологічно чисті джерела енергії. Ця програма повинна включати конкретні заходи та терміни їхнього виконання.

Перелік посилань

1. Архіпова Г. І., Ткачук І.С., Глушков Є.І. «Аналіз впливу відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосферного повітря в густонаселених районах» URL: https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/519/1/stat%27ya.pdf

2. Трофімов І. Л. «Зниження шкідливого впливу викидів моторного транспорту на стан атмосферного повітря» URL: https://jrnl.nau.edu.ua/index.php/SBT/article/view/7418/8479

3. Porfirenko V. Ways of Optimizing the Environmental and Operational Mobility of Passenger Transportation in Megacities / Volodymyr Porfirenko, Dmytro Dekhtiarenko, Liliia Lytvyshko, Mykola Hrebelnyk, Valentyna Artemchuk, Oleksii Parokhnenko// Book Title : Digitalisation: Opportunities and Challenges for Business. Lecture Notes in Networks and Systems. Volume 2. Publisher Springer Cham. Scopus issue. March 2023. P. 720-732. DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-031-26956-1

4. Порфіренко В.І. Інноваційний модульний розвиток мережі електробусних пасажирських перевезень в мегаполісах : « Інноваційний розвиток транспортного комплексу: монографія / За загал. редакцією проф. Ложачевської О.М. Київ: Міленіум, 2021. С. 130-140.

5. Інформаційно-аналітична група AUTOCONSULTING «На зустрічі G7 було оголошено про відмову від вигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) до 2035 року» URL: https://autoconsulting.ua/article.php?sid=53921

6. Порфіренко В.І. «Економічне обґрунтування застосування модульного принципу використання електробусів у пасажирському сполученні мегаполісів» / В.І. Порфіренко, Д.Г. Полосухін // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Економічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2021. – Вип. 2 (49).- С.131-141.

7. Порфіренко В.І. Перспективи розвитку та ефективного застосування електричних автобусів при виконанні пасажирських перевезень. – Зб.: Соціально-компетентне управління корпораціями в умовах поведінкової економіки: – Луцьк, СЄНУ, 2020, с.108 – 112.

8. Боришкевич В. «Світ переходить на електробуси. В чому їх недоліки та чи потрібні вони Україні» URL: https://tech.liga.net/ua/technology/article/mir-perehodit-na-elektrobusy-v-chem-ih-nedostatki-i-nujny-li-oni-ukraine

9. Інформаційно-аналітична група AUTOCONSULTING «Чи зможе Україна до 2036 року повністю перейти на електробуси. Думка провідних операторів» URL: *http://autoconsulting.ua/article.php?sid=53724*

10. Бондаренко І. «Чи дійсно екологічні електрокари?» URL: https://www.the-village.com.ua/village/city/eco/299547-chi-ekologichni-naspravdi-elektrokari

11. Журнал Nature «Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles» URL: https://www.nature.com/articles/s41586-019-1682-5

12. Стецюк М. «Дослідження: електромобілі можуть спровокувати нову екологічну кризу» URL: https://ecotech.news/transport/603-doslidzhennya-elektromobili-mozhut-sprovokuvati-novu-ekologichnu-krizu.html

13. «Як переробляють старі батареї від електромобілів і чому це є проблемою?» URL: https://hmarochos.kiev.ua/2021/05/06/yak-pereroblyayut-stari-batareyi-vid-elektromobiliv-i-chomu-cze-ye-problemoyu/

14. РБК-Україна AUTO «Вода замість вуглекислоти: вирішена головна проблема ДВЗ на водні» URL: https://www.rbc.ua/ukr/auto/voda-so2-reshena-glavnaya-problema-vodorodnyh-1637564104.html

15. Німецький П. «Як працює водневий двигун?» URL: https://www.renovablesverdes.com/uk/como-funciona-un-motor-de-hidrogeno/

STRATEGIES FOR THE TRANSITION OF ROAD TRANSPORT TO CLEAN ENERGY SOURCES

Porfirenko Volodymyr I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: porfirenko@gmail.com, tel.: +380675034433, Ukraine, 01010, Kyiv, str. M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, k. 242. https://orcid.org/0000-0003-0329-6217

Norets Stanislav R., National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: st.norets@gmail.com, tel.: +380633622378, Ukraine, 01010, Kyiv, str. M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, k. 242. https://orcid.org/0009-0005-8747-7681

Abstract. Road transport is one of the leading sources of air pollution and climate change. The transition to clean energy sources is a key task to mitigate the impact of transport on the environment.

This article is based on the research of the Department of Management of the National Transport University in the field of road transport ecology. The article discusses various strategies for the transition of road transport to clean energy sources: the development of electric vehicles and other vehicles powered by alternative energy sources, the implementation of infrastructure for charging electric vehicles, the development of clean public transport, and the promotion of the use of alternative modes of transport.

The transition to clean energy sources for road transport is a complex task that requires the efforts of all stakeholders. However, this task is necessary to protect the environment and ensure sustainable development.

Keywords: ecology,electric vehicles, hydrogen vehicles, internal combustion engine (ICE), clean public transport, air pollution, electric buses, clean energy sources.

References

1. Arkhipova G.I., Tkachuk I.S., Glushkov E.I. "Analysis of the impact of exhaust gases on atmospheric air in densely populated areas"
URL: https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/519/1/stat%27ya.pdf
2. I. L. Trofimov "Decreasing the harmful effects of motor vehicle emissions on the state of atmospheric air" URL: https://jrnl.nau.edu.ua/index.php/SBT/article/view/7418/8479
3. Porfirenko V. Ways of Optimizing the Environmental and Operational Mobility of Passenger Transportation in Megacities / Volodymyr Porfirenko, Dmytro Dekhtiarenko, Liliia Lytvyshko, Mykola Hrebelnyk, Valentyna Artemchuk, Oleksii Parokhnenko// Book Title : Digitalisation: Opportunities and Challenges for Business. Lecture Notes in Networks and Systems. Volume 2. Publisher Springer Cham. Scopus issue. March 2023. P. 720-732. DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-031-26956-1
4. Porfirenko V.I. Innovative modular development of the network of electric bus passenger transportation in megacities: "Innovative development of the transport complex: monograph / In general. edited by Prof. Lozhachevska O.M. Kyiv: Millennium, 2021. P. 130-140.
5. AUTOCONSULTING information and analytical group "At the G7 meeting, it was announced that internal combustion engines will be abandoned by 2035" URL: https://autoconsulting.ua/article.php?sid=53921
6. Porfirenko V.I. "Economic justification of the application of the modular principle of the use of electric buses in passenger transport of megacities" / V.I. Porfirenko, D.G. Polosukhin // Bulletin of the National Transport University. Series "Economic Sciences". Scientific and technical collection. - K.: NTU, 2021. - Issue 2 (49).- P.131-141.
7. Porfirenko V.I. Prospects for the development and effective use of electric buses in passenger transportation. - Collection: Socially competent management of corporations in the conditions of behavioral economics: - Lutsk, SENU, 2020, p.108 - 112.
8. Boryshkevich V. "The world is switching to electric buses. What are their shortcomings and whether Ukraine needs them" URL: https://tech.liga.net/ua/technology/article/mir-perehodit-na-elektrobusy-v-chem-ih-nedostatki-i-nujny-li- oni-ukraine
9. Information and analytical group AUTOCONSULTING "Will Ukraine be able to fully switch to electric buses by 2036. Opinion of leading operators" URL: http://autoconsulting.ua/article.php?sid=53724
10. Bondarenko I. "Are electric cars really ecological?" URL: https://www.the-village.com.ua/village/city/eco/299547-chi-ekologichni-naspravdi-elektrokari
11. Nature magazine "Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles" URL: https://www.nature.com/articles/s41586-019-1682-5
12. Stetsyuk M. "Research: electric cars can provoke a new environmental crisis" URL: https://ecotech.news/transport/603-doslidzhennya-elektromobili-mozhut-sprovokuvati-novu-ekologichnu-krizu.html
13. "How are old batteries from electric cars recycled and why is this a problem?" URL: https://hmarochos.kiev.ua/2021/05/06/yak-pereroblyayut-stari-batareyi-vid-elektromobiliv-i-chomu-cze-ye-problemoyu/
14. RBC-Ukraine AUTO "Water instead of carbon dioxide: the main problem of ICE on hydrogen is solved" URL: https://www.rbc.ua/ukr/auto/voda-so2-reshena-glavnaya-problema-vodorodnyh-1637564104.html
15. Niemetskyi P. "How does a hydrogen engine work?" URL: https://www.renovablesverdes.com/uk/como-funciona-un-motor-de-hydrogeno/

УДК 339.138:656.2 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-225-232**
UDC 339.138:656.2

МОДЕЛЬ ПОВЕДІНКИ СПОЖИВАЧА ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ

CONSUMER'S BEHAVIOR MODEL OF TRANSPORTATION SERVICES



***Малахова Юлія Анатоліївна**, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри «Менеджмент». Національний транспортний університет, Київ, Україна, yu.malakhova@ntu.edu.ua, тел. +380442808438*

https://orcid.org/0000-0002-8769-7597



***Сукманюк Вікторія Михайлівна**, асистент кафедри «Менеджмент». Національний транспортний університет, Київ, Україна, v.sukmaniuk@ntu.edu.ua, тел. +380442808438*

https://orcid.org/0000-0003-4202-8960

Анотація. Стаття присвячена формуванню моделі поведінки споживача на ринку транспортних послуг, як ключового інструменту для розробки стратегій, які сприяють покращенню обслуговування клієнтів, підвищенню ефективності та успішній конкуренції на ринку.

В сучасному світі, де доступ до транспортних послуг стає все більш різноманітним і технологічно вдосконаленим, розуміння моделі поведінки споживача стає важливим для компаній, які пропонують транспортні послуги.

В статті запропоновано модель поведінки споживача транспортних послуг, що включає зовнішні та внутрішні фактори впливу на поведінку споживача, підсвідомість споживача та етапи вибору споживачем транспортної послуги.

Визначено аспекти підсвідомості споживача, що впливають на його вибір транспортної послуги, розуміння яких дозволить підприємствам у транспортній галузі краще адаптувати свої сервіси та маркетингові стратегії до потреб та очікувань споживачів, чим забезпечить покращення якості обслуговування та збільшення задоволеності клієнтів.

Поведінка споживача транспортних послуг є результатом взаємодії різних внутрішніх та зовнішніх чинників, знання яких дозволить транспортним компаніям адаптуватися до змін в умовах ринку та надавати споживачам послуги, які відповідають їхнім потребам і очікуванням.

Запропоновані в моделі етапи поведінки споживача, дозволять транспортним компаніям зрозуміти, яким чином відбувається прийняття рішення про купівлю, та забезпечать їх перевагами перед конкурентами.

Результати дослідження в подальшому можуть бути використанні транспортними підприємствами, які прагнуть ефективно адаптуватися до змін на споживчому ринку та надавати

послуги, які задовольняють потреби та очікування споживачів у сучасних умовах, що забезпечить їм конкурентні переваги на ринку.

Ключові слова: модель, споживач, транспортні послуги, поведінка споживача, підсвідомість споживача, транспортне підприємство, споживчий вибір.

Вступ. У світі, де ринки постійно змінюються, технології розвиваються та зростає конкуренція, розуміння того, як споживачі сприймають та вибирають товари та послуги, стає критично важливим для бізнесу та маркетингу. Модель поведінки споживача є важливим інструментом для розуміння та прогнозування споживчого вибору в сучасних умовах.

Транспортний ринок постійно змінюється під впливом нових технологій, екологічних та соціальних тенденцій, законодавчих змін та інших факторів. Вивчення поведінки споживачів допомагає компаніям адаптуватися до цих змін та вносити власні інновації. Розуміння того, як споживачі свідомо сприймають і обирають транспортні послуги, дозволить компаніям розробляти ефективні маркетингові стратегії, виокремлювати та реагувати на очікування клієнтів, що в майбутньому призведе до покращення якості обслуговування, вдосконалення взаємодії з клієнтами, забезпечить конкурентні переваги на ринку.

Проблемам дослідження поведінки споживачів присвячення значна кількість праць як зарубіжних, тка і вітчизняних науковців, серед яких Армстронг Г., Болтон Р., Васильченко Л. Верхоф П., Губа О., Котлер Ф., Коломицева О, Лемон К., Наумова М., Окландер М., Петруня Ю., Талер Р., Щерба О. та ін. Проте, процесу моделювання поведінки споживача на транспортному ринку приділено недостатньо увагу, що й обумовлює необхідність подальших досліджень у даному напрямку.

Мета досліджень – формування моделі поведінки споживача як інструменту забезпечення успіху компаній на ринку транспортних послуг.

Методи дослідження – методи синтезу та аналізу, графічний, індукції та дедукції.

Виклад результатів досліджень. Швидкі зміни в технологічному ландшафті транспортних послуг можуть викликати зміни в усвідомленні та виборі споживачів. Компанії, які можуть ефективно адаптуватися до нових технологій, матимуть перевагу на ринку. Успішні компанії, зокрема і в транспортній галузі, розуміють, що створення позитивного враження та репутації серед споживачів грає важливу роль у їхньому успіху. Модель свідомості допомагає аналізувати та управляти цими аспектами, а також прогнозувати попит на різні види транспортних послуг. Це сприяє ефективному плануванню ресурсів та оптимізації обслуговування.

Однією з найвідоміших класичних моделей поведінки споживачів є «модель чорної скриньки» Ф.Котлера (рис.1).

"Чорна скринька" в моделі Ф. Котлера - це підсвідомість покупця, його характеристика (вік, рід занять, спосіб життя, економічний стан, тощо) і процес прийняття рішення щодо купівлі (усвідомлення потреби, аналіз та оцінка отриманої інформації) [1].

Підсвідомість - це частина людського розуму, яка не завжди доступна свідомому сприйняттю, але впливає на поведінку споживачів, включаючи рішення щодо вибору та використання товарів чи послуг. Підсвідомість в моделі поведінки споживача транспортних послуг (рис.2) може впливати на його вибір через:

- неявні уподобання та вибір – споживач обирає ті транспортні послуги, які вважає важливими на основі емоційного досвіду, попередніх вражень від конкретних послуг або навіть соціокультурного впливу;
- вплив реклами та маркетингу - маркетингові стратегії можуть спрямовуватися на підсвідомий рівень споживача, викликаючи емоційні реакції та формуючи навіть неявні уподобання;
- асоціації та емоції - окремі види транспорту асоціюються з певними емоціями. Наприклад, споживачі можуть підсвідомо уникати великих міст, що асоціюються зі значною завантаженістю транспортних систем, та шукати спокійні та комфортні варіанти пересування;

- комфорт та безпеку - підсвідомі переконання та досвід можуть визначати, наскільки споживачі вважають транспортні послуги комфортними та безпечними.

Розуміння цих підсвідомих аспектів дозволяє підприємствам транспортної галузі краще адаптувати свої сервіси та маркетингові стратегії до потреб та очікувань споживачів, покращити якість обслуговування, підвищити рівень задоволеності клієнтів.

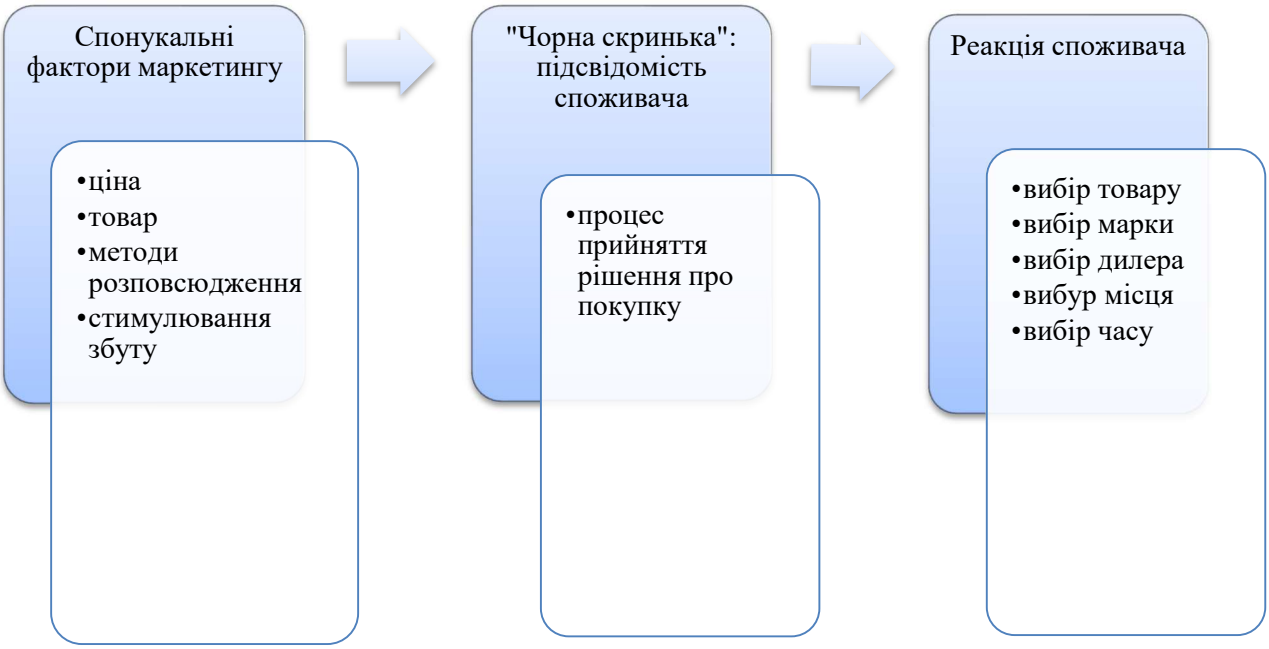


Рисунок 1 – Модель поведінки споживача за Ф.Котлером
Джерело:[1].
Figure 1 **–** Model of consumer behavior according to F. Kotler
Source: [1].

Адаптуючи модель поведінки споживача за Ф. Котлером до особливостей транспортного ринку варто зосередити увагу на специфічні етапи, що враховують особливості вибору транспортних послуг.

Вибір споживача починається з визначення його мобільних потреб, таких як щоденний комутинг, подорожі для відпочинку або інші транспортні вимоги, на основі яких здійснюється пошук інформації про різні види транспорту, включаючи громадський транспорт, таксі, автомобільні прокати, залізничні та авіаперевезення, інформації про маршрути, ціни, розклад руху тощо.

Отримавши інформацію про транспортні альтернативи, споживач здійснює їх оцінку з урахуванням таких факторів, як час подорожі, вартість, комфорт, надійність та екологічність, що дає йому можливість прийняти рішення про вибір конкретного транспортного засобу або послуги.

Купуючи квиток, викликаючи таксі чи використовуючи інші доступні засоби, споживач здійснює свій транспортний вибір. Після використання транспортної послуги споживач оцінює своє задоволення від обраного транспортного варіанту, що може впливати на його майбутній вибір. Також варто враховувати, що отримуючи транспортну послугу, споживач розглядає додаткові фактори, такі як якість обслуговування, зручність, та можливість отримання знижок чи бонусів, що в майбутньому може вплинути на його повторний вибір транспортних послуг.

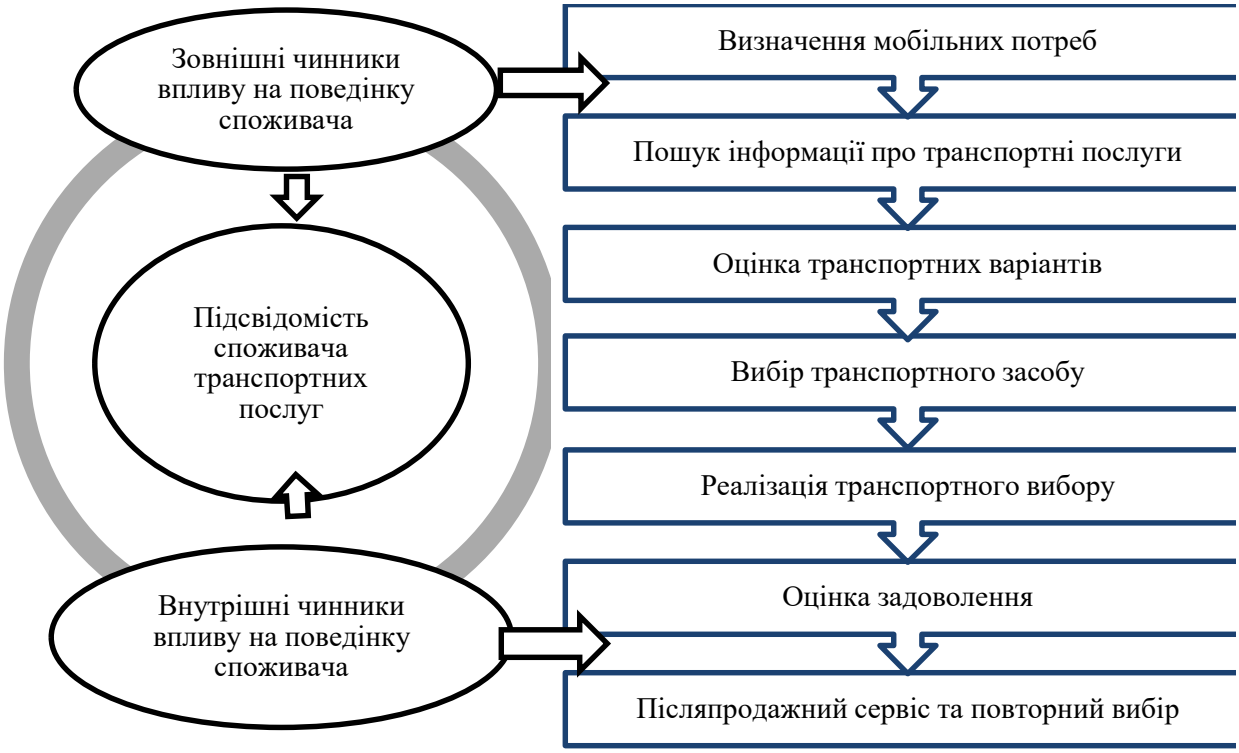


Рисунок 2 – Модель поведінки споживача транспортних послуг
Джерело: розроблено автором на основі [1,2].

Figure 2 – Consumer's Behavior Model of Transportation Services
Source: developed by the author based on [1,2].

На поведінку споживача при виборі транспортних послуг впливають як зовнішні, так і внутрішні чинники. Внутрішні чинники, які впливають на поведінку споживача транспортних послуг, можуть включати психологічні, соціальні, економічні та інші аспекти (табл.1).

Зазначені внутрішні чинники можуть взаємодіяти та варіюватися в залежності від конкретного індивіда та його переваг. Розуміння цих факторів дозволяє підприємствам транспортної галузі ефективно спрямовувати свої маркетингові стратегії для кращого задоволення потреб споживачів.

Зовнішні чинники впливу на поведінку споживача транспортних послуг відіграють не менш значущу роль у формуванні їх вибору та усвідомлених рішень (табл.2).

Зовнішні чинники також взаємодіють та змінюються залежно від контексту. Їх розуміння дозволяє компаніям ефективно адаптувати свої стратегії для забезпечення потреб та очікувань споживачів у сфері транспортних послуг.

Вивчення поведінки споживача транспортних послуг має ключове значення в сучасному світі та може бути вирішальною для забезпечення успіху підприємств у транспортній галузі (рис. 3).

Таблиця 1 – Внутрішні чинники впливу на поведінку споживача транспортних послуг
Table 1 – Internal factors of influence on the consumer's behavior of transport services

Внутрішній чинник	Значення
Індивідуальні потреби і пріоритети	Різні споживачі мають різні потреби та пріоритети. Деякі можуть більше цінувати зручність та час, інші — економічність, а треті — екологічні аспекти. Індивідуальні різниці впливають на те, як споживачі сприймають та обирають транспортні послуги
Фінансовий стан	Споживачі можуть обирати транспортні послуги відповідно до свого фінансового стану. Вартість квитків, пального або інших транспортних витрат може бути важливим фактором при прийнятті рішення
Психологічні фактори	Особистість, мотивація, ставлення до ризику і новацій, емоційний стан – це не повний перелік психологічних факторів, що можуть впливати на сприйняття споживачем та його реакцію на транспортні послуги
Досвід і знання	На усвідомленість споживача та його здатність зробити інформований вибір значний вплив має попередній досвід користування різними видами транспорту
Здоров'я та фізичний стан	Особа може віддавати перевагу пішоходним або велосипедним пересуванням з огляду на своє фізичне здоров'я
Соціокультурні чинники	Визначають певні норми та цінності, які впливають на вибір транспортних послуг. Наприклад, у деяких культурах громадський транспорт може бути більш популярним через екологічні або соціальні переваги

Джерело:[3,4].
Source: [3,4].

Таблиця 2 – Зовнішні чинники впливу поведінку споживачів транспортних послуг
Table 2 – External factors of influence on the consumer's behavior of transport services

Зовнішній чинник	Значення
Економічні умови	Загальна економічна ситуація в країні чи регіоні може впливати на фінансовий стан споживачів і їх готовність витрачати гроші на транспортні послуги. Наприклад, в період економічної нестабільності люди можуть вибирати більш економічні та бюджетні варіанти пересування
Технологічний прогрес	Розвиток технологій у транспортному секторі, такі як мобільні додатки для замовлення таксі, платіжні системи та інші інновації, може суттєво впливати на свідомість та уподобання споживачів
Екологічний вплив та сталий розвиток	Зростаюча увага до екологічних питань та сталого розвитку може впливати на вибір транспортних послуг. Споживачі можуть надавати перевагу екологічно чистим видам транспорту або компаніям, які виявляють відповідальність у справах сталого розвитку
Громадська думка та соціальні тренди	Громадська думка, включаючи відгуки в мережі, соціальні мережі та інші комунікаційні канали, може впливати на сприйняття різних транспортних послуг і вибір споживачів
Законодавство і правила	Зміни у правовому середовищі, такі як введення нових правил безпеки чи тарифів на транспортні послуги, можуть суттєво впливати на споживачів і їхні рішення.
Конкуренція на ринку	Наявність конкуренції між різними постачальниками транспортних послуг може стимулювати розвиток нових та покращених сервісів, а також привертати увагу споживачів

Кінець таблиці 3.2

Зовнішній чинник	Значення
Пандемійні та епідемічні обставини	Здоров'я та безпека стають одними з ключових факторів при виборі транспортних послуг, особливо в умовах пандемій та епідемій

Джерело:[3,5,7].
Source: [3,5,7].

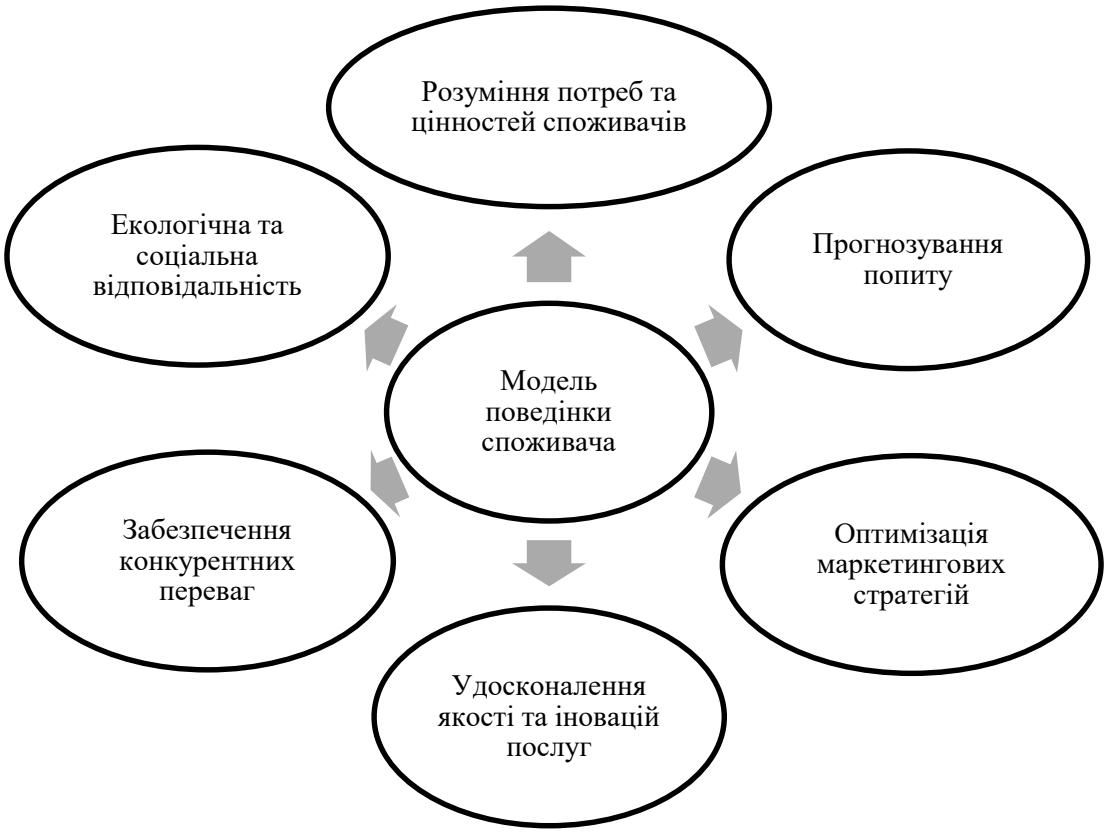


Рисунок 3 – Переваги застосування моделі поведінки споживача для розвитку транспортних компаній
Джерело: розроблено автором на основі [5,6].
Figure 3 – Advantages of using the consumer behavior model for the development of transport companies
Source: developed by the author based on [5,6].

Розуміння поведінки споживача транспортних послуг є стратегічно важливим для успіху підприємств у цьому секторі, допомагаючи їм ефективно взаємодіяти зі своїми клієнтами, пристосовуватися до змін та підтримувати високий рівень задоволення клієнтів, що забезпечується наступними аспектами:

- транспортний ринок постійно змінюється під впливом новітніх технологій, екологічних та соціальних тенденцій, законодавчих змін та інших факторів. Вивчення поведінки споживача допоможе операторам транспортного ринку адаптуватися до цих змін та вносити власні інновації;

- розуміння того, як споживачі реагують на маркетингові впливи, дозволяє компаніям розробляти ефективні та цілеспрямовані маркетингові стратегії;

- знання про потреби та очікування споживачів допоможуть транспортним компаніям покращувати якість своїх послуг;

- інформація про те, коли та як часто споживачі використовують транспортні послуги, допомагає компаніям ефективно планувати свої ресурси;

- підприємства, які ретельно вивчають та розуміють своїх споживачів, можуть розробляти інноваційні та конкурентоспроможні рішення, що дозволяє зберігати існуючих і залучати нових клієнтів, отримуючи конкурентну перевагу на ринку;

- зростаюча свідомість споживачів щодо екологічних та соціальних питань вимагає від компаній у транспортній галузі більшої відповідальності. Розуміння цих питань дозволяє підприємствам розробляти та просувати екологічно та соціально відповідальні рішення;

- вивчення поведінки споживача сприяє оптимізації робочих процесів, включаючи управління запасами, персоналом та інші аспекти функціонування транспортних підприємств.

Висновки та пропозиції: Таким чином, модель поведінки споживача транспортних послуг стає ключовим інструментом адаптації бізнесів до змінних умов транспортного ринку та надання високоякісних та конкурентоспроможних послуг споживачам.

Розроблена модель поведінки споживача транспортних послуг повинна стати невід'ємною частиною стратегічного управління в сфері транспорту, допомагаючи компаніям адаптуватися до змін у споживацьких уподобаннях та ринковому середовищі.

Перелік посилань

1. Котлер Філіп, Армстронг Гарі. Основи маркетингу / пер. з англ. Київ: Науковий Світ. 2022. 880с.

2. Петруня Ю.Є., Петруня В.Ю., Губа О.І. Поведінка індивідуальних споживачів як об'єкт індивідуальних інтересів. *Європейський вектор економічного розвитку*. 2021. № 2 (31). С. 62 – 72.

3. Щерба О. І. Поведінка споживача: вплив післякупівельного задоволення та післякупівельного дисонансу. *Габітус.* 2020. Вип. 20. С. 20-25.

4. Thaler R. Mental accounting and consumer choices. *Marketing Science*. 1985. No. 4. P. 199–214.

5. Коломицева О.В., Васильченко Л.С. Особливості поведінки споживачів в умовах сучасного ринку. *Збірник наукових праць ЧДТУ*. 2022. Вип. 64. С. 90-98. URL : DOI 10.24025/2306-4420.64.2022.255971

6. Наумова М., Наумова О. Поведінка споживачів у глобальному вимірі. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі.* Випуск 1(107), 2023. С. 70-74. DOI:https://doi.org/10.37734/2409-6873-2023-1-10

7. Окландер М. А. Вплив соціальних чинників на поведінку споживача. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: економічна. 2013. № 4 (46). С. 248–255.

CONSUMER'S BEHAVIOR MODEL OF TRANSPORTATION SERVICES

Malakhova Yulia A., Ph.D. Economics, Associate Professor of 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

Sukmaniuk Victoria M., Assistant of Department of Management, National Transport University, e-mail: v.sukmaniuk@ntu.edu.ua, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko str., 1. https://orcid.org/0000-0003-4202-8960

Abstract. The article is devoted to the formation of a model of consumer behavior in the market of transport services, as a key tool for developing strategies that contribute to improving customer service, increasing efficiency and successful competition in the market.

In today's world, where access to transportation services is becoming more diverse and technologically advanced, understanding consumer behavior patterns becomes important for companies that offer transportation services.

The article proposes a model of the behavior of the consumer of transport services, which includes external and internal factors of influence on the consumer's behavior, the consumer's subconscious and the stages of the consumer's choice of a transport service.

Aspects of the consumer's subconscious that influence his choice of transport service have been determined, the understanding of which will allow enterprises in the transport industry to better adapt their services and marketing strategies to the needs and expectations of consumers, which will ensure the improvement of service quality and increase customer satisfaction.

The behavior of the consumer of transport services is the result of the interaction of various internal and external factors, knowledge of which will allow transport companies to adapt to changes in market conditions and provide consumers with services that meet their needs and expectations.

The stages of consumer behavior proposed in the model will allow transport companies to understand how purchase decisions are made and provide them with advantages over competitors.

The results of the research can be used in the future by transport companies that seek to effectively adapt to changes in the consumer market and provide services that meet the needs and expectations of consumers in modern conditions, which will provide them with competitive advantages in the market.

Key words: model, consumer, transport services, consumer behavior, consumer subconscious, transport company, consumer choice.

References

1. Kotler Filip, Armstronh Hari. (2022) Osnovy marketynhu / per. z anhl. Kyiv: Naukovyi Svit.. 880s.

2. Petrunia Yu.Ie., Petrunia V.Iu., Huba O.I. (2021) Povedinka indyvidualnykh spozhyvachiv yak obiekt indyvidualnykh interesiv. Yevropeiskyi vektor ekonomichnoho rozvytku. № 2 (31). S. 62 – 72.

3. Shcherba O. I. (2020) Povedinka spozhyvacha: vplyv pisliakupivelnoho zadovolennia ta pisliakupivelnoho dysonansu. Habitus. Vyp. 20. S. 20-25.

4. Thaler R. Mental accounting and consumer choices. (1985) Marketing Science. No. 4. R. 199–214.

5. Kolomytseva O.V., Vasylchenko L.S. (2022) Osoblyvosti povedinky spozhyvachiv v umovakh suchasnoho rynku. Zbirnyk naukovykh prats ChDTU. Vyp. 64. S. 90-98. URL : DOI 10.24025/2306-4420.64.2022.255971

6. Naumova M., Naumova O. (2023) Povedinka spozhyvachiv u hlobalnomu vymiri. Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli. Vypusk 1(107). S. 70-74. DOI:https://doi.org/10.37734/2409-6873-2023-1-10

7. Oklander M. A. (2013) Vplyv sotsialnykh chynnykiv na povedinku spozhyvacha. Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seriia: ekonomichna. № 4 (46). S. 248–255.

УДК 332.6 : 519.6 **DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-233-240**
UDC 332.6 : 519.6

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ЧАСОВИХ РЯДІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІНОУТВОРЕННЯ НА РИНКУ НЕРУХОМОСТІ

APPLICATION OF TIME SERIES ANALYSIS METHODS FOR FORECASTING PRICING IN THE REAL ESTATE MARKET



***Бондаренко Людмила Петрівна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: luda_bond@ukr.net, тел.+380442803942,*

https://orcid.org/0000-0002-8239-065X



***Ляшенко Яна Григорівна,** кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: Ya_Lyashnko@ukr.net, тел.+380444067323,*

https://orcid.org/0000-0002-7772-7879

Анотація: В роботі представлено теоретико-методичні підходи щодо прогнозування ціноутворення на ринку нерухомості на основі дослідження стохастичних моделей часових рядів, що являють собою згенеровані послідовно в часі статистичні вибірки цін об'єктів нерухомості в певних сегментах даного ринку. Наведено основні етапи дослідження часових рядів на ринку нерухомості. Виділено дві основні складові часових рядів цін на нерухомість – фундаментальну (регулярну) та випадкову (нерегулярну). Фундаментальна (регулярна) складова часового ряду містить тренд, циклічну та сезону тенденції. Випадкова складова є шумом, що дещо відхилює значення часового ряду від тренду. В рамках роботи проаналізовано фундаментальні ціноутворюючі фактори на ринку нерухомого майна, що найбільшим чином впливають на формування ціни нерухомості та визначають її тренд. Представлено результати аналізу часових рядів цін на вторинному ринку нерухомості у традиційно найбільш активних ділових містах України (Київ, Харків, Дніпро, Одеса, Львів, Івано-Франківськ) у період 2016-2023 роки. Показано, що ціни на регіональних ринках нерухомості формуються під впливом, як загальних тенденцій по всій країні, так і випадкових кризових явищ, притаманних даному регіону. У регіональному розрізі проаналізованих ринків нерухомості у середньому спостерігається зростаючий тренд, що стимулюється все більшим платоспроможним попитом на житлові квадратні метри. У той же час, особливий інтерес представляє дослідження поведінки цін на ринку нерухомості у періоди криз, спричинених екстраординарними подіями та умовами (пандемія та війна), що спостерігалися в 2020, 2022 і в поточному 2023 році. Якщо

короновірус, як кризове явище, вплинув більш-менш однаково на динаміку регіональних ринків нерухомості, то вплив повномасштабної війни проявився по-різному в різних регіонах нашої країни. У прифронтових містах, що досить сильно страждають від обстрілів (наприклад, Харків), ринок нерухомості відреагував зниженням цін та попиту. У той же час, в західних регіонах (наприклад, Львів, Івано-Франківськ) вартість квадратних метрів помітно зросла, що обумовлено різким збільшенням попиту за рахунок тимчасово переміщених та евакуйованих осіб. Визначено подальші напрямки досліджень часових рядів для прогнозування ціноутворення на ринку нерухомості.

Ключові слова: ринок нерухомості, вартість об'єкта нерухомості, ціноутворення, часовий ряд, тренд.

Вступ. Ринок нерухомості є однією з найважливіших галузей економіки, що постійно еволюціонує та адаптується до змін суспільного, економічного та технологічного середовища. Розуміння останніх тенденцій та прогнозування майбутнього розвитку ринку нерухомості має важливе значення для всіх зацікавлених сторін, починаючи від покупців та продавців житла до інвесторів та регуляторів ринку.

На сьогоднішній день ринок нерухомості вимагає адаптації до нових реалій – небезпек і викликів, обумовлених кризовими явищами, такими як військові конфлікти, глобальні епідемії, тощо. Розуміння змін в психології споживачів та їх потреб дозволить розробникам та агентствам нерухомості адекватно реагувати на ринкові тенденції.

Теоретичні і практичні питання вивчення ринку нерухомості, а також визначення понять і співвідношень між ними вивчалися в роботах Дж.Фрідмана, Г.С. Харрісона, Н.Ордуейя, В. Вороніна, Б. Грабовецького, С. Сівця, Н. Максишко, І. Шапошнікової, Ю. Дехтяренка, Ю. Кірічека, М. Лихогруда, Ю. Палехи, Л. Перовича, А. Третяка, П. Черняги та багатьох інших вчених.

Як показує аналіз численних досліджень, для ефективного управління ринком нерухомого майна важливим є не власне ціна на нерухомість, а її зміна в часі – динаміка. Тобто, важливого значення набуває дослідження стохастичних моделей часових рядів, що являють собою згенеровані послідовно в часі статистичні вибірки цін об'єктів нерухомості в певних сегментах даного ринку. Використання часових рядів для прогнозування динаміки ринку нерухомості є досить актуальним питанням, вивченню якого присвячено ряд робіт, як вітчизняних, так і зарубіжних вчених [1-8].

Мета роботи полягає в аналізі теоретико-методичних підходів щодо прогнозування ціноутворення на ринку нерухомості на основі дослідження стохастичних моделей часових рядів.

Об'єктом дослідження є часові ряди, що являють собою згенеровані послідовно в часі статистичні вибірки цін об'єктів нерухомості в певних сегментах даного ринку.

Методи дослідження – математичне та числове моделювання.

Дослідження проводились за двома основними напрямками:

1. Аналіз загальних принципів і підходів щодо дослідження часових рядів з точки зору загальної теорії статистики та оцінки нерухомості.

2. Дослідження часових рядів цін на вторинному ринку житлової нерухомості у традиційно найбільш активних ділових містах України (Київ, Харків, Дніпро, Одеса, Львів, Івано-Франківськ) за часовий період 2016-2023 роки.

Результати і пояснення. У сучасній статистичній теорії досить широко використовують методи прогнозування, що базуються на аналізі часових рядів. Характерною особливістю цього методу є дослідження лише даних спостережень без використання додаткової інформації і аналізу впливу зовнішніх факторів. Хоча такий підхід може здатися досить обмеженим, у багатьох випадках прогнози часових рядів виявляються найточнішими.

Застосування методів теорії часових рядів у дослідженні ринку нерухомості дозволяє аналізувати та розуміти динаміку даного ринку, а також розробляти моделі та стратегії, які допомагають управляти ризиками та виробляти ефективні стратегії управління нерухомістю, зокрема:

1. Прогнозування ринкових тенденцій. Аналіз часових рядів дозволяє виявляти повторювані патерни та тенденції в динаміці цін, обсягах транзакцій та інших ключових показниках ринку. Це робить можливим ефективне прогнозування майбутніх рухів на ринку нерухомості, що допомагає учасникам ринку адаптуватися до змін та приймати обґрунтовані рішення.

2. Виявлення сезонності та циклічності. Часові ряди дозволяють виявляти сезонні та циклічні зміни на ринку нерухомості. Це важливо для розуміння, як ринок реагує на різні часові періоди, що визначають оптимальний час для купівлі чи продажу, а також допомагає агентствам нерухомості планувати свої стратегії маркетингу.

3. Визначення впливу зовнішніх факторів. Часові ряди дозволяють вивчати взаємозв'язок між ринком нерухомості та зовнішніми факторами, такими як економічні та соціальні зміни, політичні події чи природні катастрофи. Це допомагає аналізувати вплив зовнішніх подій на ринок та приймати обґрунтовані стратегічні рішення.

4. Управління ризиками. Часовий аналіз дозволяє визначати потенційні ризики, а також розпізнавати їхні попереджувальні ознаки. Це важливо для інвесторів, розробників та агентств нерухомості, які шукають ефективні стратегії управління ризиками та максимізації прибутковості.

5. Оптимізація стратегій маркетингу та продажу. Аналіз часових рядів допомагає визначити ефективні моменти для запуску маркетингових кампаній та реалізації об'єктів нерухомості. Це дозволяє підприємствам максимізувати ефективність своїх стратегій продажу та забезпечувати стабільність у конкурентному середовищі.

З точки зору теорії часових рядів, часовий ряд в оцінці нерухомості являє собою послідовність значень цін на нерухомість, вимірюваних впродовж певних часових інтервалів. Ці інтервали можуть бути різними, наприклад, щоденними, щомісячними чи річними відліками, в залежності від обраної часової шкали.

Якщо майбутні значення часового ряду можна точно визначити за допомогою математичної функції, тоді цей часовий ряд вважається детермінованим. У випадку, коли майбутні значення можна описати лише за допомогою випадкових величин, матимемо справу з випадковим часовим рядом. Часові ряди, які характеризують поведінку параметрів ринку та можуть бути визначені лише за допомогою випадкових величин, вважаються випадковими.

У більшості випадків часові ряди, що описують ринкові процеси, такі як ціни на нерухомість чи котирування акцій, мають нестаціонарний характер. Це проявляється у тому, що значення часового ряду не стабільно коливаються навколо фіксованого середнього, а виявляють чітку тенденцію до зростання чи спадання. Також у багатьох випадках часові ряди характеризуються наявністю періодичної складової, що є результатом сезонності тих чи інших процесів.

Регресійний аналіз є одним із найпопулярніших методів прогнозування часових рядів, оскільки він базується на виявленні загальних тенденцій, пов'язаних з трендами, та побудові математичної моделі тренду за допомогою рівнянь, які дозволяють прогнозувати значення досліджуваного явища. При цьому простою формою регресійної моделі є та, у якій фактор часу виступає як незалежна змінна.

Відомо, що ціна на нерухомість складається з кількох складових, що мають фундаментальне та випадкове значення (рис. 1).

Фундаментальна (регулярна) складова часового ряду містить тренд, циклічну та сезону тенденції. Випадкова складова є шумом, що дещо відхилює значення часового ряду від тренду. Експерти зазначають, що існують певні фундаментальні ціноутворюючі фактори на ринку нерухомого майна, що найбільшим чином впливають на визначення ціни нерухомості та формування її тренду.

Аналіз часового ряду починається з виділення трендового компонента. Його присутність неважко помітити, проаналізувавши графік часового ряду. Найдоцільніше описувати такі зміни за допомогою кривих, які можна задати в аналітичному вигляді.

Сезонна компонента ціни на житлову нерухомість вказує на регулярні коливання чи патерни, які повторюються в певний період часу протягом року. Ця компонента враховує вплив сезонних змін на ринку нерухомості, таких як вищий попит у певний період року або зміни у власності, що можуть

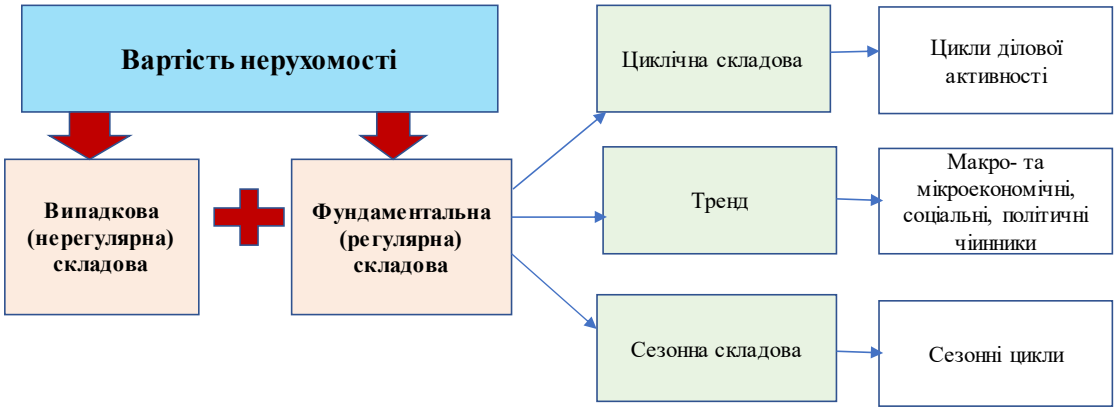
впливати на ціни. Наприклад, у багатьох регіонах може спостерігатися збільшений попит на житло влітку, коли багато людей шукають нові місця проживання перед початком нового навчального року або через більш комфортні умови для переїзду. З іншого боку, у зимовий період попит може зменшуватися через менше бажання переїжджати в холодний період року.

Розуміння сезонної компоненти дозволяє агентам ринку нерухомості краще адаптувати свої стратегії до змін у попиті та цінах, що виникають внаслідок цих регулярних коливань протягом року.

Циклічний компонент займає проміжне місце між трендом та сезонним компонентом. Тренд – це гладка змінна, яка проявляється на великому проміжку часу. Сезонний компонент – це періодична функція, що залежить від часу, причому його період значно менший за період спостережень. Циклічний компонент розглядається, в основному, як гладка змінна, залежна від часу, але яка не включається ні до тренду, ні до сезонного компонента.

Випадковий компонент у часовому ряді – це непередбачувані, стохастичні зміни, які залишаються після вилучення тренду, циклічних та сезонних компонентів. Цей елемент включає різноманітні випадкові впливи, такі як економічні нестабільності та непередбачувані події. Розуміння випадкового компонента є ключовим для аналізу ринку нерухомості, дозволяючи уникнути переоцінки впливу випадкових факторів на формування прогнозів і вказуючи на необхідність удосконалення стратегій адаптації до непередбачуваних факторів.

Від значення кожного компонента залежить значення часового ряду у кожний період спостережень. Але не завжди представляється можливим характеризувати кожний компонент окремо. Іноді краще робити прогноз відносно всієї моделі, ніж намагатися виділити кожний компонент окремо.



Риунок 1 *– Складові часового ряду цін на нерухомість*

Figure 1 *– Components of the time series of real estate prices*

Прогнозуючи динамічні процеси на ринку нерухомості слід відзначити, що ціни на нерухомість у кожному регіоні формуються під впливом загальних тенденцій по всій країні. У той же час, коливання цін на одному сегменті ринку неухильно призводять до відповідних змін на інших. Треба також врахувати, що спочатку підвищення купівельної спроможності зазвичай впливає на попит, особливо на житлові об'єкти. Ці процеси виявляють схожий розвиток у різних містах та сегментах ринку. Саме через це для вивчення загальної динаміки ринку нерухомості в країні необхідно розглядати зміни цін як в окремих регіонах, так і в усій Україні в цілому.

У рамках даної роботи було проаналізовано динаміку середньої вартості житлової нерухомості на вторинному ринку традиційно найбільш активних ділових міст України (Київ, Харків, Дніпро, Одеса, Львів, Івано-Франківськ) за часовий період 2016-2023 роки. Інформаційною базою стали усереднені ціни продажу 1 м^2 житла, розраховані за даними ріелтерських агенцій [9]. Результати обробки даних представлено у вигляді дискретних часових рядів, у яких спостереження здійснювалися через фіксовані інтервали часу. Статистична інформація формувалася автоматично кожен день, у всіх

графіках використано медіанне значення цін. В даному випадку часові ряди, що описують ціни на вторинну нерухомість досліджуваних міст, носять нестаціонарний характер. Це виражається в тому, що значення часових рядів не коливаються навколо фіксованого середнього, а проявляють чітко виражені тенденції до зростання або падіння (рис. 2, 3).



Рисунок 2 – *Часові ряди середньої вартості житлової нерухомості на вторинному ринку найбільших міст України за період 2016-2023 роки (у дол.США)*

Figure 2 – *Time series of the average value of residential real estate on the secondary market of the largest cities of Ukraine for the period 2016-2023 (in USD)*

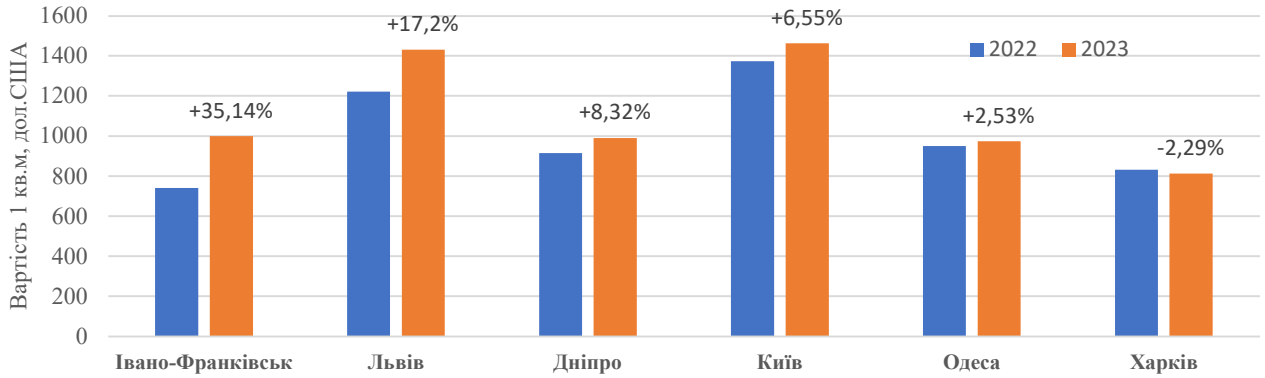


Рисунок 3 – *Зміна середньої вартості житлової нерухомості на вторинному ринку найбільших міст України у 2023 році порівняно з 2022 роком*

Figure 3 – *Change in the average value of residential real estate on the secondary market of the largest cities of Ukraine in 2023 compared to 2022*

Аналізуючи графіки цін на вторинну житлову нерухомість великих міст України за 2016-2023 роки (рис.2, 3) та пов'язуючи їх із ключовими подіями кожного періоду, можна виділити кілька значущих моментів, що впливали на ринок нерухомості:

1. До кінця 2019 року спостерігаємо продовження тенденцій більш ранніх періодів, що характеризувалися відносною стабільністю на ринку нерухомості.

2. З початку 2020 року (січень-травень) ринок потерпав від шоків, спричинених пандемією Covid-19 і пов'язаними їх нею низкою негативних явищ – кризою енергоносіїв, скороченням купівельної спроможності, зростанням інфляційних очікувань, тощо.

3. У третьому кварталі 2020 року ринок нерухомості адаптувався до викликів, пов'язаних з пандемією Covid-19. Покупці почали задовольняти відкладений попит, і ринкові показники практично повернулися до докарантинного рівня, проявляючи тенденцію до стабільного зростання. Згідно з даними Мінфіну, протягом 2021 року ціна "квадрата" у новобудовах зросла на 20%, а на вторинному ринку – на 25%. За умов мирного життя ринок нерухомості продовжував би розвиватися та розширюватися, без передумов для "гальмування".

4. Перші місяці повномасштабної війни в Україні 2022 року призвели до повної зупинки ринкових процесів. Навесні 2022 року ситуація була настільки критичною, що вторинний ринок житла фактично припинив своє існування через закриті реєстри нерухомості. Після відновлення їх роботи значна частина угод – це були угоди, укладені ще до початку війни, а інші – виникали через труднощі у власників майна. Наприкінці літа 2022 року, ринок трохи стабілізувався, з'явився відкладений попит, але в цілому обсяг продажів житла за 2022 рік скоротився на 46%.

5. В регіональному розрізі вплив повномасштабної війни на ринок нерухомості в різних регіонах України є різним і залежить від його близькості до зони бойових дій.

Так, наприклад, Харків – прифронтове місто, що досить сильно страждає від обстрілів, тому ринок відреагував відповідно найбільшим зниженням цін та попиту в даному регіоні.

Вартість квадратних метрів помітно зросла в західних регіонах, що видно на графіках цінової динаміки у Львові та Івано-Франківську (рис.2, 3) .Така ситуація є цілком передбачуваною, адже саме туди була спрямована більша частина тимчасово переміщених та евакуйованих осіб.

Схожа картина спостерігалася в Києві після звільнення області та зупинення наступу на столицю. Головні релокації бізнесу та переїзд сімей із прифронтових зон в столицю відбулися в серпні - на початку жовтня. Але кінець 2022 року відзначається зниженням цін на ринку, що може бути викликано посиленням ракетних ударів, що призвело до негативної динаміки.

Деякі регіони не знаходяться дуже далеко від зон активних бойових дій, але все ж таки влітку 2022 року ціни там зросли, зокрема це стосується м.Дніпро. Пов’язано це знову ж таки з переселенцями, які вибирали відносно безпечні регіони, але ближче до рідної домівки. Зменшення

кількості пропозицій викликало зростання цін. Такі міста як Одеса не зазнали значних змін, адже цей напрямок був популярним і до війни.

6. Початок 2023 року не ознаменувався суттєвими зрушеннями на ринку нерухомості, що починає потроху відновлюватися, як в цілому по Україні, так і в різних областях. Винятками є лише Харків та інші міста, які залишаються прифронтовими.

Висновки. В сучасному світі, де зміни в економічному та соціальному середовищі стають все більш динамічними, використання аналізу часових рядів в дослідженні ринку нерухомості стає невід'ємним елементом стратегічного планування та прийняття рішень. Ціни на регіональних ринках нерухомості формуються під впливом загальних тенденцій та випадкових кризових явищ. За останні роки спостерігається зростаючий тренд на ринках нерухомості, спричинений збільшеним платоспроможним попитом. Дослідження поведінки цін у кризові періоди, такі як пандемія та війна (2020, 2022, 2023), представляє особливий інтерес. Якщо коронавірус вплинув на регіональні ринки нерухомості приблизно однаково, то вплив повномасштабної війни є різним в різних регіонах України. У прифронтових містах, наприклад, Харкові, ринок відчув зниження цін та попиту через обстріли. З іншого боку, в західних регіонах, таких як Львів і Івано-Франківськ, вартість квадратних метрів помітно зросла через збільшений попит від тимчасово переміщених та евакуйованих осіб.

Перелік посилань

1. Максишко Н.К. Аналіз та прогнозування: сучасні концепції в дослідженні динаміки ціни на ринку нерухомості / Н. К. Максишко, В.О. Шаповалова. – Запоріжжя : Поліграф, 2018. – 235 с.

2. Шапошнікова І.О. Аналіз часових рядів первинного ринку житлової нерухомості м. Києва // Економічний вісник університету, 2018 . – Випуск № 36/1. – С.139-147

3. Воронін В.О., Лянце Е.В., Мамчин М.М. Аналітика ринку нерухомості: методологія та принципи сучасної оцінки : Монографія. – Львів: видавництво "Магнолія".-Львів, 2014. – с.304

4. Мірошниченко І. В., Крашеніннікова О. В. Прогнозування ціни на нерухомість з використанням алгоритмів машинного навчання. – Ефективна економіка, 2022. № 1. – С.1-17. – DOI: 10.32702/2307-2105-2022.1.81

5. Данич В., Старчак І. Динаміка регіональних ринків житлової нерухомості в Україні // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Серія економічна, 2019, вип.97. – С. 41-49. – https://doi.org/10.26565/2311-2379-2019-97-05

6. Tomasz Adamczyk, Agnieszka Bieda The applicability of time series analysis in real estate valuation // GEOMATICS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING, 2015 – Vol. 9, no. – P. 15-25, DOI: 10.7494/geom.2015.9.2.15

7. Alex van de Minne, Marc Francke, David Geltner Forecasting US Commercial Property Price Indexes Using Dynamic Factor Models // Journal of Real Estate Research, Volume 44, 2022 – Issue 1. – P. 1-27. – https://doi.org/10.1080/08965803.2020.1840802

8. Monika Mika Analysis of the Real Estate Market Dynamics as the Effect of Changes in the Road Infrastructure // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, Volume 603 , Issue 4 – P.1-9 – DOI 10.1088/1757-899X/603/4/042046

9. Статистика цін на нерухомість / https://ua.m2bomber.com/stat

APPLICATION OF TIME SERIES ANALYSIS METHODS FOR FORECASTING PRICING IN THE REAL ESTATE MARKET

Bondarenko Liudmyla, Candidate of Engineering Science (Ph.D.), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: luda_bond@ukr.net, тел.+380442803942, https://orcid.org/0000-0002-8239-065X

Liashenko Yana, PhD in Physics and Mathematics, National Aviation University, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, e-mail: Ya_Lyashnko@ukr.net, тел.+380444067323 https://orcid.org/0000-0002-7772-7879

Summary . The paper presents theoretical and methodological approaches to forecasting pricing in the real estate market based on the study of stochastic models of time series, which are statistical samples of prices of real estate in certain segments of this market generated consistently over time. The main stages of the

research of time series in the real estate market are given. Two main components of time series of real estate prices are distinguished - fundamental (regular) and random (irregular). The fundamental (regular) component of the time series contains trend, cyclical and seasonal trends. The random component is noise, which slightly deviates the value of the time series from the trend. The work analyzed the fundamental price-forming factors in the real estate market, which have the greatest influence on the formation of the real estate price and determine its trend. The results of the analysis of time series of prices on the secondary real estate market in the traditionally most active business cities of Ukraine (Kyiv, Kharkiv, Dnipro, Odesa, Lviv, Ivano-Frankivsk) in the period 2016-2023 are presented. It is shown that prices on regional real estate markets are formed under the influence of both general trends throughout the country and random crisis phenomena inherent in this region. In the regional section of the analyzed real estate markets, on average, a growing trend is observed, which is stimulated by the increasing solvent demand for residential square meters. At the same time, it is of particular interest to study the behavior of real estate market prices during periods of crises caused by extraordinary events and conditions (pandemic and war) observed in 2020, 2022 and in the current year 2023. If the coronavirus, as a crisis phenomenon, affected the dynamics of regional real estate markets more or less equally, then the impact of a full-scale war manifested itself differently in different regions of our country. In front-line cities that suffer quite a lot from shelling (for example, Kharkiv), the real estate market reacted by lowering prices and demand. At the same time, in the western regions (for example, Lviv, Ivano-Frankivsk), the cost of square meters has increased significantly, which is due to a sharp increase in demand due to temporarily displaced and evacuated persons. Further directions of time series research for forecasting pricing in the real estate market have been determined.

Keywords: real estate market, real estate value, pricing, time series, trend.

References

1. Maksyshko N.K. Analiz ta prohnozuvannya: suchasni kontseptsiyi v doslidzhenni dynamiky tsiny na rynku nerukhomosti / N. K. Maksyshko, V.O. Shapovalova. – Zaporizhzhya : Polihraf, 2018. – 235 s.

2. Shaposhnikova I.O. Analiz chasovykh ryadiv pervynnoho rynku zhytlovoyi nerukhomosti m. Kyyeva // Ekonomichnyy visnyk universytetu, 2018 . – Vypusk № 36/1. – S.139-147

3. Voronin V.O., Lyantse E.V., Mamchyn M.M. Analityka rynku nerukhomosti: metodolohiya ta pryntsypy suchasnoyi otsinky : Monohrafiya. – L′viv: vydavnytstvo "Mahnoliya".-L′viv, 2014. – s.304

4. Miroshnychenko I. V., Krasheninnikova O. V. Prohnozuvannya tsiny na nerukhomist′ z vykorystannyam alhorytmiv mashynnoho navchannya. – Efektyvna ekonomika, 2022. № 1. – S.1-17. – DOI: 10.32702/2307-2105-2022.1.81

5. Danych V., Starchak I. Dynamika rehional′nykh rynkiv zhytlovoyi nerukhomosti v ukrayini // Visnyk Kharkivs′koho natsional′noho universytetu imeni V. N. Karazina, Seriya ekonomichna, 2019, vyp.97. – S. 41-49.– https://doi.org/10.26565/2311-2379-2019-97-05

6. Tomasz Adamczyk, Agnieszka Bieda The applicability of time series analysis in real estate valuation // GEOMATICS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING, 2015 – Vol. 9, no. – P. 15-25, DOI: 10.7494/geom.2015.9.2.15

7. Alex van de Minne, Marc Francke, David Geltner Forecasting US Commercial Property Price Indexes Using Dynamic Factor Models // Journal of Real Estate Research, Volume 44, 2022 - Issue 1. – P. 1-27. – https://doi.org/10.1080/08965803.2020.1840802

8. Monika Mika Analysis of the Real Estate Market Dynamics as the Effect of Changes in the Road Infrastructure // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, Volume 603 , Issue 4 – P.1-9 – DOI 10.1088/1757-899X/603/4/042046

9. Statystyka tsin na nerukhomist′ / https://ua.m2bomber.com/stat