

УДК 629.4.023.1

Юрій Дьомін, д.т.н.
(професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля),
Ростислав Дьомін, д.т.н.
(член правління компанії *Domin Rail Sp. z o.o.*),
Ганна Черняк, к.т.н.
(старший науковий співробітник кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля)

ДИНАМІЧНА ВЗАЄМОДІЯ КОНТРЕЙЛЕРНОЇ ПЛАТФОРМИ І АВТОПОЇЗДА

В статті представлено математичну модель спільних коливань вагона-платформи для контрейлерних перевезень і автопоїзда. За результатами комп'ютерного моделювання отримано показники вертикальної динаміки контрейлерної платформи в залежності від жорсткості і характеристик демпфірування коливань. Визначено вплив зміни параметрів ресорного підвішування на динамічну взаємодію платформи і автопоїзда.

Ключові слова: контрейлерні перевезення, вагон-платформа, автопоїзд, вертикальна динаміка, математичне моделювання, динамічні показники.

Вступ. Зважаючи на негативну техніко-економічну ситуацію, що склалась в галузі залізничного транспорту, можна стверджувати, що перспективи підвищення конкурентоспроможності залізниць на ринку транспортних послуг мають бути пов'язані з технічним переозброєнням залізниць на основі впровадження прогресивних перевізних технологій, перш за все призначених для перевезень вантажів за змішаними схемами. До таких технологій належать контрейлерні перевезення. Ці технології можуть бути успішно реалізовані за умов удосконалення нормативно-правової бази та тарифної політики, забезпечення модернізації рухомого складу і термінально-складського господарства, створення сприятливих умов для залучення інвестицій.

Контрейлерні перевезення як складова комбінованого транспорту розглядаються як закономірний процес подолання конкурентних відносин між автомобільним і залізничним транспортом і перехід на відносини співпраці. В європейських країнах контрейлерні поїзди стали частиною логістичних схем доставки вантажів. Причому в ряді випадків контрейлерні перевезення є невід'ємною частиною транспортних систем через діючі обмеження екологічного та іншого характеру, що стосуються автомобільних перевезень.

До об'єктивних чинників сприяння прискореному розвитку комбінованого транспорту України відносяться такі обставини: з'єднання переваг двох домінуючих видів транспорту – маневреності, оперативності та швидкості автомобільного транспорту і великої продуктивності, всепогодності і безпеки залізничного; значне зниження забруднення навколишнього середовища; зменшення витрат палива і скорочення пробігу автотранспортних засобів, тобто заощадження ресурсу; збереження автомобільних доріг від руйнування; зниження ймовірності

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-1

дорожньо-транспортних пригод; скорочення часу простою автопоїздів в чергах на прикордонних автомобільних переходах.

Організація інтермодальних та інтероперабельних перевезень становить необхідну умову для прискореного розвитку транспортного комплексу України та інтеграції вітчизняних залізниць у загальноєвропейську транспортну систему. У контексті вирішення програмних завдань техніко-технологічного забезпечення сталого розвитку комбінованих перевезень в Україні і у міжнародному сполученні необхідно передбачити вирішення низки науково-технічних завдань, пов'язаних, зокрема, з дослідженням динамічної поведінки спеціалізованих вагонів завантажених контейнерами.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. У європейській практиці інтермодальних перевезень контейнерні перевезення переважно здійснюються за технологією RoLa – Rollende Landstraße, тобто «рухома дорога», коли автопоїзди завантажуються на залізничний поїзд самоїздом «по горизонталі» або встановлюються на спеціальні вагони «по вертикалі» за допомогою підйомної техніки. Україна має унікальний досвід у контейнерних перевезеннях. У 90-х роках об'єднаними зусиллями залізничних наукових центрів і вагонобудівних підприємств були розроблені пілотні проекти, завдяки яким було сформовано парк спеціалізованих вагонів для контейнерних перевезень [1].

Останнім часом все більшого розвитку отримують перевезення напівпричепів окремо від тягачів. За економічними оцінками цей спосіб транспортування контейнерів має певні переваги у порівнянні з перевезеннями за технологією RoLa. У системі контейнерних перевезень без супроводу використовуються спеціалізовані вагони різних видів, зокрема так звані покет-вагони. Ці вагони мають можливість перевозити як напівпричеви, так і контейнери.

Поточний стан технічної бази залізниць України характеризується критичним зносом рухомого складу [2, 3]. Локомотиви і вагони застарілих типів спричиняють підвищений вплив на колійну структуру, створюючи тим самим пряму загрозу безпеці руху поїздів. Таким чином, оновлення парку транспортних засобів має супроводжуватись, перш за все, удосконаленням екіпажних частин шляхом реалізації технічних рішень, розроблених на основі новітніх досягнень в галузі механіки рейкових екіпажів, зокрема динаміки та міцності рухомого складу залізниць.

Завдяки фундаментальним напрацюванням української наукової школи механіків в галузі залізничного транспорту під керівництвом академіка В.А. Лазаряна стосовно загальних методів досліджень динаміки та міцності рухомого складу залізниць впродовж декількох десятиліть виконано низку науково-дослідних робіт за проблемами механіки вибору раціональних конструкційних схем і параметрів екіпажних частин рухомого складу [4]. До останніх досліджень стосовно модернізації ходових частин вантажних вагонів для підвищення їх динамічних якостей і поліпшення взаємодії з колією належать зокрема праці науковців Інституту технічної механіки НАНУ і НКАУ [5, 6].

Нагальна потреба у суттєвому підвищенні швидкостей руху на залізницях України вимагає вирішення науково-технічної проблеми створення рухомого складу нової генерації за умови забезпечення гарантованої безпеки руху поїздів. Безпека залізничного транспорту як ключова проблема включає широкий спектр складових, серед яких чільне місце належить питанням динаміки руху транспортних засобів, пов'язаних зі стійкістю рейкових екіпажів від сходу з рейок [7-12]. Отже, в галузі механіки рухомого складу зростає роль науково-дослідних робіт з вивчення перебігу динамічних процесів у системі вагон-колія, які за певних обставин призводять до виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних зі сходою вагонів з рейок.

З позицій забезпечення високого рівня експлуатаційної безпеки особливої уваги потребують спеціалізовані вагони, зокрема призначені для перевезень небезпечних і коштовних вантажів. З огляду на це значної актуальності набувають дослідження динамічних показників безпеки руху спеціалізованого рухомого складу для комбінованих і безперевантажувальних перевезень вантажів.

Пріоритетні завдання досліджень з убезпечення технічної експлуатації залізничного рухомого складу пов'язані з обґрунтуванням вибору конструкційних схем і параметрів екіпажних частин перспективних транспортних засобів для перевезення вантажів за сучасними технологіями [13-15]. При цьому для оцінки умов безпеки руху залізничних транспортних засобів мають

застосовуватись сучасні методи та критерії, у тому числі за стандартами ЄС [16, 17].

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягає у розробці рекомендацій щодо вибору раціональних параметрів ресорного підвішування за показниками вертикальної динаміки контрейлерної платформи завантаженої автопоїздом. Досягнення поставленої мети здійснено шляхом математичного моделювання вертикальних коливань платформи з встановленим на ній автопоїздом.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження динаміки спеціалізованих вагонів пов'язане з розглядом складних механічних систем, оскільки часто для розроблення математичної моделі, яка б адекватно описувала динамічну поведінку системи, виникає потреба моделювати обидві підсистеми – вагон і вантажну одиницю. Це стосується, насамперед, залізничної складової комбінованого транспорту, зокрема засобів контрейлерних перевезень.

Модель вертикальних коливань вагона-платформи з автопоїздом. Важливим етапом у побудові імітаційних моделей динаміки руху вагонів є вибір розрахункових схем і математичний опис конфігурації ходових частин. Найбільш складними для моделювання є динамічні процеси, які супроводжують рух контрейлерних платформ, завантажених автопоїздами. Як це передбачено правилами перевезень, автопоїзди вільно встановлюються на вантажних площадках платформ. Таким чином, під час руху залізницею відбувається динамічна взаємодія двох транспортних засобів – вагона-платформи та автопоїзда.

У розрахункових випадках, коли метою дослідження є динамічні показники контрейлерних вагонів у вертикальній площині, достатньо скористатися плоскою схемою системи «вагон-автопоїзд», що призводить до значного спрощення математичної моделі. Такі моделі дають змогу оцінити вплив на динамічні показники удосконалень у конструкціях спеціалізованих вагонів, зокрема таких, що стосуються параметрів жорсткості й демпфірування ресорного підвішування. Нижче подано описання математичної моделі, розробленої для досліджень вертикальних коливань вагона-платформи з автопоїздом.

Розрахункова схема платформи з установленими на ній тягачем і напівпричепом подана у вигляді механічної системи, всі тіла якої, крім платформи, приймаються твердими (рис. 1). Рама платформи подана у вигляді пружної безмасової балки, що несе сім зосереджених мас. Залізнична колія розглядається інерційною з пружно-дисипативними властивостями. Колія моделюється приведеною до кожного колеса масою, що переміщується вертикально і спирається на пружини та демпфери в'язкого тертя. Ці елементи моделюють пружно-дисипативними характеристики верхньої будови колії.

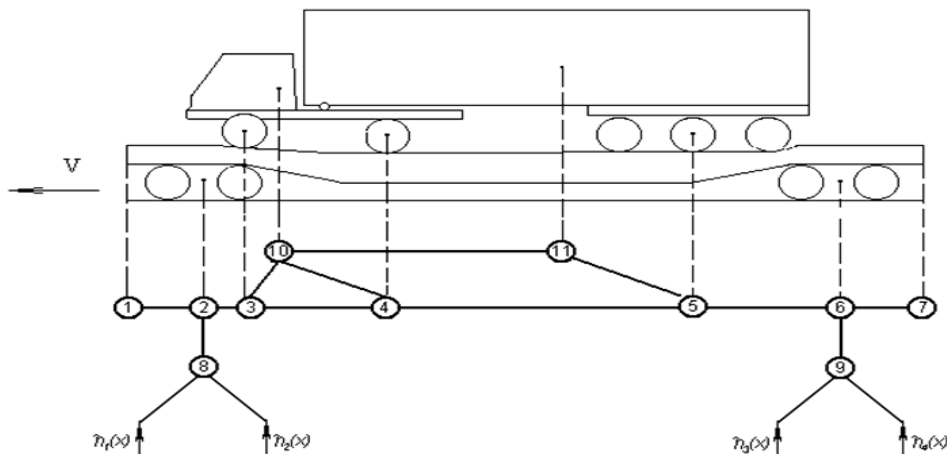


Рис. 1. Розрахункова схема платформи з автопоїздом
(η_i - збурення, що діють на колеса через нерівності колії)

На поданій на рис. 1 структурній схемі тілами 1...7 подано несівні елементи конструкції рами платформи, 8 і 9 – невідресорені маси візків, які об'єднують бокові рами та колісні пари,

10 і 11 – відповідно тягач і напівпричіп. Відстані між масами, що імітують платформу, визначаються таким чином:

$$\begin{aligned} l_{12} &= 0,5(L_f - L_b), \\ l_{23} &= d_a, \\ l_{34} &= d_{t1} + d_{t2}, \\ l_{45} &= d_t + d_n - d_{t2} + d_{n1}, \\ l_{56} &= L_n - d_t - d_n - d_{t1} - d_{n1} - d_a, \\ l_{67} &= l_{12}, \end{aligned} \quad (1)$$

де L_b – база платформи; L_f – довжина рами платформи; d_a – відстань у поздовжньому напрямку від центру мас візка до першого моста автопоїзда; d_t – відстані в поздовжньому напрямку від центру мас тягача до осі шворня сідлового пристрою; d_{t1} і d_{t2} – відстані в поздовжньому напрямку від центру мас тягача до першого і другого мостів, відповідно; d_n – відстані в поздовжньому напрямку від центру мас напівпричепа до осі шворня сідлового пристрою; d_{n1} – відстань у поздовжньому напрямку від центру мас напівпричепа до середини візка напівпричепа.

Знайдені довжини відрізків (1), маса рами платформи, а також жорсткості рами в даних перетинах є вхідними параметрами для визначення квазіпружних коефіцієнтів.

Зв'язки 1-2...6-7 – пружні, їхні параметри залежать від жорсткісних характеристик рами платформи. Зв'язками 3-10, 4-10 і 5-11 враховуються пружно-дисипативні властивості підвісок і коліс автопоїзда. За побудованою розрахунковою схемою, спирання автопоїзда на платформу здійснюється в місцях установлення мостів тягача та візка напівпричепа. Цим визначається розташування мас 3, 4, 5 на рамі платформи. З'єднання тягача з напівприцепом, здійснюване сідлово-зчіпним пристроєм із двома ступенями вільності, подано шарнірним зв'язком 10-11. Характеристики ресорного підвішування візків визначаються параметрами зв'язків 2-8 і 6-9. Жорсткість ресорного підвішування задається залежно від числа пружин у комплекті. Дисипативні властивості підвішування визначаються демпфірувальними характеристиками клинових гасителів коливань. Елементи O_1-8-O_2 і O_3-9-O_4 розрахункової схеми імітують пружно-дисипативні властивості верхньої будови колії.

При зроблених припущеннях конфігурація аналізованої системи визначається такими величинами: вертикальними переміщеннями – тягача z_t , напівпричепа z_n , семи мас z_i ($i = \overline{1,7}$), що імітують раму платформи, і двох візків z_{bj} ($j = \overline{1,2}$); кутами повороту відносно поперечних осей – тягача φ_t , напівпричепа φ_n і візків φ_{bj} ($j = \overline{1,2}$).

Узагальнені координати зазначеної системи обрано в такий спосіб:

$$\begin{aligned} q_1 &= z_t + z_n; \quad q_2 = z_t - z_n; \quad q_3 = d_t \varphi_t - d_n \varphi_n; \\ q_4 &= z_1; \quad q_5 = z_2; \quad q_6 = z_3; \quad q_7 = z_4; \\ q_8 &= z_5; \quad q_9 = z_6; \quad q_{10} = z_7; \\ q_{11} &= z_{b1}; \quad q_{12} = \varphi_{b1}; \quad q_{13} = z_{b2}; \quad q_{14} = \varphi_{b2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Рівняння руху платформи з автопоїздом у вертикальній площині отримано як рівняння Лагранжа II роду:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i \quad (i = \overline{1,14}),$$

де T , Π , Φ – кінетична, потенційна енергії і функція розсіювання енергії системи; Q – узагальнені сили, обумовлені взаємодією коліс з рейками, а також силами непружного опору в ресорному підвішуванні; q – узагальнені координати (2).

У даному разі кінетична енергія системи дорівнює сумі кінетичних енергій тягача, напівпричепа, двох візків і рами платформи (кожної з семи зосереджених мас). Потенційну енергію системи складають енергії накопичуваних деформацій в пружних елементах спираання автопоїзда на платформу, в ресорному підвішуванні, а також в рамі платформи як балки.

Дисипативні властивості зв'язків 3-10, 4-10 і 5-11, обумовлені відповідними характеристиками підвіски автопоїзда і шин, і моделюються в'язким опором. Зв'язки O_1-8-O_2 і O_3-9-O_4 мають пружно-в'язкі характеристики, що відбивають параметри взаємодії колісних пар з колією.

Для визначення функції розсіювання енергії у відповідних виразах для визначення потенційної енергії здійснюється заміна переміщень тіл відносними швидкостями. Щоб відбити в математичній моделі розсіювання енергії при коливаннях рами платформи, використано гіпотезу Фойгта. При цьому дисипативні коефіцієнти β_{ln} приймаються за такі, що дорівнюють відповідним квазіпружним коефіцієнтам c_{ln} з коефіцієнтом пропорційності γ :

$$\beta_{ln} = \gamma c_{ln} \quad (l = \overline{1,7}; \quad n = \overline{1,7}). \quad (3)$$

Виходячи з необхідності внесення відповідних змін у пристрій клинового гасителя коливань, основну увагу зосереджено на уточненні робочої моделі характеристик демпфірування ресорного підвішування. Для оцінки динамічних показників вагонів прийнята залежність сили тертя в клиновому гасителі коливань $F_{mp}^{n/p}$ від жорсткості $k_{кл}$ і прогину Δ підклинових пружин, кута α нахилу поверхні клина, що взаємодіє з надресорною балкою, коефіцієнта тертя ковзання f у вигляді [18]:

$$F_{mp}^{n/p} = \frac{k_{кл} \Delta}{\frac{1}{\tan \alpha \cdot f} \mp 1}. \quad (4)$$

За виразом силової характеристики (4), сили тертя, які діють у ресорному підвішуванні з клиновими гасителями коливань, залежать від величини прогину пружин, геометричних параметрів клинів і значень коефіцієнта тертя ковзання. Крім того, сили тертя, що діють при навантаженні ресорного підвішування, більші за сили при розвантаженні. Сили зазначеного типу діють у вузлах 2-8 і 6-9: сила F_{mp1} діє – у ресорних комплектах першого візка, а сила F_{mp2} – у ресорних комплектах другого візка.

Узагальнені сили, обумовлені непружним опором ресорного підвішування, дорівнюють:

$$\begin{aligned} Q_5 &= -F_{mp1}; \quad Q_9 = -F_{mp2}; \\ Q_{11} &= F_{mp1}; \quad Q_{13} = F_{mp2}. \end{aligned} \quad (5)$$

При динамічних розрахунках коливання тіл системи розглядаються щодо положення, що відповідає статичному прогину Δ_{cm} . Величина Δ_{cm} пропорційна статичному навантаженню Q_m , яке припадає на ресорні комплекти одного візка.

Статичні навантаження Q_{m1} і Q_{m2} для першого і другого візків обчислюються в такий спосіб:

$$Q_{m1} = g(0,5m_f + \Delta M_1 / l_{26});$$

$$\begin{aligned}
 Q_{m2} &= g(0,5m_f + \Delta M_2 / l_{26}); \\
 l_{26} &= l_{23} + l_{34} + l_{45} + l_{56}; \\
 \Delta M_1 &= m_t(l_{36} - d_{t1}) + m_n(l_{36} - d_{t1} - d_t - d_n); \\
 \Delta M_2 &= m_t(l_{23} + d_{t1}) + m_n(l_{23} + d_{t1} + d_t + d_n),
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

де g – прискорення вільного падіння; m_f – маса надресорної будови платформи. Вираз (6) дає змогу врахувати нерівномірність завантаження платформи автопоїздом.

За збурення η_i , що діють на колісні пари платформи у вертикальному напрямку, розглянуто періодичні функції, котрі описують так звані стикові нерівності колії. Форма стикового нерівності має вигляд:

$$\eta_i = \frac{d_n}{2} (1 - \cos \omega_n x) \quad (i = \overline{1,4}), \tag{7}$$

де d_n – глибина нерівності, що задається; ω_n – просторова частота, що визначається за формулою $\omega_n = 2\pi / l_n$ (l_n – довжина нерівності).

Для даної системи транспортне запізнення τ_i :

$$\tau_1 = 0; \quad \tau_2 = 2a/V; \quad \tau_3 = L_b/V; \quad \tau_4 = (L_b + 2a)/V,$$

де V – швидкість руху платформи.

Таким чином, спільні коливання платформи й автопоїзда у вертикальній поздовжній площині симетрії колії описуються системою нелінійних диференціальних рівнянь 28-го порядку, які у векторно-матричній формі мають вигляд:

$$M\ddot{q} + B\dot{q} + Cq = Q, \tag{8}$$

де M , B , C – матриці інерційних, дисипативних і квазіпружних коефіцієнтів; q – вектор узагальнених координат; Q – вектор узагальнених сил.

Результати динамічних розрахунків. Чисельне інтегрування одержаних рівнянь (8) здійснене за програмою, яка реалізує алгоритм, побудований на основі методу Адамса-Башфорта з розгоном за методом Рунге-Кутта 4-го порядку. Ця комп'ютерна програма дає змогу отримувати повний спектр величин, які цілком характеризують вертикальну динаміку платформи, завантаженої автопоїздом.

Практичний інтерес становлять розрахункові варіанти, пов'язані зі зміною основних параметрів ресорного підвішування, як-от: величини коефіцієнта тертя ковзання пари клин-фрикційна планка і жорсткості пружинних комплектів. За об'єкт досліджень прийнято платформу для комбінованих перевезень моделі 13-4095. Розглянуто два варіанти завдання значень жорсткості ресорного підвішування візка k_B : вихідне значення $k_B = 5700$ кН/м, і зменшене – $k_B = 3700$ кН/м. Цим значенням жорсткості підвішування відповідають такі значення жорсткості підклинових пружин: $k_{кл} = 2280$ кН/м і $k_{кл} = 1480$ кН/м. Перший варіант відповідає випадку, коли ресорний комплект складають п'ять дворядних пружин. У другому варіанті вважаємо, що працюють тільки зовнішні пружини. В обох варіантах зміни жорсткостей варіювалося значення коефіцієнта тертя ковзання. Значення f приймалися за такі, що дорівнюють 0,05, 0,1, 0,2, 0,3.

При дослідженнях вимушених вертикальних коливань платформи з автопоїздом задавалися стикові нерівності колії з такими значеннями параметрів: глибина нерівності $d_n = 0,01$ м; довжина $l_n = 3,0$ м; відстань між сусідніми нерівностями $L_R = 25,0$ м. У розрахунках розглянуто діапазон швидкостей руху $V = 30 \dots 120$ км/год.

Як відомо, динамічні показники безпеки руху вантажних поїздів визначаються головним чином динамічними властивостями порожніх вагонів. Оскільки контейнерні поїзди за аналогією з маршрутними поїздами в одному із визначених напрямків можуть рухатися у порожньому стані або з порожніми автопоїздами, то порожній режим стає основою розрахункових варіантів для оцінки умов безпеки руху.

Результати досліджень вертикальної динаміки платформи з автопоїздом отримано у вигляді залежностей динамічних показників від швидкості руху. Як основні показники розглянуто прискорення рами платформи, сили в ресорному підвішуванні, прискорення напівпричепа і сили в системі спирання напівпричепа на платформу, яка містить підвіску і колеса. На рис. 2 наведено графіки залежностей прискорень рами платформи $\ddot{z}$ від швидкості руху V при різних значеннях коефіцієнта тертя ковзання f .

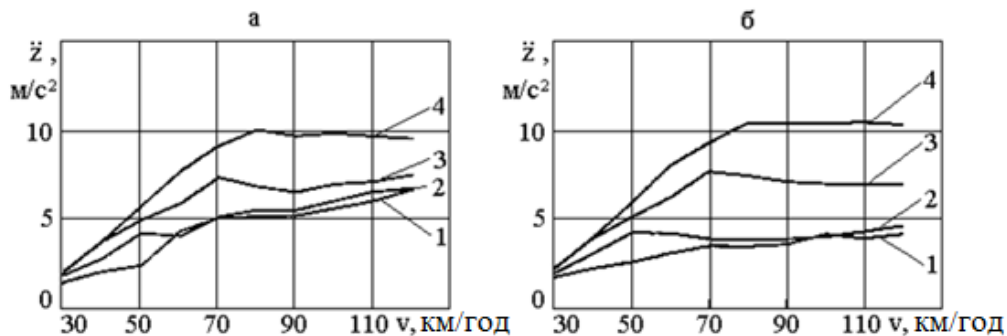


Рис. 2. Прискорення платформи при вихідній (а) і зменшеній (б) жорсткості підвішування (1 – $f = 0,05$; 2 – $f = 0,1$; 3 – $f = 0,2$; 4 – $f = 0,3$)

З рис. 2,а видно, що при значеннях $f = 0,05$ і $0,1$ прискорення платформи мають найбільш низький рівень і при швидкостях руху до 100 км/год не перевищують гранично припустиме значення $0,7$ g [19]. Збільшення f призводить до підвищення рівня прискорень. При $f = 0,2$ прискорення платформи досягають граничного рівня при $V = 70$ км/год, а при $f = 0,3$ значення $\ddot{z}$ перевищують величину, що допускається, при $V = 60$ км/год. У випадку, коли в розрахунках приймається знижене значення жорсткості ресорного підвішування (див. рис. 2б), при $f = 0,05$ і $0,1$ відзначається зниження рівня прискорень платформи порівняно з вихідним розрахунковим варіантом. При $f = 0,2$ і $0,3$ залежності $\ddot{z}(V)$ аналогічні однойменним залежностям, описаним для першого варіанта.

Що стосується динамічних додатків сил F_{II} , які діють у ресорному підвішуванні, то з результатів розрахунків випливає, що вони меншою мірою залежать від значень f . Проте зниження жорсткості пружин призводить до помітного зменшення сил F_{II} .

Результати виконаних розрахунків доводять, що віброзахисні якості ресорного підвішування платформи менше впливають на прискорення автопоїзда, рівень яких не перевищує $1,4$ m/s^2 . Цей висновок ще раз підтверджує правильність прийнятого рішення про вільне встановлення автопоїздів на платформах, завдяки чому автомобільна підвіска набуває здатності активно амортизувати збурення, що передаються на колеса автопоїзда від платформи.

Крім розрахунків динамічних показників платформи з незавантаженим напівприцепом автопоїзда, розглянуто також розрахункові варіанти його повного завантаження. Аналіз отриманих результатів розрахунків для завантаженого режиму показав, що залежності $\ddot{z}(V)$ і

F_{II} (V) подібні до аналогічних залежностей, одержаних для випадку встановлення на платформу порожнього напівпричепа. Проте, за чисельними значеннями зазначені залежності відрізняються. Причому ця відмінність посилюється із зростанням значень коефіцієнта тертя.

Розрахунки доводять, що прискорення завантаженого напівпричепа приблизно вдвічі нижчі порівняно з прискореннями порожнього напівпричепа. Рівень цих прискорень не перевищує $0,6 \text{ м/с}^2$. Сили в підвісці завантаженого напівпричепа максимум у 1,5 рази вищі, ніж у порожньому режимі.

Висновки. Результати дослідження динамічної взаємодії контрейлерної платформи і встановленого на ній автопоїзда дозволили довести доцільність прийнятого рішення про вільну установку автопоїзда на платформі, завдяки чому автомобільна підвіска одержує можливість активно амортизувати збурення, що передаються на колеса автопоїзда від платформи.

Виходячи з нормативних оцінок динамічних показників вантажних вагонів, за розрахунковими даними можна константувати, що варіант вибору найменших із розглянутих значень коефіцієнта тертя f і жорсткості підвішування забезпечує відмінний хід платформи з порожнім автопоїздом в усьому розглянутому діапазоні швидкостей руху 30...120 км/год. Дещо гірше оцінюється динаміка платформи у випадку, коли $f = 0,1$, а жорсткість підвішування відповідає вихідному значенню. Що стосується інших варіантів вибору параметрів підвішування, то при $f = 0,2$ максимально допустима швидкість руху повинна скласти 70 км/год, а при $f = 0,3$ – 60 км/год.

ЛІТЕРАТУРА

1. Diomin Ju., Slobodian A. Technika kolejowa kombinowanego transportu Ukrainy // Problemy kolejnictwa. Warszawa. 2012. Zeszyt 156. S. 5-15.
2. Лучникова Т., Марченко О. Сучасний стан локомотивного господарства залізниць України // *Зб. наук. праць Держ. економіко-технол. ун-ту транспорту. Серія «Економіка і управління»*. 2016. Вип. 36. С. 122-129.
3. Сапронова С. Ю., Буліч Д. І., Ткаченко В. П. Стан парку вантажних вагонів України і методи їх діагностування // *Проблеми розвитку транспорту і логістики* : VII Міжнародна науково-практична конференція, 26-28 квітня 2017 р. : зб. наук. праць. Северодонецьк-Одеса, 2017. С. 108-110.
4. Дємин Ю. В., Маркова О. М., Хачапуридзе Н. М. Основатель украинской научной школы механиков в области железнодорожного транспорта // *Залізнич. трансп. України*. 2019. № 4. С. 53–56.
5. Ушкалов В. Ф., Лашко А. Д., Мокрий Т. Ф. Модернизация тележек грузовых вагонов как вариант обновления ходовых частей грузового подвижного состава // *Вестник ВНИИЖТ*. 2013. № 5. С. 8-15.
6. Ушкалов В. Ф., Мокрий Т. Ф., Малышева И. Ю., Безрукавый Н. В.. Усовершенствование ходовых частей перспективного грузового вагона // *Техн. механіка*. 2017. № 4. С. 79-88.
7. Burdzik R., Nowak B., Rozmus J., Słowiński P., Pankiewicz J. Safety in the railway industry // *Archives of Transport*. 2017. 44(4). P. 15-24.
8. Chudzikiewicz A., Drożdżel J., Sowiński B. The influence of wheel and rail rolling surfaces wear on railway vehicle dynamics // *Proc. of CSME Forum. The University of Western Ontario, Canada. June 1-4, 2004*. P. 945-954.
9. Domin R., Domin Iu., Cherniak G., Mostovych A., Konstantidi V., Gryndei P. Investigation of the Some Problems of Running Safety of Rolling Stock on the Ukrainian Railways // *Archives of Transport*. 2016. 40(4). P. 79-91.
10. Kardas-Cinal E. Selected problems in railway vehicle dynamics related to running safety // *Archives of Transport*. 2013. 31(3). P. 37-45.
11. Molatefi H., Mazraeh A. On the investigation of wheel flange climb derailment. Mechanism and methods to control it // *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 2016. 54(2). P. 541-550.
12. Iwnicki S., Stichel S., Orlova A., Hecht M. Dynamics of railway freight vehicles // *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*. 2015. Vol. 53. P.1-39.
13. Malcolm C. Design of passive vehicle suspensions for maximal least damping ratio // *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*. 2016. Vol. 54. Iss. 5. P. 568-584. DOI: 10.1080/00423114.2016.1145242
14. Caihong Huang, Jing Zeng, Guangbing Luo, Huailong Shi. Numerical and experimental studies on the car body flexible vibration reduction due to the effect of car body-mounted equipment // *Proc IMechE Part F: J Rail and Rapid Transit*. 2018. 232(1). P. 103-120. DOI: 10.1177/0954409716657372
15. Benini C., Gadola M., Chindamo D., Uberti S., Marchesin F., Barbosa R. The influence of suspension components friction on race car vertical dynamics // *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*. 2017. Vol. 55. Iss. 3. P. 338-350. DOI: 10.1080/00423114.2016.1267370
16. Testing and Approval of Railway Vehicles from the Point of View of their Dynamic Behaviour : Safety – Track fatigue – Ride quality : UIC Code 518. – International Union of Railways. September 2009. 119 p.

17. Railway applications – Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles – Testing of running behaviour and stationary tests : European Standard 14363. June 2005. 113 p.
18. Дьомін Ю. В. Залізнична техніка міжнародних транспортних систем (вантажні перевезення). К.: «Юнікон-Прес», 2001. 342 с.
19. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. 154 с.

REFERENCES

1. Diomin Ju., Slobodian A. Technika kolejowa kombinowanego transportu Ukrainy [Railway technique of combined transport of Ukraine] // Railway problems. Warsaw. 2012. Issue 156. S. 5-15 [in Polish].
2. Luchnikova T., Marchenko O. Suchasnyy stan lokomotyvnoho hospodarstva zaliznyts' Ukrainy [The current state of the locomotive economy of the railways of Ukraine] // Zb. nauk. prats' Derzh. ekonomiko-tekhno. un-tu transportu. Seriya «Ekonomika i upravlinnya». 2016. Vyp. 36. P. 122-129 [in Ukrainian].
3. Sapronova S.Yu., Bulich D.I., Tkachenko V.P. Stan parku vantazhnykh vahoniv Ukrainy i metody yikh diahnostuvannya [State of the freight wagons park of Ukraine and methods of their diagnosis] // Problemy rozvytku transportu i lohistyky : VII mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya, 26-28 kvitnya 2017 r. : zb. nauk. prats'. Syevyeronodons'k-Odesa, 2017. S. 108-110 [in Ukrainian].
4. Domin Yu. V., Markova O. M., Khachapuridze N. M. (2019). Osnovatel' ukrainskoy nauchnoy shkoly mekha-nikov v oblasti zheleznodorozhnogo transporta [Founder of the Ukrainian scientific school of mechanics in the field of railway transport], *Zaliznich. transp. Ukrainy*, 4, 53–56 [in Russian].
5. Ushkalov V. F., Lashko A. D., Mokriy T. F. (2013). Modernizatsiya telezhek gruzovykh vagonov kak variant obnoveniya khodovykh chastey gruzovogo podvizhnogo sostava [Modernization of freight wagon trolleys as an option for updating the running gear of freight rolling stock], *Vestnik VNIIZhT*, 5, 8-15 [in Russian].
6. Ushkalov V. F., Mokriy T. F., Malysheva I. Yu., Bezrukavy N. V. (2017). Usovershenstvovaniye khodovykh chastey perspektivnogo gruzovogo vagona [Improvement of running parts of a promising freight car], *Tekhn. Mekhanika*, 4, 79-88 [in Russian].
7. Burdzik R., Nowak B., Rozmus J., Słowiński P., Pankiewicz J. (2017). Safety in the railway industry, *Archives of Transport*, 44(4), 15-24.
8. Chudzikiewicz A., Drożdżel J., Sowiński B. (2004). The influence of wheel and rail rolling surfaces wear on railway vehicle dynamics, *Proc. of CSME Forum. The University of Western Ontario, Canada*, 1-4, 945-954.
9. Domin R., Domin Iu., Cherniak G., Mostovych A., Konstantidi V., Gryndei P. (2016). Investigation of the Some Problems of Running Safety of Rolling Stock on the Ukrainian Railways, *Archives of Transport*, 40(4), 79-91.
10. Kardas-Cinal E. (2013). Selected problems in railway vehicle dynamics related to running safety, *Archives of Transport*, 31(3), 37-45.
11. Molatefi H., Mazraeh A. (2016). On the investigation of wheel flange climb derailment. Mechanism and methods to control it, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 54(2), 541-550.
12. Iwnicki S., Stichel S., Orlova A., Hecht M. (2015). Dynamics of railway freight vehicles, *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 53(7), 1-39.
13. Malcolm C. (2016). Design of passive vehicle suspensions for maximal least damping ratio, *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 54(5), 568-584. DOI: 10.1080/00423114.2016.1145242
14. Caihong Huang, Jing Zeng, Guangbing Luo, Huailong Shi. (2018). Numerical and experimental studies on the car body flexible vibration reduction due to the effect of car body-mounted equipment, *Proc IMechE Part F: J Rail and Rapid Transit*, 232(1), 103-120. DOI: 10.1177/0954409716657372
15. Benini C., Gadola M., Chindamo D., Uberti S., Marchesin F., Barbosa R. (2017). The influence of suspension components friction on race car vertical dynamics, *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 55(3), 338-350. DOI: 10.1080/00423114.2016.1267370
16. Testing and Approval of Railway Vehicles from the Point of View of their Dynamic Behaviour : Safety – Track fatigue – Ride quality : UIC Code 518. – International Union of Railways. September 2009. 119 p.
17. Railway applications – Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles – Testing of running behaviour and stationary tests : European Standard 14363. June 2005. 113 p.
18. Domin Yu.V. Zaliznychna tekhnika mizhnarodnykh transportnykh system (vantazhni perevezennya) [Railway equipment of international transport systems (freight transportation)]. K.: «Yunikon-Press», 2001. 342 s.
19. Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh) [Standards for the calculation and design of railroad cars of railways of the Ministry of Railways of 1520 mm gauge (non-self-propelled)]. – M.: GosNIIV-VNIIZHT, 1996. – 154 s.

Юрій Демин, д.т.н.

(профессор кафедры железнодорожного, автомобильного транспорта и подъемнотранспортных машин, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля),

Ростислав Демин, д.т.н.

(член правления компании Domin Rail Sp. z o.o.),

Анна Черняк, к.т.н.

(старший научный сотрудник кафедры железнодорожного, автомобильного транспорта и подъемно-транспортных машин, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля)

ДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОНТРЕЙЛЕРНОЙ ПЛАТФОРМЫ И АВТОПОЕЗДА

В статье представлена математическую модель совместных колебаний вагона-платформы для контрейлерных перевозок и автопоезда. По результатам компьютерного моделирования получены показатели вертикальной динамики контрейлерной платформы в зависимости от жесткости и характеристик демпфирования колебаний. Определено влияние изменения параметров рессорного подвешивания на динамическое взаимодействие платформы и автопоезда.

Ключевые слова: контрейлерные перевозки, вагон-платформа, автопоезд, вертикальная динамика, математическое моделирование, динамические показатели.

Yurii Domin, DSc.

(Professor of the Department of Rail, Road Transport and Lifting and Transport Machines, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University),

Rostislav Domin, DSc.

(Member of the Director Board of Domin Rail Sp. z oo),

Anna Chernyak, Ph.D.

(Senior Research Fellow, Department of Rail, Road Transport and Lifting and Transport Machines, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University)

DYNAMIC INTERACTION OF THE PIGGYBACK PLATFORM AND SEMI-TRAILER TRUCK

The article presents a mathematical model of joint oscillations of the car-platform for piggyback transportations and semi-trailer truck. Considered forced oscillations of the investigated object in the vertical plane of symmetry. Built a design scheme of the platform with mounted on it with a tractor and trailer system are presented in the form of a mechanical system, all bodies which, in addition platform, accept hard. The supporting structure of the platform is presented in the form of elastic massless beams carries seven lumped masses. A railway track is considered inertial with elastic-dissipative properties. In the simulation work for suspension updated power characteristic of the friction damper. As disturbances acting on the wheelset of the platform, considered butt roughness of the track. According to the results of computer simulation obtained measurements of vertical dynamics, piggyback platforms depending on the stiffness and characteristics of the oscillations damping. The obtained data dynamic calculations allowed us to estimate the schemes of fastening of a semi-trailer truck and to determine the influence on the dynamic indexes of changes in the stiffness of the spring suspension and the coefficient of friction relative to wedge the damper through adjustment of a spring set. Proved the feasibility of the decision on the free installation of the train on the platform, allowing automotive suspension gets the opportunity to actively damping the perturbations transmitted to the wheels of the road train from the platform.

Keywords: piggyback, flat wagon, train, vertical dynamics, mathematical modeling, dynamic performance.

УДК 629.463.67

Олексій Кошель, аспірант

(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)

Світлана Сапронова, д.т.н., проф.

(доктор технічних наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій)

Дмитрій Буліч, аспірант

(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)

Ткаченко Віктор, д.т.н., проф.

(доктор технічних наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій)

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ НЕСУЧИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАГОНІВ ХОПЕР-ДОЗАТОРІВ ТА ДУМПКАРІВ (САМОСКІДІВ) НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ТИПОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

В статті проведено дослідження залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) на основі результатів технічного діагностування та типових випробувань. Проведено аналіз співвідношення фактичних товщин хребтової балки вагонів до номінальних значень. Визначено ймовірні місця виникнення типових дефектів у вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів). Отримані практичні та теоретичні результати дають змогу розробити комплекс заходів для оцінки залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів).

Ключові слова: залишковий ресурс, хопер-дозатор, думпкар (самоскид), технічне діагностування, типові випробування, експлуатаційні характеристики, несучі конструкції.

Вступ. На теперішній час більше 80% вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) власності АТ «Укрзалізниця» використовуються за межами призначеного терміну служби заводом-виробником та мають подовжений термін служби. В більшості випадків термін служби вагонів вже перевищив полуторний, а в деяких – і подвійний термін експлуатації призначений заводом-виробником. У зв'язку з відсутністю можливості АТ «Укрзалізниця» своєчасно оновлювати вагонний парк, який вислужив призначений термін служби, виникає потреба у визначенні залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій (далі – НМК) рухомого складу.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Ресурс (техніка) – наробіток пристрою (механізму) від початку його експлуатації або після ремонту і до досягнення їм граничного стану, який визначається нормативно-технічною документацією [12]. Для різних механізмів ресурс може виражатися в різних одиницях вимірювання, наприклад, в годинах роботи, кілометрах пробігу, роках, тощо.

Залишковий ресурс – сумарний наробіток, що прогнозується за результатами технічного діагностування обладнання, від початку контролю його технічного стану до переходу у граничний стан. В наукових дослідженнях [2, 3, 13] розглянуто загальні принципи визначення залишкового ресурсу вантажних вагонів.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-2

Особливості визначення залишкового ресурсу вагоповірочних вагонів на базі вантажних вагонів наведені в дослідженні [4].

В роботі [1] запропоновано проведення модернізації, яка дозволить подовжити термін служби вагон-зерновоза та підвищити опір динамічним зусиллям, що діють на раму кузова вагона. Робота включає дослідження місць і причин виникнення тріщин, а їх результат став основою запропонованої модернізації рами вагона.

Прогнозуванню залишкового ресурсу вагона хопер-дозатора приділено увагу у роботі [5]. Головну увагу в даній роботі присвячено відбиранню зразків з металевих несучих конструкцій й проведення дослідження хімічного складу та фізико-механічних характеристик відібраного матеріалу.

Дослідження міцності кузова напіввагона з урахуванням його конструктивного нововведення для перевезення поромом наведено в статті [7].

В роботі [6] розглянуто шляхи вдосконалення металевих конструкцій напіввагонів та збільшення їх терміну служби.

В більшості перерахованих наукових публікаціях досліджується збільшення строку експлуатації різних типів вантажних вагонів шляхом удосконалення їх конструктивних властивостей [14, 15].

Дослідження залишкового ресурсу вантажних вагонів в Україні проводиться філією «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» публічного акціонерного товариства «Українська залізниця». Але методики цих досліджень ґрунтуються на проведенні стендових ресурсних випробувань та підготовці рекомендацій з продовження строку служби вантажних вагонів без достатнього наукового обґрунтування.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є визначення залишкового ресурсу НМК вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів).

Завданням дослідження є проведення аналізу технічного діагностування та типових випробувань та надання рекомендацій для подальшого наукового дослідження питань визначення залишкового ресурсу НМК вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів).

Технічне діагностування – дослідження залишкового ресурсу та обґрунтування можливості подовження експлуатації вантажних вагонів після закінчення призначеного заводом-виробником терміну служби (виявлення пошкоджень деталей і вузлів в експлуатації, механічного або корозійного зносу, залишкових деформацій, тріщин, контроль товщини стінок несучих елементів кузова та рами), призначення необхідного для цього виду й обсягу ремонту або виключення.

Типові (контрольні) випробування – експериментальна перевірка відповідності показників міцності конструкції вагона вимогам діючим нормативним документам, які включають: статичні випробування на міцність від дії вертикального навантаження; скидання з клинів; ресурсні випробування на міцність при зіткненні. Для НМК вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) такої методики не існує.

Матеріали та методи дослідження. Найбільш поширеними вагонами, які використовуються в колійному господарстві є ваони хопер-дозатори та думпкери (самоскиди).

Хопер-дозатор (рис. 1,а) – транспортний засіб для перевезення, механізованого розвантаження, укладки на колію, дозування і розрівнювання баласту при побудові, ремонті і поточному утриманні залізничної колії. Кузов хопер-дозатора суцільнометалевий бункерного типу, має 4 розвантажувальні пристрої з кришками, а також дозуючий пристрій. Рама дозуючого пристрою при розвантаженні знаходиться над поверхнею колії на висоті, що рівна товщині баластного шару. Управління дозуючим і розвантажувальними пристроями здійснюється пневмосистемою. Під час руху хопер-дозатора кришки відкриваються пневмоциліндрами, вантаж висипається і розрівнюється рамою дозатора шаром заданої товщини. Експлуатаційні характеристики вагона: конструкційна швидкість 120 км/год, вантажопідйомність 60 т, максимальне розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейку 210 кН, термін служби, призначений заводом-виробником, 25 років.

Думпкари (самоскиди) (рис. 1,б) є спеціалізованим рухомим складом і від інших вагонів вантажного парку відрізняються будовою кузова та наявністю спеціалізованого обладнання для його нахилу під час розвантаження.

Думпкар (самоскид) призначений для перевезення та механізованого розвантаження сипучих вантажів та щебіню із щільністю 1,7...2,0 т/м³ та являє собою суцільнометалеву зварну конструкцію з кузовом, здатним нахилитись на певні кути, та бортами, що відкриваються вниз, для розвантаження. Конструкція несучих елементів кузова розрахована на навантаження масою 2-2,5 т з висоти до 2 м на кузов, що покритий мілким вантажем. При нахилі кузова за допомогою пневматичних циліндрів розвантаження здійснюється у будь-який бік залізничної колії.

Експлуатаційні характеристики вагона: конструкційна швидкість 120 км/год, вантажопідйомність 60 т, максимальне розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейку 212,7 кН, термін служби призначений заводом-виробником 22 роки.

Скидання з клинів – оцінка власних частот коливань та динамічних напружень в елементах НМК рами і кузова вагона. Залежно від кількості використаних клинів і місця їх розташування під відповідними колесами вагона визначають види коливання при проході і скиданні вагона з клинів.

Ресурсні випробування на міцність при зіткненні – визначення і оцінка динамічних напружень і деформацій в НМК рами та кузова вагона при прикладанні нормативних ударних сил через автозчепне обладнання.

Випробування на співудар проводяться шляхом накочування локомотивом вагона-бойка на дослідний вагон, який знаходиться в підпертому та вільному станах. Співудари при типових випробуваннях проводяться за швидкостями, які указані в таблиці 1.



Рис. 1. Загальний вигляд вантажного вагона: а) хопер-дозатор; б) думпкар (самоскид)

Таблиця 1. Кількість співударів вагона в кожному стані

Діапазон швидкості зіткнення, км/год	Кількість співударів	
	Підпертий стан	Вільний стан
Від 3 до 6 вкл.	3	3
Від 6 до 10 вкл.	3	3
Від 10 до 12 вкл.	1	1

Статичні випробування на міцність – визначення напруженого стану, деформацій, стійкості елементів конструкції кузова, рами вагона та рами візка з реально наявними товщинами на період обстеження при дії статично прикладеного навантаження.

На рис. 2 та 3 наведено схеми установки тензорезисторів на рами хопер-дозатора та думпкара (самоскида) відповідно при проведенні контрольних випробувань.

На підставі проведення технічного діагностування та типових випробувань визначається можливість встановлення нового призначеного терміну служби вагонів.

Обчислюється фактична швидкість корозії:

$$V_{кор} = \frac{S_{ном} - S_{ф}}{T} \text{ мм/рік}, \quad (1)$$

де $S_{ном}$ – номінальна товщина елемента, мм;

$S_{ф}$ – фактична товщина елемента конструкції за результатами вимірювань, мм;

T – термін служби вагона до моменту проведення вимірювань, років.

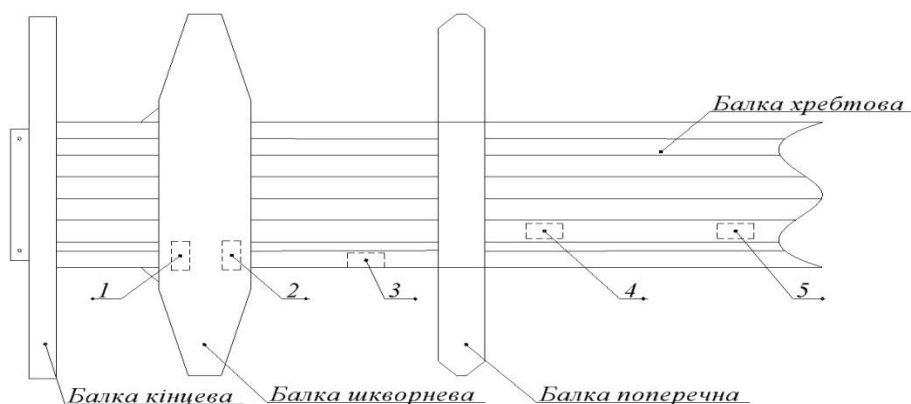


Рис. 2. Схема встановлення тензорезисторів на несучих металевих конструкціях хопер-дозатора

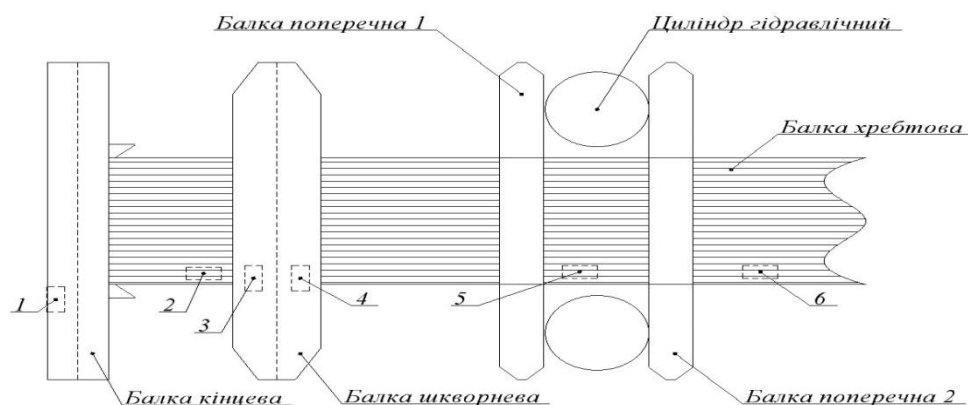


Рис. 3. Схема встановлення тензорезисторів на несучих металевих конструкціях думпкара

Залишковий термін служби визначається за формулою:

$$T_3 = \frac{S_{ф} - S_{min}}{V_{кор}} \text{ років}, \quad (2)$$

де S_{min} – мінімально допустима товщина елемента за умовами міцності та стійкості, мм.

В табл. 2 на основі проведених робіт з технічного діагностування вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) проведено аналіз років побудови та фактичної товщини вертикальної стінки хребтової балки. Номінальна товщина вертикальної стінки хребтової балки вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) становить $S_{ном} = 9,0 \text{ мм}$.

Для визначення залишкового терміну служби вагонів з табл. 2 підставляємо середні значення до залежностей (1) та (2) та отримуємо для вагона хопер-дозатора $T_z = 14,3 \text{ роки}$, для вагона думпкара (самоскида) $T_z = 22,5 \text{ років}$.

Таблиця 2. Аналіз фактичних років побудови та товщини вертикальної стінки хребтової балки вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) на основі результатів технічного діагностування

№ з/п	Хопер-дозатор		Думпкар (самоскид)	
	T , років	S_ϕ , мм	T , років	S_ϕ , мм
1	2	3	4	5
1	39	7,3	31	7,7
2	39	7,1	31	7,8
3	45	7,3	31	7,5
4	46	7,2	31	7,7
5	46	7,0	31	7,6
6	46	7,1	32	7,5
7	46	7,0	32	7,3
8	51	6,9	32	7,4
9	53	6,8	33	7,1
10	55	6,5	33	7,1
11	55	6,8	33	7,3
12	55	6,7	33	7,2
13	55	6,8	33	7,4
14	55	6,7	33	7,2
15	56	6,6	33	7,3
Середнє значення	49,5	6,9	32,1	7,4

Залишковий ресурс встановлюється по одному з мінімальних розрахункових значень, отриманих за математичною залежністю для розрахунку залишкового терміну служби. Якщо за результатами розрахунків виявиться, що ресурс вичерпаний, то залишковий термін служби визначається за результатами стендових випробувань на втому.

При визначенні залишкового ресурсу під час типових випробувань проводиться оцінка показників запасу опору втомі з врахуванням напруження несучих конструкцій вагона під час випробувань.

Оцінку запасу опору втомі проведено таким чином:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \geq [n], \quad (3)$$

де $\sigma_{a,N}$ – границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі в разі симетричного циклу та сталого режиму навантаження на базі випробування $N_0 = 10^7$ циклів, МПа;

$\sigma_{a,e}$ – розрахункове значення амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, приведенного до бази N_0 , еквівалентне за пошкоджуваною дією реальному режиму експлуатаційних випадкових напружень протягом проектного терміну служби, МПа;

$[n]$ – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі.

Розрахункове значення границі витривалості визначається за формулою

$$\sigma_{a,N} = \overline{\sigma_{a,N}} \times (1 - z_p \times g_{\sigma_{a,N}}), \quad (4)$$

де $\overline{\sigma_{a,N}}$ – середнє (медіанне) значення границі витривалості дослідного зразка;
 $z_p = 1,645$ – квантиль розподілу, що відповідає односторонній ймовірності $P = 0,95$;
 $g_{\sigma_{a,N}} = 0,5$ – коефіцієнт варіації границі витривалості.

$$\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{\overline{\sigma_{-1}}}{(K_\sigma)_K}, \quad (5)$$

де $\sigma_{-1} = 225 \text{ МПа}$ – границя витривалості;
 $(K_\sigma)_K$ – значення загального коефіцієнта зниження границі витривалості натурної деталі.

$$\sigma_{a,e} = \sqrt[m]{\frac{N_c}{N_0} \times \sum \sigma^m P}, \quad (6)$$

де $N_0 = 10^7$ – базова кількість циклів;
 m – показник ступеню в рівнянні кривої втоми у амплітуді;
 N_c – сумарна кількість циклів динамічних напружень на розрахунковий термін служби.
 Приймається фактичний термін служби;
 $\sigma^m P$ – значення рівня напружень з урахуванням її масової долі під час експлуатації.

$$m = \frac{A}{(K_b)_k}, \quad (7)$$

де A – коефіцієнт згідно з [8];
 $(K_b)_k$ – середнє значення загального коефіцієнта зниження границі витривалості натурної деталі по відношенню до границі витривалості гладкого стандартного зразка;
 m – визначається згідно з [8].

$$N_c = g_e \times T_p, \quad (8)$$

де T_p – сумарний час дії динамічних напружень.

$$T_p = B \times T_K, \quad (9)$$

де B – коефіцієнт переводу календарного розрахункового строку служби у роках в час неперервного руху в секундах;
 T_K – фактичний сумарний час дії динамічних напружень.

$$g_e = \frac{a}{2\pi} \times \sqrt{\frac{g}{f_{CT}}}, \quad (10)$$

де a – коефіцієнт для рами кузова вагона [8];

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2;$$

f_{CT} – статичний прогин підвищення.

$$B = 365 \times \frac{10^3 \overline{L_C}}{\overline{V}}, \quad (11)$$

де $\overline{L_C}$ – середньодобовий пробіг вантажного вагона, який досліджується;

$\overline{V}$ – середня швидкість вагона, який досліджується, км/год.

Розрахункові значення n – коефіцієнта запасу опору втомі у дослідних місцях вагону згідно з [8] приведено у таблиці 3.

Таблиця 3. Розрахункові значення n у дослідних місцях вагона

Номер каналу	Вагон хопер-дозатор			Вагон думпкар (самоскид)		
	$\sigma_{a,N}$, МПа	$\sigma_{a,e}$, МПа	n	$\sigma_{a,N}$, МПа	$\sigma_{a,e}$, МПа	n
1	6,56	17,73	8,97	5,47	35,48	7,20
2	22,64	73,72	2,20	2,93	40,36	8,55
3	18,72	77,45	2,61	2,22	21,65	14,46
4	33,48	233,91	1,38	10,16	36,22	5,44
5	30,93	128,28	1,55	13,57	76,34	3,25
6	29,04	89,66	1,94	26,54	161,07	1,63
7	17,82	200,21	1,58	10,63	55,09	4,37
8	36,61	164,34	1,54	7,74	24,62	7,34
9	4,69	82,48	4,37	1,12	20,83	18,12
10	9,42	41,36	5,12	19,58	79,33	2,67

За отриманими результатами зниження коефіцієнту запасу опору втомі до мінімального рекомендованого відповідає термін служби для вагонів хопер-дозаторів щонайменше 65,5 років, а для вагонів думпкарів (самоскидів) 55,5 років.

Результати технічного діагностування вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) за період 2016-2019 рр. наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Статистичний аналіз технічного діагностування хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) за 2016-2019 рр.

№ з/п	Тип вантажного вагона	Кількість продіагностованих вагонів за 2016-2019 рр., од.	Кількість виявлених дефектів за 2016-2019 рр., од.	Співвідношення виявлених дефектів до продіагностованих вагонів, %
1	Хопер-дозатор	1173	186	15,9
2	Думпкар (самоскид)	620	65	10,5

За результатами технічного діагностування вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) було проведено поглиблений аналіз виконаних робіт та систематизовано типові дефекти, що дало змогу виявити послаблення в НМК вагонів, які на даний час діючими нормативними документами АТ «Укрзалізниця» усувати заборонено та такі вагони повинні підлягати виключенню з інвентарного парку.

Висновки. За результатами проведених досліджень, було визначено, що стан несучих металевих конструкцій вагонів після тривалої експлуатації не наближається до граничного.

Після проведення аналізу експлуатаційних характеристик вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) встановлено, що їхній середньодобовий пробіг не перевищує 42 км, а швидкість – 18 км/год, тобто дані показники на +70% менші ніж проектні.

Таким чином, отримані практичні та теоретичні результати дають можливість розробити науково-обґрунтовану методику оцінки залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вантажних вагонів, які експлуатуються на залізницях України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін, О.В., Прокопенко, П.М., Горбунов, М.І., Сапронова, С.Ю. Поліпшення несучої здатності вагона-хопера для перевезення зерна з метою підвищення опору динамічним зусиллям. *Вісник СНУ ім. В.Даля. Сєверодонецьк*: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2017. №5[235]. С. 88-99.
2. Сапронова, С.Ю., Кошель, О.О., Ткаченко, В.П., Буліч, Д.І., Радкевич, М.М. Аналіз методів подовження терміну служби вантажних вагонів. *Транспортні системи і технології*. Київ: Вид-во ДУІТ, 2019, Том 1, №33. С. 118-129.
3. Сапронова, С.Ю., Буліч, Д.І., Ткаченко, В.П. Продовження терміну експлуатації вантажних вагонів. *Вісник СНУ ім. В.Даля. Сєверодонецьк*: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2017. №3[233]. С. 158–162.
4. Фомін, О.В., Прокопенко, П.М., Горбунов, М.І., Сова, С.С. Особливості визначення залишкового ресурсу вагопівірочних вагонів з терміном служби, який перевищує призначений. *Транспортні системи і технології*. Київ: Вид-во ДУІТ, 2019, №34. С. 95-105.
5. Kanavalau, Y., Putsiata, A. Evaluation Techniques for Residual in-Use Utility of the Railway Car Hopper-Batcher Bearing Structure with a Long-term Service. *Procedia Engineering*. 2016. 9th International Scientific Conference Transbaltica 2015. №134. P. 57-63.
6. Kelrykh, M., Fomin, O. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014. №6. P. 64-67.
7. Lovskaya, A.A. Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015. №1. P. 49-54.
8. ДСТУ ГОСТ 33211:2017. Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей. К.: Держстандарт України, 2017. 53 с.
9. Myamlin S., Lingaitis L.P., Daildyka S., Vaičiūnas G., Bogdevičius M., & Bureika G. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. *Journal «Transport»*. Vilnius. 2015. №1 (30). P. 88-92.
10. Мурадян, Л.А., Шапошник, В.Ю., Мищенко, А.А. Методологические основы определения эксплуатационных характеристик несамоходного подвижного состава. *Наука и прогресс транспорта. Вестник ДНУЖТ*. Днепропетровск: Изд-во ДНУЖТ им. академика В. Лазаряна, 2016. №1 (61). С. 169-179.
11. Недужа, Л.О., Швець, А.О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона. *Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ*. Дніпро: Вид-во ДНУЗТ ім. академика В. Лазаряна, 2018. №1 (73). С. 131-147.
12. Политехнический словарь / Редкол.: А. Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. - 3-е изд., перераб. и доп. М.: ПИО Большая Российская Энциклопедия, 2000. 656 с.: ил.
13. Fomin, O. Lovska, A., Masliyev, V., Tsymbaliuk, A., Burlutsky, O. (2019). Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 7, 1 (97). P. 33-40.
14. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovskaya, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina and Vladimir Hauser. (2018). Research of the strength of the bearing structure of the flat wagon body from round pipes during transportation on the railway ferry. *MATEC Web of Conferences*. Vol. 235.00003
15. Fomin, O., Logvinenko, O., Burlutsky, O., Rybin, A. (2018). Scientific Substantiation of Thermal Leveling for Deformations in the Car Structure. *International Journal of Engineering & Technology*. Vol.7. №4.3. P.125-129.

REFERENCES

1. Fomin, O.V., Prokopenko, P.M., Horbunov, M.I., Saproнова, S. Yu. (2017). Polipshennya nesuchoyi zdatnosti vahona-khopera dlya perevezennya zerna z metoyu pidvyshchennya oporu dynamichnym zusylyam. [Improve the carrying

capacity of the hopper wagon for grain transportation in order to increase resistance by dynamic forces]. *Newsletter of SNU them. V.Dala. Severodonetsk*. 5 [235]. P. 88-99.

2. Sapronova, S.Yu., Koshel, O.O., Tkachenko, V.P., Bulich, D.I., Radkevich M.M. (2019). Analiz metodiv podovzhennya terminu sluzhby vantazhnykh vahoniv. [Analysis of methods for the extension of freight wagon service life]. *Transport Systems and Technologies*. Kyiv: SUT. Vol. 1, Issue 33. P. 118-129.

3. Sapronova, S.Yu., Bulich, D.I., Tkachenko, V.P. (2017). Prodovzhennya terminu ekspluatatsiyi vantazhnykh vahoniv [Extension of the life of freight wagons]. *Newsletter of SNU them. V.Dala. Severodonetsk*. 3 [233]. P. 158-162.

4. Fomin, O.V., Prokopenko, P.M., Horbunov, M.I., Sova, S.S. (2019). Osoblyvosti vyznachennya zalyshkovoho resursu vahopovirochnykh vahoniv z terminom sluzhby, yakyy perevyshchuye pryznachenyy. [Peculiarities of determining the residual resource of weight-test wagons with a service life that exceeds the appointed]. *Transport Systems and Technologies*. Kyiv: SUT. Issue 34. P. 95-105.

5. Kanavalau, Y., Putsiata, A. (2015). Evaluation Techniques for Residual in-Use Utility of the Railway Car Hopper-Batcher Bearing Structure with a Long-term Service. *Procedia Engineering*. 2016. 9th International Scientific Conference Transbaltica. №134. P. 57-63.

6. Kelrykh, M., Fomin, O. (2014). Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*. №6. P. 64-67.

7. Lovskaya, A.A. (2015). Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*. №1. P. 49-54.

8. *Freight wagons. Requirements to structural strength and dynamic qualities*. (2017). DSTU GOST 33211:2017 from 1 July 2017. Kyiv: Derzhstandart Ukraine. 53.

9. Myamlin, S., Lingaitis, L.P., Daildyka, S., Vaičiūnas, G., Bogdevičius, M., Bureika, G. (2015). Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. *Journal «Transport»*. Vilnius. №1 (30). P. 88-92.

10. Muradian, L.A., Shaposhnyk, V.Yu., Mischenko, A.A. (2016). Metodologicheskiye osnovy opredeleniya ekspluatatsionnykh kharakteristik samokhodnogo podvizhnogo sostava. [Methodological fundamentals of determination of unpowered rolling stock maintenance characteristics]. *Science and Transport Progress. Bulletin of DNURT*. Dnipropetrovsk. 1 [61]. P. 169-179.

11. Neduzha, L.O., Shvets, A.O. (2018). Teoretychni ta eksperymental'ni doslidzhennya mitsnisnykh yakostey khrebtovoyi balky vantazhnogo vahona. [Theoretical and experimental research of strength properties of spine beam of freight cars]. *Science and Transport Progress. Bulletin of DNURT*. Dnipro. 1 [73]. P. 131-147.

12. *Politekhnikheskiy slovar' [Polytechnical Dictionary]*. (2000). Red.: A. YU. Ishlinskiy. M. P50 Big Russian Encyclopedia, 2000.656 p.

13. Fomin, O. Lovska, A., Masliyev, V., Tsymbaliuk, A., Burlutsky, O. (2019). Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 7, 1 (97). P. 33-40.

14. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovskaya, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina and Vladimir Hauser. (2018). Research of the strength of the bearing structure of the flat wagon body from round pipes during transportation on the railway ferry. *MATEC Web of Conferences*. Vol. 235.00003

15. Fomin, O., Logvinenko, O., Burlutsky, O., Rybin, A. (2018). Scientific Substantiation of Thermal Leveling for Deformations in the Car Structure. *International Journal of Engineering & Technology*. Vol.7. №4.3. P.125-129.

**Алексей Кошель, аспирант,
(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий)
Светлана Сапронова,
(доктор технических наук, профессор, Государственный университет инфраструктуры
и технологий)
Дмитрий Булич, аспирант,
(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий)
Ткаченко Виктор, д.т.н., проф.,
(доктор технических наук, профессор, Государственный университет инфраструктуры
и технологий)**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСУЩИХ МЕТАЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ВАГОНОВ ХОППЕР-ДОЗАТОРОВ И ДУМПКАРОВ (САМОСВАЛОВ) НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ТИПОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Большинство вагонов хоппер-дозаторов и думпкар (самосвалов) на железных дорогах Украины имеют срок службы, который значительно превышает установленный заводом-

изготовителем. В статье проведено исследование остаточного ресурса несущих металлических конструкций вагонов хоппер-дозаторов и думпкаров (самосвалов) на основе результатов технического диагностирования и типовых испытаний. Проведен анализ соотношения фактических толщин хребтовой балки вагонов до номинальных значений. Определены возможные места возникновения типичных дефектов у вагонов хоппер-дозаторов и думпкаров (самосвалов). Сделан вывод о том, что состояние несущих металлических конструкций вагонов после длительной эксплуатации не приближается к предельному. Полученные практические и теоретические результаты позволяют разработать комплекс мероприятий для оценки остаточного ресурса несущих металлических конструкций вагонов хоппер-дозаторов и думпкаров (самосвалов).

Ключевые слова: остаточный ресурс, хоппер-дозатор, думпкар (самосвал), техническое диагностирование, типовые испытания, эксплуатационные характеристики, несущие конструкции.

**Oleksii Koshel, Graduate student,
(Graduate student, State University of Infrastructure and Technologies)
Svitlana Sapronova, D.T.S., Prof.,
(Doctor of Technical Science, Professor, State University of Infrastructure and Technologies)
Dmutry Bulich, Graduate student,
(Graduate student, State University of Infrastructure and Technologies)
Tkachenko Viktor, D.T.S., Prof.,
(Doctor of Technical Science, Professor, State University of Infrastructure and Technologies)**

**DETERMINATION OF THE RESIDUAL RESOURCE OF CARRYING METAL FRAMES
OF CARS OF HOPPER DOSERS AND DUMPKARS (DUMPERS) BASED
ON THE RESULTS OF TECHNICAL DIAGNOSTICS AND TYPICAL TESTS**

Most of the cars of hopper dosers and dumpkars (dumpers) on the railways of ukraine have a service life that significantly exceeds that established by the manufacturer. The article studies the residual life of load-bearing metal structures of hopper dosers and dumpkars (dumpers) based on the results of technical diagnostics and type tests. The analysis of the ratio of the actual thickness of the spinal beam of cars to the nominal values. Possible places of occurrence of typical defects in hopper dosers and dumpkars (dumpers) are determined. it is concluded that the state of the supporting metal structures of cars after long-term operation does not approach the limit. the obtained practical and theoretical results allow us to develop a set of measures to assess the residual life of the bearing metal structures of hopper dosers and dumpkars (dumpers).

Keywords: residual life, hopper dosers, dumpkars (dumpers), technical diagnostics, type tests, operational characteristics, carrying metal structures.

УДК 629.4.077:629.463

*Василь Равлюк, к.т.н., доцент
(доцент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)*

*Микола Равлюк, старший викладач
(старший викладач кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)*

*Яна Фісіна, магістр
(магістр кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)*

*Рашиад Нуруллаєв, магістр
(магістр кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)*

УТОЧНЕНІ РОЗРАХУНКИ 2D СХЕМ-МОДЕЛЕЙ ГАЛЬМОВИХ ВАЖІЛЬНИХ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ КОЛОДОК ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

У роботі проведено комплекс наукових досліджень, який доводить, що типова конструкція гальмової важільної передачі трьохелементних візків не забезпечує нормативний знос колодок, тому потребує коректних досліджень, а її структура – модернізації та перегляду функціонального призначення деяких елементів. На основі 2D схем-моделей важільних передач виконано аналітичні розрахунки, за результатами яких запропоновано практичні зміни у вузлі з'єднання вертикального важеля з розпівкою триангеля.

Ключові слова: вагон, візок, гальмова важільна передача, гальмова колодка, знос, триангель.

Вступ. Досвід експлуатації вантажних вагонів на трьохелементних візках з гальмовими важільними передачами (ГВП) свідчить, що існує безперечний взаємозв'язок між конструктивним виконанням та зносом гальмових колодок, що натискають на колеса візка при гальмуванні. Аналіз досліджень і патентів з цього приводу показує, що між проектними та реальними навантаженнями елементів ГВП й експлуатаційним зносом гальмових колодок виникають небажані розбіжності. Тому, прийнята типова конструкція ГВП трьохелементних візків і пов'язана з нею інтенсивність зносу колодок потребує коректних досліджень, а їх структура – модернізації та перегляду функціонального призначення деяких її елементів.

Дійсно, на візках вантажних вагонів гальмові колодки в поперечних перерізах своєї довжини зношуються нерівномірно, зменшуючи при експлуатації свою товщину.

Результат цього фізичного явища наведено на рис. 1., де чітко видно, що в процесі експлуатації гальмові колодки можуть зношуватися клиноподібно (рис. 1, а), але це дуже зрідка, а в основному тіло колодок зношується подвійним чином з розмежуванням двох площин тертя через те, що колодки в процесі руху вагона звисають і торкаються коліс. У зв'язку з цим, такий тип зносу колодок визначено окремо, як клинодуальний фрикційний знос (рис. 1, б) [1].

Як показали дослідження, трьохелементні візки вантажних вагонів сконструйовано таким чином, що їх просторові моделі мають зайві зв'язки [2, 3]. Тому при розрахунках і проектуванні гальмових важільних передач, такий стан питань обумовлює використання інших спрощених 2D – моделей.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-3



*Рис. 1. Гальмові колодки з експлуатаційними явищами зносу:
а) – «клиноподібного»; б) – «клинодуального»*

Також необхідно зазначити, що багато хто з науковців й інженерів, які пов'язані з проектуванням і ремонтом вузлів і деталей вагонів не достатньо коректно відображають на них особливості процесів гальмування вантажних составів, а це перешкоджає поліпшенню якісних показників ГВП – зниженню інтенсивності зносу гальмових колодок.

Не вдаючись в особливості виникнення клиноподібного або клинодуального виду зносу колодок, зауважимо, що його інтенсивність, з точки зору теорії тертя, в основному залежить від співвідношення величини натискання гальмової колодки на колесо до площі контакту, на якій це натискання здійснюється.

У свою чергу слід зазначити, що клинодуально зношені колодки в процесі гальмування приводять до виникнення на поверхнях кочення коліс таких дефектів, як термомеханічні пошкодження (рис. 2), які спричиняють місцеве викришування металу на їх поверхнях, а це загрожує безпеці руху на залізничному транспорті та збільшує експлуатаційні витрати на ремонт вагонів.

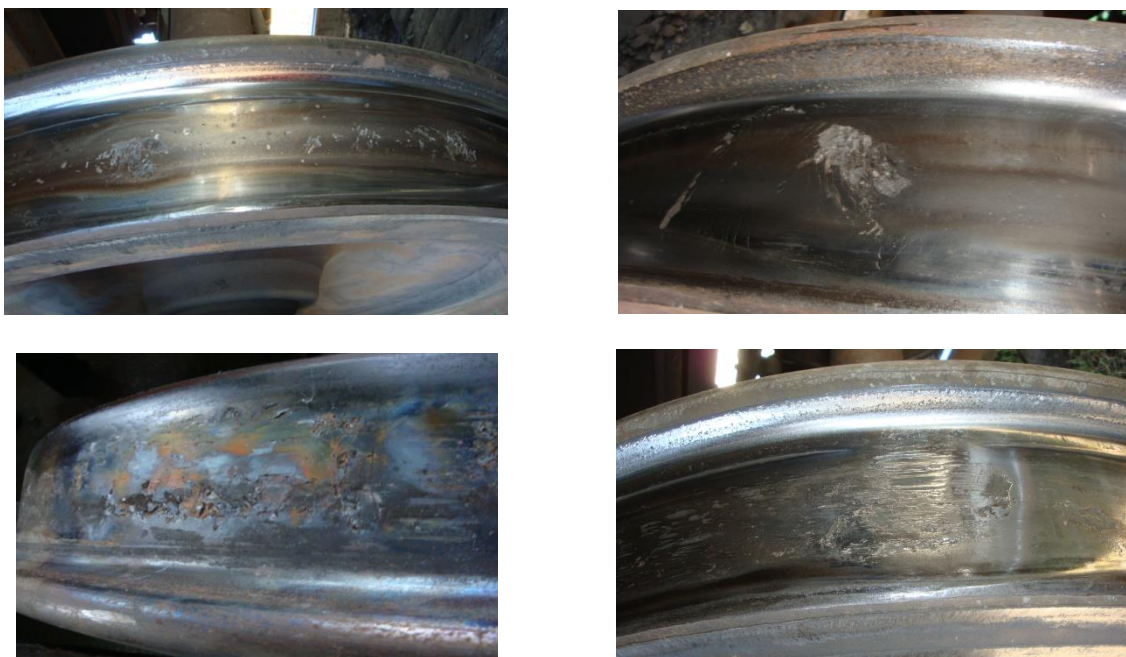


Рис. 2. Термічні пошкодження поверхонь кочення коліс

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. У роботі [4] доведено, що силові фактори, які діють в гальмових системах візків вагонів, залежать від динаміки перехідних процесів у ГВП і можуть розділитися по тілу колодок нерівномірно. Однак, ці перехідні процеси значно малі за час дійсного гальмування вагона, тому в зоні контакту триботехнічної пари «колодка-колесо» тривалий час діє максимальна сила натискання. Практично таку ж критичну оцінку можна навести з роботи [5], де досліджувався факт впливу нелінійних змін натискання колодки на колесо в цьому перехідному процесі. Тим більше, що тут знос колодки при гальмуванні вивчався на відокремленому стенді. Дослідження у праці [6] і в подібній їй [7] навпаки ігнорують такі особливості гальмування, як перехідні процеси руху розглянутих візків по нерівному рейковому шляху з гальмуванням. А роботи [8-9] базуються на занадто спрощеному статичному аналізі навантажень елементів ГВП з дією середнього значення гальмового зусилля, прикладеного до колеса.

Більш-менш достовірний підхід до даної проблеми запропоновано в роботі [10]. Але й він однобічною дією сил інерції, що пов'язані з вертикальною динамікою візка при проходженні нерівності рейкової колії, наприклад, стик рейок, спрямованою лише вертикально вниз, вказує на неповноту досліджень.

У роботі [11] описано динамічне випробовування на стенді інноваційної гальмової системи візків вантажних вагонів, яка є предметом значних статичних і динамічних навантажень. Проте необхідно зазначити, що було б доцільно виконати експлуатаційні експериментальні випробовування для дослідження показників надійності й працездатності роботи гальмової важільної передачі візків, з обов'язковим контролем при цьому нормативного зносу гальмових колодок.

В інших відомих дослідженнях, присвячених працездатності візків вантажних вагонів і їх вузлів, переважну увагу приділено конструктивним змінам ГВП з додатковим введенням різних пристроїв, які призначені зменшувати інтенсивність зносу гальмових колодок [12-17]. Але, як показує практика, такий підхід пов'язаний з ускладненням конструкції ГВП, підвищенням її собівартості виготовлення і ремонту, збільшення трудомісткості ремонту тощо. Однак при цьому не вирішується головна проблема – ліквідація клинодуального зносу гальмових колодок.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є удосконалення розрахункових 2D схем-моделей гальмової важільної передачі трохелементного візка вантажного вагона з визнанням альтернативних критеріїв щодо їх раціонального проектування.

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити такі завдання:

розробити універсальну 2D схему-модель ГВП сучасного трохелементного візка, що допускає коректну інтерпретацію її роботи, яка дасть змогу вирішувати завдання раціонального конструювання гальмових систем візків вантажних вагонів;

на основі створеної універсальної 2D схеми-моделі ГВП визначити силові фактори, що відповідають її роботі в складних умовах експлуатації трохелементних візків вантажних вагонів на нерівній рейковій колії;

за допомогою відповідних аналітичних розрахунків і експлуатаційних випробувань працездатності ГВП трохелементних візків оцінити технічні можливості стосовно до збільшення використання ресурсу гальмових колодок;

виконати порівняльні розрахунки силових факторів, які діють в елементах важільних передач при гальмуванні візка для випадків знакозмінних вертикальних сил інерції, при наїзді візків на нерівності рейкового шляху типу «стик рейок».

Матеріали та методи дослідження. У сучасних умовах експлуатації, коли вантажні вагони підвищили свою вантажну спроможність та стали швидше рухатися, їх вимоги до гальмування стали більш вибагливішими. Принцип гальмування і відповідний при цьому знос колодок зазвичай пояснюється плоскими схемами-моделями [10].

Відхилення від нормативного (в сторону збільшення) зносу гальмових колодок є природним при сучасних умовах підвищення вантажних перевезень, але коли вісь загального центру ваги триангельної ГВП не співпадає з шарнірами маятникового підвішування башмаків з колодками, тоді при експлуатації таких ГВП слід очікувати прискорений вихід з ладу гальмових колодок з їх передчасною заміною.

Для знаходження раціональних конструктивних рішень щодо зменшення зносу гальмових колодок від шкідливих явищ, які обумовлені динамікою руху вантажних вагонів, слід розглянути схеми роботи триангеля ГВП трьохелементного візка і більш ретельно проаналізувати шляхи щодо їх удосконалення.

На рис. 3 зображено модель ГВП трьохелементного візка вантажного вагона моделі 18-100. Досліджуючи структуру цього механізму не важко усвідомити, що він має надлишкові (зайві) зв'язки, тому одразу визначити кінематику та провести його динамічний аналіз неможливо, так як і неможливо знайти інерційні силові фактори, які діють на ГВП зі сторони його елементів [18]. Внаслідок цього для проведення силового кінетостатичного аналізу такого складного механізму потрібно або на щось накладати відповідні обмеження, або розглядати його динаміку в межах рівнянь Лагранжа.

На рис. 3, як і в дослідженні [10] зображено силові фактори, які забезпечують квазістатичну рівновагу ГВП при гальмуванні. Проте з міркувань геометричної симетрії задіяння гальмових важелів можна так відрегулювати гальма, щоб силові натискання колодок на колеса були однакові, тобто

$$T_1 = T_2. \quad (1)$$

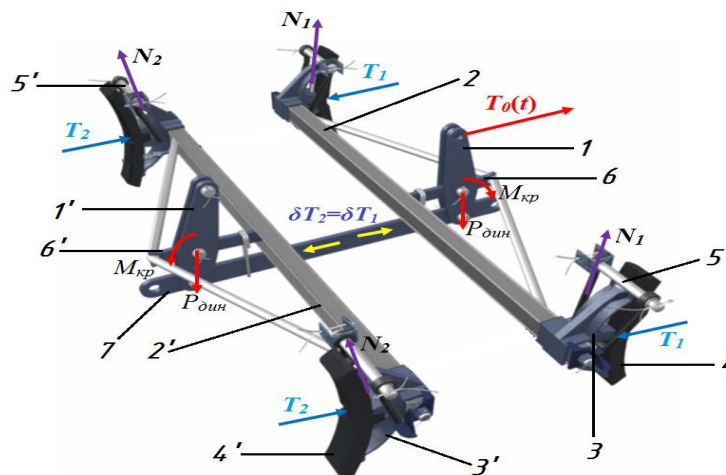


Рис. 3. Модель силової рівноваги ГВП візка вантажного вагона при гальмуванні:

1; 2 – вертикальні важелі; 3 – триангелі; 4 – гальмові колодки; 5 – гальмові башмаки; 6 – маятникові підвіски; 7 – затяжка важелів; 8 – розпірки триангелів; $T_0(t)$ – зовнішня гальмова сила; $N_1(X_1, Z_1)$ і $N_2(X_2, Z_2)$ – сили в маятникових підвісках триангелів (зовнішні); T_1 і T_2 – зовнішні гальмові реакції від коліс на колодки; $\delta T_2 = -\delta T_1$ – розпірні внутрішні «віртуальні» зусилля

Цьому стану силової рівноваги відповідає 2D схема-модель рис. 4 з додатковими інерційними зусиллями, які прикладені до центрів мас триангелів ГВП візка вертикально вниз (рис. 4, а), або вертикально вгору (рис. 4, б), згідно прискоренням вертикальної динаміки візка. Надалі, як і в дослідженні [10], розглядається перша по ходу руху колісна пара візка моделі 18-100.

Виходячи з раніше розробленої методики, ГВП візка поділена на відповідні частини: з вертикальним важелем, який з'єднаний з повздовжньою тягою і авторегулятором, через ці елементи передається зусилля $T_0(t)$ від гальмового циліндра. Зусилля на штоці гальмового циліндра залежить від режиму роботи повітророзподільника ум. №483, для нашого випадку приймаємо завантажений режим [19]. Зусилля, яке передається на вертикальний важіль візка

спочатку гальмує першу колісну пару притискуючи колодки до коліс, а далі завдяки системі тяг і важелів й другу колісну пару (її на рисунку не наведено). Таким чином, вирішення питань цієї проблеми для різних моделей у форматі 2D слід визначати за схемами (рис. 4).

У попередніх дослідженнях детально було доведено те, як за конструктивними виконання ГВП візків вантажних вагонів можна позбутися занадто надмірної інтенсивності зносу гальмових колодок. Однак, як зазначено вище, в одній з останніх робіт [10] не було враховано знакозмінний характер динамічних навантажень на елементи ГВП, що тут якраз уточнено на рис. 4: (рис 4, а – додаткова інерційна сила з прискоренням діє вертикально вниз; рис. 4, б – додаткова сила інерції з прискоренням діє вгору).

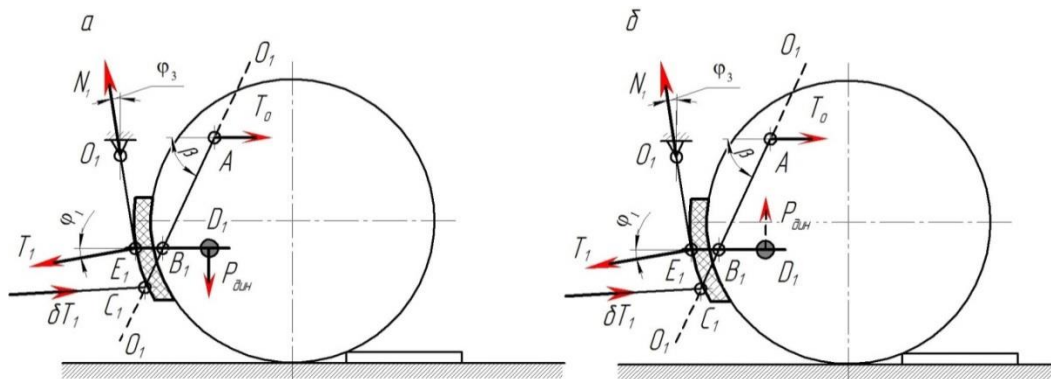


Рис. 4. Універсальна 2D схема-модель гальмування колісної пари при проходженні нерівності типу стик рейок

Моделі та розрахунково-експериментальний аналіз роботи ГВП. У роботі [10] розрахунками також було встановлено, зменшення силового натискання колодок на колеса візка при його проходженні вздовж нерівностей стику рейок, сприяє зменшенню експлуатаційного їх зносу (схема рис.4, а). Тому це дослідження автор вважає продовженням попередніх робіт, де розглянуто дію ГВП за бажаним міркуванням, щодо приведення до єдиної вісі підвішування триангеля його центра мас і вузла з'єднання розпірки триангеля з вертикальним (ведучим) важелем.

Хоча попередніми розрахунками встановлено, що в цьому випадку очікуємо результат, щодо сприятливої дії силових факторів в усіх ланках триангельної ГВП, але досягти цей результат можливо тільки теоретично (рис. 5, а).

У цьому сенсі методику розрахунків було спочатку перевірено на наближеній до реальності 2D схемі-моделі (рис. 5, в), без ніяких змін в конструкції триангеля. В результаті зменшення дії шкідливого зносу вверху гальмових колодок не спостерігалось, до того часу поки конструкцію триангеля не було модернізовано, як зображено на схемі-моделі (рис. 5, б). В цьому випадку було частково вирішено проблему сповільнення інтенсивності зносу гальмових колодок, що було підтверджено експериментально.

Таким чином, в результаті незначних змін вузла з'єднання вертикального важеля з розпіркою триангеля, модернізовані триангелі ГВП стали працювати надійніше. Результатом такої модернізації є зменшення показників інтенсивності зносу гальмових колодок, ніж в типових гальмових системах трьохелементних візків.

Тому з теоретичного аналізу та практичного його підтвердження можна зробити попередній висновок, щодо вирішення даної проблеми, яка розглядається. А саме: центр мас конструкції триангеля потрібно якомога ближче наблизити до вузла з'єднання вертикального важеля з розпіркою триангеля – балки триангеля.

Динамічне навантаження вверх

$$\left\{ \begin{array}{l} T_0 + \delta T - N_1 \sin \varphi_1 - T_1 \cos \varphi_1 = 0 \\ N_1 \cos \varphi_1 - T_1 \sin \varphi_1 + P_{\text{дин}} = 0 \\ T_0 \cdot l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta + P_{\text{дин}} \cdot l_{B_1 D_1} - N_1 \cdot l_{B_1 E_1} \cdot \cos \varphi_1 + \\ + T_1 \cdot l_{B_1 E_1} \cdot \sin \varphi_1 + \delta T \cdot l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta - M_0 = 0 \end{array} \right.$$

Як зазначено в роботі [10]: M_0 - компенсуючий момент, який утворюється при натисканні колодки на колесо й дорівнює $M_0 = T_0 \cdot l_{AC_1} \cdot \sin \beta$; $P_{\text{дин}}$ - сила інерції, яка виникає в триангелі при наїзді колеса на перепону та посуває триангель з колодками до колеса (приймаємо $P_{\text{дин}} = 1 \text{ кН}$); $l_{B_1 C_1}$, $l_{B_1 D_1}$, — геометричні параметри елементів ГВП (табл. 1).

Таблиця 1. Вихідні параметри для виконання розрахунків

Позначення за схемою	Значення, мм	Значення, м
$l_{B_1 C_1}$	160	0,16
$l_{B_1 D_1}$	Див. примітку	Див. примітку
$l_{B_1 E_1}$	50	0,05
$l_{C_1 A}$	560	0,56
φ_1	10°	$\cos \varphi_1 = 0.984$, $\sin \varphi_1 = 0.1736$
β	$64^\circ 43' = 64.72^\circ$	$\cos \beta = 0.427$, $\sin \beta = 0.904$

Примітка. Для ідеального варіанта $l_{B_1 D_1} = l_{B_1 E_1} = 0$, для модернізованого $l_{B_1 D_1} = 0,112$ м, для типового варіанта $l_{B_1 D_1} = 0,224$ м.

Слідуючи класичному методу Крамера для розв'язання системи рівнянь, маємо матрицю системи G та її праву частину R у вигляді (2):

$$\begin{array}{cc} \text{Динамічне навантаження вниз} & \text{Динамічне навантаження вверх} \\ G = \begin{bmatrix} -\sin \varphi_1 & -\cos \varphi_1 & 1 \\ -\cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ -l_{B_1 E_1} \cdot \cos \varphi_1 & -l_{B_1 O_1} \cdot \sin \varphi_1 & l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta \end{bmatrix}, & G = \begin{bmatrix} -\sin \varphi_1 & -\cos \varphi_1 & 1 \\ \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ -l_{B_1 E_1} \cdot \cos \varphi_1 & l_{B_1 O_1} \cdot \sin \varphi_1 & l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta \end{bmatrix}, \\ R = \begin{bmatrix} -T_0 \\ P_{\text{дин}} \\ -T_0 \cdot l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta + P_{\text{дин}} \cdot l_{B_1 D_1} + T_0 \cdot l_{AC_1} \cdot \sin \beta \end{bmatrix} & R = \begin{bmatrix} -T_0 \\ -P_{\text{дин}} \\ -T_0 \cdot l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta - P_{\text{дин}} \cdot l_{B_1 D_1} + T_0 \cdot l_{AC_1} \cdot \sin \beta \end{bmatrix}. \end{array} \quad (3)$$

Невідомі зусилля N_1 , T і T_0 , які виникають в елементах ГВП при гальмуванні вантажного вагона знаходяться чисельним розрахунком. Усі вихідні дані для його виконання наведено в

табл. 1. Для розрахунків використовуємо програмне забезпечення MathCad, а всі отримані їх результати зводимо до табл. 2.

Таблиця 2. Порівняння визначених зусиль, які діють в елементах ГВП

Розрахунок виконується для	T_1 , кН		T_2 , кН		N_1 , кН		N_2 , кН	
	$P_{дин}$ напрямом дії							
	вверх	вниз	вверх	вниз	вверх	вниз	вверх	вниз
Схеми а)	40,97		40,97		7,13		7,13	
Схеми б)	45,031	47,409	45,031	47,409	6,928	9,38	6,928	9,38
Схеми в)	44,69	47,75	44,69	47,75	6,868	9,44	6,868	9,44

Із табл. 2 видно, що схемні рішення конструкції тріангельних важільних передач гальмових систем візків вантажних вагонів, впливають на величини розрахункових значень її елементів.

Висновки. 1. Виконано комплексні дослідження, доводять що зміни розрахункових 2D схем-моделей ГВП, які віддзеркалюють експлуатацію візків вантажних вагонів суттєво впливають на достовірність визначення силових навантажень елементів тріангельних гальмових систем візків.

2. Розроблено універсальну 2D схему-модель гальмової важільної передачі сучасного візка вантажного вагона, що допускає коректну інтерпретацію її роботи. Запропонована схема дозволить вирішувати завдання щодо проектування усучаснених елементів важільних передач і дасть змогу обирати раціональну конструкцію гальмових систем візків вантажних вагонів.

3. За допомогою створеної універсальної 2D схеми-моделі гальмової важільної системи візка, визначено силові фактори, що відповідають роботі гальмових передач в складних умовах експлуатації вантажних вагонів особливо на нерівній рейковій колії.

4. За результатами проведених аналітичних розрахунків і експлуатаційних випробувань працездатності гальмових важільних передач трьохелементних візків вантажних вагонів, виконано оцінку технічних можливостей щодо збільшення у 1,67 рази використання ресурсу гальмових колодок.

5. Виконано комплексні порівняльні розрахунки силових факторів, які діють в елементах важільних передач при гальмуванні візка для різних випадків знакозмінних вертикальних сил інерції, при наїзді візків на нерівності рейкового шляху типу «стик рейок».

6. Результати, які були отримані в дослідженні, будуть надалі враховуватися для зниження сумарної маси та динамічного балансування конструкції гальмової важільної передачі, а також для вирішення проблемних питань стосовно до ненормативного зносу гальмових колодок у трьохелементних візках вантажних вагонів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Равлюк В. Г. Дефініція особливостей дуального зносу гальмових колодок вантажних вагонів // Зб. наук. пр. Укр. держ. універ. залізнич. трансп. Харків, 2019. Вип. 183. С. 46 – 59.
2. Басов А. А., Мямлин С. В., Панасенко В. Я., Клименко И. В. Пути совершенствования конструкции тележки грузового вагона // Вестник Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. акад. В. Лазаряна. — Днепропетровск, 2009. Вип. 12. С. 27–32.
3. Болотина А. Б. Исследование параметров и совершенствование механической части тормозной системы грузовых вагонов с учетом перспективных условий эксплуатации : дисс... канд. техн. наук; Моск. гос. ун-т путей сообщ. – М., 2000. – 244 с.
4. Smileski S., Smileski T. Integrated bogie brake and slack adjuster for the use with said integrated bogie brake, Patent WO 2013098350 A2, December 27, 2011.
5. Балон Л. В. Корепоц П. А., Косарецкий В. В. Динамические характеристики рычажной тормозной системы в установившихся режимах // Вестник РГУПС. Ростов на Дону. 2009. – №4. С. 17–22.

6. Wu Q., Luo S., & Cole C. Longitudinal dynamics and energy analysis for heavy haul trains // Journal of Modern Transportation, 2014. Vol. 22(3), P. 127-136. doi: 10.1007/s40534-014-0055-x.
7. Zhang Z., Dhanasekar M. Dynamics of railway wagons subjected to braking/traction torque // International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 2009. Vol. 47, Issue 3, P. 285-307.
8. Коропеч П. А., Черников В. Д., Костюкевич А. И. О неравномерном износе подвижных фрикционных пар // Вестник СНУ им. Даля. Луганск, 2010. №5 (147). С. 41-45.
9. Павлюков А. С., Черепов О. В., Шалупин И. А. Тормозные колодки грузовых вагонов: анализ повреждаемости и факторов, влияющих на создание тормозной силы // Вестн. Уральского Гос. Университета путей сообщения, Екатеринбург, УрГУПС, 2009. 4 (36). 2017. С. 4-11.
10. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А., Ткачук М. Р. Визначення факторів, що впливають на надійність роботи гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів // Зб. наук. пр. Укр. держ. універ. залізнич. трансп. Харків, 2019. (подана до друку).
11. Vrtanoski G., Smileski T. Dynamic testing of innovative railway brake system for freight wagons // ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering Tome XVII 2019. P. 83-89.
12. Блохин Е. П., Алпысбаев К. Т., Панасенко В. Я. Тележки ZK1 полувагонов, построенных в КНР // Вагонный парк. Харків, 2012. №9 (66). С. 12-14.
13. Турутин И. В., Рудакова Е. А. Конструкция тележек моделей 18-9889 и 18-9890 для инновационных четырех- и шестиосных грузовых вагонов // Транспорт РФ. Москва, 2013. №3(46). С. 10-12.
14. Тулузин С. В., Горский Д. В. Оценка работоспособности тормозной рычажной передачи тележки грузового вагона на различных стадиях износа колодок и колес // Вестник ВНИИЖТ. Москва, 2015. №2. С. 38-44.
15. Картычев В. А., Никитин Г. Б., Андреев П. А. К вопросу оценки и контроля тормозных нажатий колодок на колеса в зависимости от положений рычагов при регулировках рычажной передачи тележки 18-100 // Вестник ВНИИЖТ. Москва, 2013. №5. С. 43– 48.
16. Смольянинов А. В., Смольянинов П. В. Размерные расчеты тормозной рычажной передачи грузового вагона как метод обоснования путей повышения качества ремонта // Научно-технический журнал «Известия Транссиба». Москва, 2012. №2(10). С. 27– 36.
17. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України : ЦТ – ЦВ – ЦЛ – 0015. – Затв. нак. Укрзалізниця № 264-Ц 28.10.1997. Вид. офіц. Київ: 2004. 146 с.
18. Шпачук В. П., Пушня В. О., Рубаненко О. І., Гарбуз А. О. Конспект лекцій з дисципліни «Теоретична механіка. Динаміка». Харків, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 222 с.
19. Wynd D., Connelly M. Advanced Bogie Brakes, Proceedings, Conference on Railway Engineering, Wellington, September 12-15, 2010. P. 560-564.

REFERENCES

1. Ravlyuk, V. G. (2019). *Definitisiia osoblyvostei dualnoho znosu halmovykh kolodok vantazhnykh vahoniv [Definition of features of dual wear of brake pads of freight wagons]*. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnogo universytetu zaliznychnoho transport [Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport], 183, 46-59.
2. Basov, A. A., Myamlin, S. V., Panasenko, V. YA., Klimenko, I. V. (2009). *Puti sovershenstvovaniya konstrukcii telezhek gruzovogo vagona [Ways to improve the design of the truck wagon]*. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 12, 27-32.
3. Bolotina, A. B. (2000). *Issledovanie parametrov i sovershenstvovanie mekhanicheskoy chasty tormoznoy sistemy gruzovykh vagonov s uchetom perspektivnykh usloviy ekspluatatsii [Study of parameters and improvement of the mechanical part of the brake system of freight cars, taking into account the promising operating conditions]*. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk [Dissertation of the candidate of engineering sciences], 244.
4. Smileski, S., Smileski, T. (2011). *Integrated bogie brake and slack adjuster for the use with said integrated bogie brake*. Patent WO 2013098350 A2, December 27. (in English).
5. Balon, L. V. Koropec, P. A., Kosarevskij, V. V. (2009). *Dinamicheskie harakteristiki rycheznoy tormoznoy sistemy v ustanovivshihsya rezhimakh [Dynamic characteristics of the lever brake system in steady state]*. Vestnik RGUPS [Gazette of RSUPE], 4, 17–22.
6. Wu, Q., Luo, S., & Cole, C. (2014). *Longitudinal dynamics and energy analysis for heavy haul trains*. Journal of Modern Transportation, 22(3), 127-136. doi: 10.1007/s40534-014-0055-x. (in English).
7. Zhang, Z., Dhanasekar, M. (2009). *Dynamics of railway wagons subjected to braking/traction torque*. International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 47, 285-307. (in English).
8. Koropec, P. A., Chernikov, V. D., Kostyukevich, A. I. (2010). *O neravnomernom iznose podvizhnykh friktsionnykh par [On the uneven wear of moving friction pairs]*. Vestnik SNU imeni Dalia [Dahl SNU Newspaper], 5(147), 41-45.
9. Pavlyukov, A. S., Cherepov, O. V., Shalupin, I. A. (2017). *Tormoznye kolodki gruzovykh vagonov: analiz povrezhdaemosti i faktorov, vliyayushchih na sozdanie tormoznoy sily [Freight wagon brake pads: analysis of damage and factors affecting the creation of braking force]*. Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya [Bulletin of the Ural State University of Communication], 4 (36), 4-11.

10. Ravlyuk, V. G., Ravlyuk, M. G., Grebenyuk, V. A., Tkachuk, M. R. (2019). Vyznachennia faktoriv, shcho vplyvaiut na nadiinist roboty halmovoi vazhilnoi peredachi vizkiv vantazhnykh vahoniv [Determination of factors affecting the reliability of brake lever transmission of freight wagons]. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transport [Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport], (podana do druku).
11. Vrtanoski, G., Smileski, T. (2019). Dynamic testing of innovative railway brake system for freight wagons. ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome XVII 83-89.
12. Blohin, E. P., Alpysbaev, K. T., Panasenko, V. YA. (2012). Telezhki ZK1 poluvagonov, postroennykh v KNR [Carts ZK1 gondola cars built in China]. Vagonnyy park [Car park], 9 (66), 12-14.
13. Turutin, I. V., Rudakova, E. A. (2013). Konstrukciya telezhek modelej 18-9889 i 18-9890 dlya innovatsionnykh chetyreh- i shestiosnykh gruzovykh vagonov [The design of the trolleys models 18-9889 and 18-9890 for innovative four- and six-axle freight cars]. Transport RF [Transport of the Russian Federation], 3(46), 10-12.
14. Tuluzin, S. V., Gorskiy, D. V. (2015). Ocenka rabotosposobnosti tormoznoj rychazhnoj peredachi telezhki gruzovogo vagona na razlichnykh stadiyah iznosa kolodok i koles [Evaluation of the performance of the brake linkage of a freight car truck at various stages of wear of pads and wheels]. Vestnik VNIIZHT [VNIIZHT newspaper], 2, 38-44.
15. Karpychev, V. A., Nikitin, G. B., Andreev, P. A. (2013). K voprosu ocenki i kontrolya tormoznykh nazhatij kolodok na kolese v zavisimosti ot polozhenij rychagov pri regulirovke rychazhnoj peredachi telezhki 18-100 [On the issue of assessment and control of brake pads on the wheels depending on the positions of the levers when adjusting the linkage of the trolley 18-100]. Vestnik VNIIZHT [VNIIZHT newspaper], 5, 43-48.
16. Smol'yaninov, A. V., Smol'yaninov, P. V. (2012). Razmernye raschety tormoznoj rychazhnoj peredachi gruzovogo vagona kak metod obosnovaniya putej povysheniya kachestva remonta [Dimensional calculations of the brake linkage of a freight car as a method of substantiating ways to improve the quality of repair]. Nauchno-tekhnicheskij zhurnal «Izvestiya Transsiba» [Scientific and technical journal "Izvestia Transsib"], 2(10), 27– 36.
17. Instruksiia z ekspluatatsii halm rukhomoho skladu na zaliznytsiakh Ukrainy : TsT – TsV – TsL – 0015 [Operating Instructions for Rolling Stock Brakes on Railways of Ukraine: CT - CB - CL - 0015] (2004). Zatverdzhena nakazom Ukrzaliznytsi №264-Ts 28.10.1997 [Approved by the order of Ukrzaliznytsia No. 264-Ц on October 28, 1997], Kiev, 146.
18. Shpachuk, V. P., Pushnia, V. O., Rubanenko, O. I., Harbuz, A. O. (2016). Konspekt lektsii z dystsypliny «Teoretychna mekhanika. Dynamika» [Summary of lectures in the discipline "Theoretical Mechanics. Dynamics"]. Kharkiv, O. M. Beketov KhNUMG, 222.
19. Wynd, D., Connelly, M. (2010). Advanced Bogie Brakes, Proceedings. Conference on Railway Engineering, Wellington, September 12-15, 560-564. (in English).

Василий Равлюк, к.т.н., доцент
(доцент кафедры вагонов, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

Николай Равлюк, старший преподаватель
(старший преподаватель кафедры вагонов, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

Фисина Яна, магистр
(магистр кафедры вагонов, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

Рашид Нуруллаев, магистр
(магистр кафедры вагонов, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

УТОЧНЕННЫЕ РАСЧЕТЫ 2D СХЕМ-МОДЕЛЕЙ ТОРМОЗНОЙ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА КОЛОДОК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В работе выполнен комплекс научных исследований, который доказывает, что типовая конструкция тормозной рычажной передачи трехэлементной тележки не обеспечивает нормативный износ колодок, поэтому нуждается в корректных исследованиях, а ее структура — модернизации и пересмотра функционального назначения некоторых элементов. С помощью 2D схем-моделей рычажных передач выполнены аналитические расчеты, по результатам которых предложены практические изменения в узле соединения вертикального рычага с распоркой триангеля.

Ключевые слова: вагон, тележка, тормозная рычажная передача, тормозная колодка, износ, триангель.

*Vasyl Ravlyuk, Candidate of technical sciences, associate professor
(associate professor department wagons, The Ukrainian State University of Railway Transport)
Ravliuk Mikola, senior lecturer
(senior lecturer department of cars, The Ukrainian State University of Railway Transport)
Fisina Yana, master student
(master student department of cars, The Ukrainian State University of Railway Transport)
Nurullaiev Rashad Sadahat ohly, master student
(master student department of cars, The Ukrainian State University of Railway Transport)*

**UPDATES OF 2D CALCULATIONS OF BRAKE LEVER TRANSMISSIONS
FOR INCREASING THE RESOURCE OF THE WAGON PADS**

The complex of theoretical scientific researches is conducted in the work, which proves that the typical design of brake lever transmission of three-element carts does not provide normative wear of the pads, therefore it requires correct researches, and its structure - modernization and revision of functional purpose of some elements. On the basis of 2D circuit models, analytical calculations were performed with a comparative analysis of their different design solutions — elements of the brake levers of three-element trucks of freight wagons. As a result, practical changes were made to the knot of the vertical linkage with the triangel spacer, and a reasonable distance between the hinge joint and the triangel beam.

Comprehensive comparative calculations of the power factors acting in the elements of the lever gears during braking of the trolley for different cases of alternating vertical forces of inertia, at the collision of the carts on the inequality of the rail track of the type "rail joint", were made.

The results of the theoretical calculations, which were obtained were confirmed by the experimental operation of freight wagons with innovative three-element trolley braking systems, which makes it possible to choose a rational calculation 2D circuit model of the brake lever transmission during design.

Thanks to the proposed methodology and its application in railway and railcar enterprises, it is possible to significantly increase their competitiveness, reduce the intensity of brake pad wear and increase their life during the operation of freight wagons.

Keywords: wagon, trolley, brake lever gear, brake pad, wear, triangles.

УДК 629.463.65

*Алексей Викторович Фомин, д.т.н., проф.,
(профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев)*

*Павел Николаевич Прокопенко,
(аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев)*

*Николай Иванович Горбунов, д.т.н., проф.,
(заведующий кафедрой «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины», Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Северодонецк)*

*Сергей Сергеевич Сова
(аспирант кафедры «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины», Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Северодонецк)*

СПОСОБ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ ЛЕГКОВЕСНЫХ ПУСТЫХ ВАГОНОВ

Безопасность движения является важнейшим требованием к работе железных дорог. Среди аварий на железнодорожном транспорте наибольшую опасность представляет сход с рельсов, это может привести к тяжелым последствиям. По результатам анализа установлено, что последствиями схода есть серьезные повреждения подвижного состава, железнодорожного пути и других элементов инфраструктуры железной дороги, снижение скорости и нарушение графика движения поездов.

Ключевые слова: *вагон, динамические испытания, скорость, запас устойчивости, сход, неисправность.*

Введение. Существенный недостаток работы железнодорожного транспорта – это ограничения скорости движения поездов с легковесными грузовыми вагонами в пустом состоянии, оборудованных тележками модели 18-100.

В числе причин схода колес вагонов с рельсов, связанных с неисправностями ходовой части вагонов, можно назвать следующие: излом боковых рам и надрессорных балок тележек, слом осей и колес, неисправности роликовых подшипников буксового узла, износ элементов фрикционных гасителей колебаний и узла опирания кузова на надрессорные балки, недопустимые отклонения зазоров в тележке. Также важной причиной является отрицательное уменьшение тары вагона более чем на 10% от установленной заводом изготовителем.

Указанные неисправности, в частности, связанные с разрушениями элементов ходовой части, непосредственно приводят к сходу вагонов. Однако, некоторые из них прямо не вызывают сход, но являются причинами развития динамических процессов, которые вызывают повышенное силовое взаимодействие подвижного состава. Среди вагонов, чаще всего сходили пустые вагоны-хопперы для цемента со снятой крышей (рис. 1) и вагоны-платформы (рис. 2). По результатам анализа установлено, что последствиями схода являются серьезные

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-5

повреждения подвижного состава, железнодорожного пути и других элементов инфраструктуры железной дороги, снижение скорости и нарушение графика движения поездов.



Рис. 1. Вагон-хопер со снятой крышей



Рис. 2. Вагон-платформа

Анализ литературных данных и постановка проблемы. На сегодняшний день проблеме по определению безопасной скорости движения и определению коэффициента запаса устойчивости от схода вагонов посвящено значительное количество научных работ.

Исследования, которые описывают уменьшения себестоимости подвижного состава и статья [4] описывает инноваций для конструкций полувагонов, их проектировку. Авторы статьи [5] описывают перспективные пути конструирования полувагонов, а так же улучшения их технических и экономических показателей. Работа [8] описывает характерные черты, динамические характеристики вагонов-платформ. Материал [9] описывает методы оценки динамических качеств вагонных конструкций. Работа [6], авторы отражают итоги моделирования вагона с несущими конструкциями без избыточных связей. Материалы [7] – представлены особенности конструкции модульной ходовой части. В статье [8] опубликованы итоги работы о новых конфигурациях профилей, которые возможно использовать в изготовлении разного подвижного состава. Работа [10,12] описывает способы исследования конструкций подвижного состава будущего, однако, так же как и работа [6], не описывает свойства специального профиля. В статье [11] описан аппарат для определения наилучшего решения. В работах [13, 14, 15] представлены результаты по определению конструктивных составляющих грузовых вагонов для создания направленного напряженно-деформированного состояния (на

основе принципа предварительных напряжений). Работы [16,17] отражают результаты внедрения круглых труб в грузовой вагон и исследования прочности конструкции кузова полувагона при перевозке на железнодорожном пароме.

С учетом вышесказанного можно сделать вывод, что результаты анализа информационных источников по исследуемому вопросу свидетельствуют про недостаточное количество методических и практических материалов об определении показателей, которые характеризуют качество движения легковесного вагона и безопасного места постановки его в составе поезда.

В работе проведены теоретические и практические исследования по оценке и исследованию показателей ходовых качеств легковесных грузовых вагонов, определение коэффициента запаса устойчивости колеса, что в свою очередь позволит определить безопасную скорость движения грузовых вагонов в пустом состоянии и определения безопасного места постановки его в составе поезда.

Цель и задачи исследования. Цель работы – описание теоретических положений, которые определяют безопасные значения коэффициента устойчивости легковесных грузовых вагонов в составе поезда и предельные значения показателя минимальной тары вагона, а также место постановки такого вагона в составе поезда. При этом основными факторами, которые влияют на коэффициент устойчивости, являются вертикальные и продольные усилия, которые в соответствии зависят от собственного веса вагона и силы действующей в продольном направлении. Поэтому главными факторами, которые влияют на коэффициент устойчивости, это: расположение вагонов в поезде и уменьшенная их тара.

Для достижения поставленной цели были определены и решены следующие задачи:

- анализ теоретических положений проведения исследований;
- теоретическое описание методики проведения ходовых динамических испытаний с определением показателей динамических качеств вагона при его движении в разных местах постановки в поезде;
- оценка зависимости коэффициента устойчивости от тары вагона;
- анализ результатов и определение рекомендаций.

Материалы и методы исследования. Ходовые динамические испытания проводят методом регистрации процессов в контрольных точках деталей тележки во время исследовательских поездок в диапазоне эксплуатационных скоростей, если это не угрожает безопасности движения. По результатам измерений выполняют расчеты, оценивают ходовые динамические качества.

Регистрация измеряемых процессов ходовых динамических испытаний проводится на прямых и кривых участках пути и стрелочных переводах во всем диапазоне допустимых эксплуатационных скоростей.

Ходовые динамические испытания проводят во время поездок в реальных условиях эксплуатации с регистрацией динамических процессов и деформаций в контрольных точках.

При испытаниях сброс с клиньев определяется частота колебаний и напряжения в надрессорной балке и боковине рамы тележки, динамические и статические прогибы рессорного подвешивания тележки.

В процессе ходовых динамических испытаний вагона измеряются, анализируются и оцениваются такие величины и показатели:

- вертикальные и горизонтальные (поперечные) ускорения в зоне подпятника вагона;
- динамические боковые (рамные) силы, действующие на буксы колесных пар;
- коэффициент устойчивости колеса от схода с рельсов;
- коэффициенты вертикальной динамики;
- коэффициент горизонтальной динамики (отношение боковой рамной силы к осевой нагрузке);
- силы, действующие на опытный вагон;
- скорость движения.

Определение влияния места положения легковесного вагона в составе поезда проводится во время поездок з тремя вариантами расположения вагона в поезде.

1-й вариант – вагон ставится в голову груженого состава, 2-й вариант – вагон в середине состава и 3-й вариант – в хвосте. Во всех 3-х вариантах проводится реализация максимальной тяги и

екстренного торможения с регистрацией продольной силы, которая действует на вагон.

Выбор точек для определения частот колебаний и динамических напряжений при испытаниях по сбросу из клиньев выполняется на основании результата расчета напряженно-деформированного состояния несущей конструкции вагона (рис. 3, 4).

Места установки тензодатчиков при испытаниях «сброс с клиньев» и ходовых динамических испытаниях

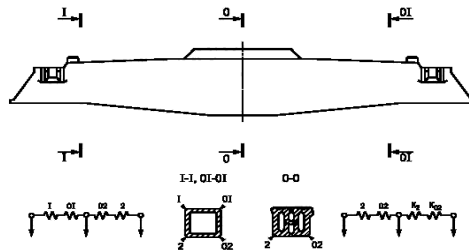


Рис. 3. Схема установки и соединения тензорезисторов для определения коэффициентов вертикальной динамики

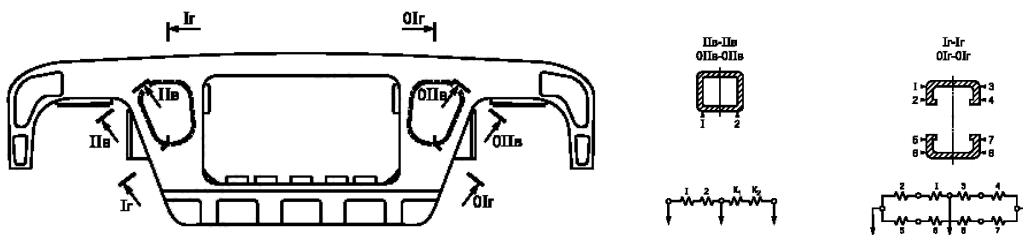


Рис. 4. Схема установки и соединения тензорезисторов для измерения горизонтальных (рамных) сил и вертикальных сил на раме тележки

Методика определение коэффициента запаса устойчивости. Обработка данных ходовых динамических испытаний вагона предусматривает расшифровку, идентификацию и систематизацию параметров зарегистрированных динамических процессов. При обработке учитываются показатели качества хода вагона – до 20 Гц. Частота квантования при обработке опытных данных на ЭВМ должна быть не менее 100 Гц.

Опытные данные группируются по диапазонам скоростей движения (10-20 км / ч) и по участкам пути (прямая, кривая, стрелки и др.).

Для оценки ходовых качеств по величинам измеренных динамических показателей вагона, с использованием соотношений с учетом тарифовочных данных определяются возможные максимальные значения коэффициентов вертикальной динамики обрессорных $K_{до}$ и необрессорных $K_{дн}$ масс вагона, боковые (рамные) силы, коэффициент горизонтальной динамики $K_{дз}$, значения коэффициентов запаса устойчивости от схода с рельсов $K_{ус}$.

Максимальные значения коэффициентов вертикальной динамики и рамных сил определены с доверительной вероятностью 0,97 (по амплитудным значениям) и 0,97 (по мгновенным значениям), а минимальные значения коэффициентов запаса устойчивости от схода с рельсов, с доверительной вероятностью не более 0,0001. Величины бокового (рамного) усилия H_p принимается сумма рамных усилий, действующих в один и тот же момент времени, на раму от каждой буксы одной колесной пары.

Методика расчета коэффициента запаса устойчивости против схода с рельсов приведена ниже.

Оценка устойчивости колеса против схода с рельса проводится по формуле:

$$K_{yc} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \cdot \frac{Q_{ш}(\frac{2(b-a_2)}{l} + K_{\delta}'' \frac{2b-a_2}{l} + K_{\delta}''' \frac{b-a_2}{l}) + q \frac{b-a_2}{l} + \frac{r}{l} H_p}{\mu Q_{ш}(\frac{2(b-a_1)}{l} + K_{\delta}'' \frac{a_1}{l} - K_{\delta}''' \frac{2b-a_2}{l}) + \mu q \frac{b-a_1}{l} + (1 + \frac{r}{l} \mu) H_p} \quad (1)$$

где β – угол наклона образующей гребня колеса к горизонтальной оси, $\beta = 60$;

μ – коэффициент трения, $\mu = 0,25$;

q – сила тяжести массы неподрессоренных частей, которые приходят на колесную пару, Н;

$2b$ – расстояние между серединами шеек оси колесной пары, м;

a_1, a_2 – расчетное расстояние от точек контакта колес с рельсами до середины соответствующих (набегающих и не набегающих) шеек оси колесной пары принимаются в соответствии 0,250 и 0,220 м;

r – радиус окружности качения колеса, $r = 0,45$ (для средне изношенного колеса) или по результатам измерения колес опытного образца;

K_{δ}'' – коэффициент вертикальной динамики на набегающем колесе; значение коэффициента принимается положительным в случае разгрузки колес;

K_{δ}''' – коэффициент вертикальной динамики на ненабегающем колесе; значение коэффициента принимается «+» в случае разгрузки колес;

H_p – горизонтальная боковая рамная сила.

$Q_{ш}$ – сила притяжения надрессорных частей вагона, действующая на шейку оси колесной пары, кН.

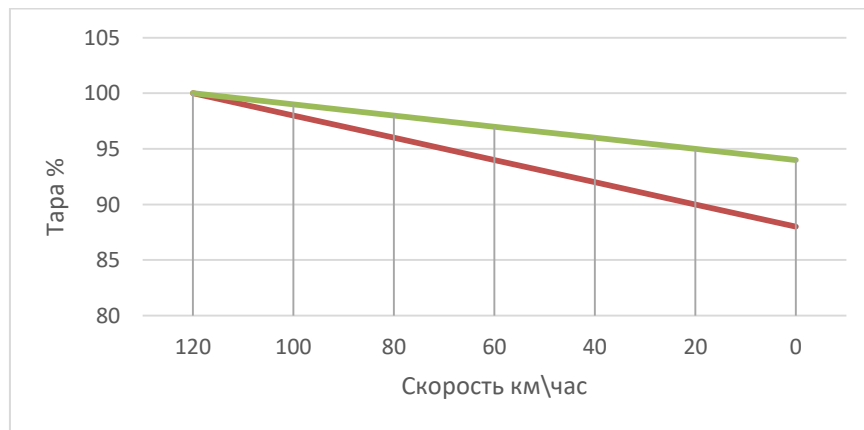


Рис. 5. Зависимость тары вагона от безопасной скорости

Выводы. В ходе проведенных исследований по определению безопасного показателя коэффициента запаса устойчивости колеса со схода с рельсов легковесных грузовых вагонов в поезде в пустом режиме на прямых и кривых отрезках железнодорожного пути в диапазоне эксплуатационных скоростей было установлено, что:

коэффициент запаса устойчивости колеса меняется в негативную сторону в зависимости от уменьшения тары более чем на 10% от нормативной;

плохое техническое состояния несущих элементов вагона, экипажной части вагона и расположения вагонов в голове и середине поезда. Наиболее благоприятным расположением легковесного вагона в составе поезда является хвост.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін О.В., Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів. *Вісник національного технічного університету «ХПІ»*. Харків., 2012 С.29-33.
2. Fomin O., Kulbovsky I., Sorochinska E., Sapronova S., Bambura O. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. *Eastern-European Journal of*

Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). P. 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>

3. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU*, Arłamów. 2016. P. 114–126.

4. Фомін, О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І. Сапронова С.Ю. Поліпшення несучої здатності вагона-хопера для перевезення зерна з метою підвищення опору динамічним зусиллям. *Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. – Северодонецьк: СНУ ім. В.Далі, 2017. – № 5(235) – С. 88-99.

5. V. Tkachenko, S. Saponova, I. Kulbovskiy, O. Fomin. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791

6. Fomin, O.V., Gostra A.V. Variations describe the structural designs of freight cars. *Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series. Transport systems and technologies*. 2015. №26-27. - P.137-147.

7. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., Shvets, A. Spatial vibration of cargo cars in computer modelling with the account of their inertia properties. *Mechanika*. 2010: Proc. of 15th Intern. Conference. P. 325-328.

8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., Kyryl'chuk O. Mathematical modeling of dynamic loading of cassette bearings for freight cars. *transport means. Proc. of 21st Intern. Scientific Conference – 2017*. P. 973-976.

9. Мороз В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків., 2009. С. 121 – 131.

10. Кельріх М. Б., Мороз В.І. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Далі*. Луганськ. 2014. №. 2. С. 210.

11. Макаренко М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагона. *Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України»*. Київ. 2014. №. 5. С. 107.

12. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон». *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків. 2008. С. 72-81.

13. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building. *East European journal of advanced technologies*. 2012. № 3/7(57). P. 32-35 p.

14. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів. *Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського»*. Кременчук. 2013. Вип. 6(83). С. 87-91.

15. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності. *Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства»*. Харків. 2015. № 4/1(24). С. 83-89.

16. Ловська А. О. Моделювання навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2018. Вип. 33. С. 28 – 32.

17. Ловська А. О. Дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі. *Зб. наук. праць ДУІТ*. Київ. 2018. Вип. 32, Т. 1. С. 71 – 80.

18. ГОСТ 33788-2016 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества.

REFERENCES

1. Fomin O.V. (2012). Rozrobka metodiki vprovadzhennja rıznih profiliv v jacosti skladovih elementiv nesuchih system vantazhnih vagoniv [Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars]. *Visnik Nacionalnogo tehničnogo universitetu «HPI»* [Bulletin of Nacionalnogo tehničnogo universitetu «HPI»], P.29-33.

2. Fomin, O., Kulbovsky, I., Sorochinska, E., Saponova, S., Bambura, O. (2017). Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>

3. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. (2016). The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU*, Arłamów, 114–126.

4. Fomin O.V., Prokopenko P.M., Gorbunov M.I. Saponova S.YU. (2017). Polipshennya nesuchoyi zdatnosti vahona-khopera dlya perevezennya zerna z metoyu pidvyshchennya oporu dynamichnym zusylyam [Improvement of the carrier capacity of the hopper car to transport the grain in order to increase the resistance by dynamic effort]. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya* [Bulletin Skhidnoukrayins'koho natsional'noho University Vladimir Dal], № 5(235). P. 88-99/

5 V. Tkachenko, S. Saponova, I. Kulbovskiy, O. Fomin. (2017). Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791

6. Fomin, O.V. (2015) Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars]. *Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies"*.26-27, P. 137-147.

7. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2010). Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties. *Mechanika*. Proc. of 15th Intern. Conf., 325-328.

8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. *Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf.*, 973-976.

9. Moroz V.I. (2009). Matematychnyy zapys zadachi optymizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noyi materia-loyemnosti [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capacity]. Zbirnyk naukovykh prats [Collection of scientific papers]. № 111. P. 121-131.
10. Kelrikh M. B., Moroz V. I. (2010). Strukturno-funktsionalne opysannia konstrukttsii modulia kuzova suchasnykh universalnykh napivvahoniv [The structural and functional design of the module body of modern universal gondola cars]. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia [Bulletin Skhidnoukrayins'koho natsional'noho University Vladimir Dal], 2 (210). P. 94-103.
11. Makarenko M. V. (2014). Kompleksnyi analiz ekonomichnoho efektu vid zhyttievoho tsyklu suchasnoho napivvahonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola], Naukovo-praktychny zhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy». №. 5. – С. 107.
12. Moroz, V.I. (2008). Vyznachennia perspektynykh napriamkiv udoskonalennia konstrukttsii napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon» [Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE" Ukrspetsvagon"]. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu, 72-81.
13. Fomin, A. V. (2012). The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building. East European journal of advanced technologies. 3/7(57), P. 32-35.
14. Fomin O.V. (2013). Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennia ta vykorystannia matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv [Theoretical foundations of the software complex for the determination and use of mathematical models of freight wagons]. Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrad's'koho». 6(83). P. 87-91.
15. Fomin, O. V. (2015). Vprovadzhennia of cruglic pipes in NESC systems napowan W zabezpecheny razvalyny pokaznikov mcnnet. The journal "Technology audit and production reserves". № 4/1(24) – P. 83-89.
16. Lova'ska A. O. (2018). Modelyuvannya navantazhenosti konteynera-tssystemy pry perevezenni u skladi kombinovanoho poyzida na zaliznychnomu poromi [Simulation of load of tank-container during transportation in the combined train on a railway ferry], Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI» [Bulletin of Nacionalnoho tekhnichnoho universitetu «KHPI»], 33. P. 28 – 32.
17. Lova'ska A.O. (2018). Doslidzhennia mitsnosti nesuchoyi konstrukttsiyi kuzova napivvahona pry perevezenni na zaliznychnomu poromi [Investigation of the durability of the bearing structure of the gondola body during transportation on the railway ferry], Zb. nauk. prats'. DUIT [Collection of scientific works DUIT]. 32, T. 1. P. 71 – 80.
18. GOST 33788-2016 Vagony gruzovyye i passazhirskyye. Metody ispytaniy na prochnost' i dinamicheskiye kachestva [in Russian]

Олексій Вікторович Фомін, д.т.н., проф.,
(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)
Павло Миколайович Прокопенко,
(аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)
Микола Іванович Горбунов, д.т.н., проф.,
(завідувач кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м Сєвєродонецьк)
Сергій Сергійович Сова
(аспірант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м Сєвєродонецьк)

СПОСІБ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ РУХУ ЛЕГКОВАГОВИХ ПОРОЖНІХ ВАГОНІВ

Безпека руху є найважливішою вимогою до роботи залізниць. Серед аварій на залізничному транспорті найбільшу небезпеку становить схід з рейок, це може призвести до тяжких наслідків. За результатами аналізу встановлено, що наслідками сходу є серйозні пошкодження рухомого складу, залізничних колій та інших елементів інфраструктури залізниці, зниження швидкості і порушення графіка руху поїздів. Істотним недоліком роботи залізничного транспорту є обмеження швидкості руху поїздів з легковажними вантажними вагонами в порожньому стані, обладнаних візками моделі 18-100.

У числі причин сходу коліс вагонів з рейок, пов'язаних з несправностями ходової частини вагонів, можна назвати такі: злам бічних рам і надресорна балок візків, злам осей і коліс,

несправності роликових підшипників буксового вузла, знос елементів фрикційних гасителів коливань і вузла обпирання кузова на надресорні балки, неприпустимі відхилення розмірів візків. Також важливою причиною є негативне зменшення тари вагона більш ніж на 10% від встановленої заводом виробником.

Зазначені несправності, зокрема, пов'язані з руйнуваннями елементів ходової частини, безпосередньо призводять до сходів вагонів. Однак, деякі з них прямо не викликають сход, але є причинами розвитку динамічних процесів, які викликають підвищену силову взаємодію рухомого складу.

Ключові слова: вагон, динамічні випробування, швидкість, запас стійкості, сход, несправність.

Alexey Fomin, Doctor of Technical Sciences, Professor,
(Professor of the department "Wagons and carriage facilities" State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv).

Pavel Prokopenko,
Ph. d. student, the department "Wagons and carriage facilities" State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv).

Mykola Gorbunov, Doctor of Technical Sciences, prof.,
(Head of the Department "Railway, Road Transport and Hoisting-and-Transport Machines", East Ukrainian National University named after V. Dal, Severodonetsk)

Sergey Sova
(Ph. d. student, of the department "Railway, road transport and hoisting-and-transport machines", V. Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk)

METHOD OF ASSESSMENT OF QUALITY INDICATORS OF MOVEMENT OF LIGHT WEIGHT CARS

Traffic safety is a crucial requirement for the operation of railways. Rail crashes have the greatest risk of derailment, with serious consequences. According to the results of the analysis, the consequences of the east are serious damage to the rolling stock, railway tracks and other elements of the railway infrastructure, slowing down and disruption of the train schedule. A significant drawback of railway transport is the restriction of the speed of trains with light-duty freight cars in the empty state, equipped with carts model 18-100.

Among the reasons for the rise of the wheels of the wagons from the rails associated with the malfunctions of the undercarriage of the wagons, the following can be called: breakage of the side frames and cantilever beams of carts, breakage of axles and wheels, malfunctions of roller bearings of the axle assembly, wear of elements of friction dampers oscillations and bodies on the beam beams, the deviations of the sizes of the carts are inadmissible. Another important reason is the negative reduction of the wagon container by more than 10% of the factory installed by the factory.

These faults, in particular those associated with the destruction of the undercarriage elements, directly lead to the descent of the wagons. However, some of them do not directly cause sunrise, but are the causes of the development of dynamic processes that cause increased force interaction of the rolling stock.

Keywords: wagon, running dynamic tests, speed, stability factor, descent, malfunction.

УДК 629.3.027.2

*Агарков Іван Валентинович
(аспірант кафедри Електричного транспорту Харківського національного
університету міського господарства імені О.М. Бекетова)*

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПІДСИЛЮВАЧА КЕРМА У СИСТЕМІ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ ТРОЛЕЙБУСА

Проведено аналіз методів розрахунку систем рульового керування транспортних засобів. Отримано залежність моменту опору повороту шини на місці від кута повороту керованого колеса тролейбуса при максимально-допустимому навантаженні на вісь. Визначені механічні параметри електричного підсилювача рульового керування тролейбуса.

Ключові слова: рульове керування, електропідсилювач, момент опору, кутова швидкість, крутний момент.

Вступ. Міський електричний транспорт відіграє важливу роль у житті будь-якого міста. Це, насамперед, пов'язано з необхідністю забезпечення населення мобільністю в рамках швидкого розширення території міст та приміських зон.

З розвитком інфраструктури та економічним ростом міста збільшується й необхідність обсягів перевезень, що впливає на ефективність роботи транспортних засобів та підприємств. Наприклад, зростання автомобілізації суспільства призводить до серйозних соціально-економічних проблем, а саме: викидів парникових газів, негативного впливу транспорту на стан здоров'я населення і навколишнього середовища; підвищення аварійних ситуацій; збільшення витрат, пов'язаних із транспортними заторами, тощо.

Для зменшення показаних проблем в інфраструктурі міста ефективним є використання екологічного міського електротранспорту. Одним з найпоширеніших видів такого транспорту в Україні є тролейбус.

Сучасний низькопідлоговий тролейбус відповідає багатьом вимогам щодо безпеки, комфортабельності та економічності. Однак даний вид транспорту все ще потребує впровадження сучасних науково-технічних рішень в конструкцію окремих вузлів та агрегатів. Особлива увага в конструкціях тролейбусів приділяється тим елементам (наприклад, рульового керування, електрообладнання тощо), що пов'язані з безпекою пасажирів та комфортності перевезень.

Аналіз систем рульового керування тролейбусів [1] виявив основні недоліки конструкції підсилювачів рульового керування гідравлічного типу:

- неможливість тримати рульове колесо в крайньому положенні більше п'яти секунд, інакше відбудеться перегрів масла в системі, що призводить до її поломки;

- необхідність частішого обслуговування: заміна рідини, слідкування за рівнем масла в системі, перевірка стану приводів, цілісність шлангів і насоса підсилювача;

- робота насоса гідропідсилювача безпосередньо пов'язана з двигуном. Під час роботи таких елементів насос постійно відбирає у мотора частину потужності, яка при прямолінійному русі (гідропідсилювач не задіяний) витрачається даремно;

- неможливість налаштувати режими роботи механізму залежно від умов руху.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-6

З урахуванням аналізу проблем, а також вимог щодо рульового керування тролейбусів запропоновано рішення підвищення енергоефективності роботи рулевих систем тролейбусів за рахунок використання принципу дії електропідсилювачів рульового керування.

Мета роботи. Визначення механічних параметрів електричного підсилювача рульового керування тролейбуса ЛАЗ Е183Д1.

Актуальність теми роботи обумовлена доцільністю розробки та створенню рульового керування тролейбуса, яке має високу енергоефективність і просту конструкцію в порівнянні з традиційною.

Аналіз методів розрахунку рульового керування транспортних засобів. Для визначення параметрів електричного підсилювача рульового керування транспортного засобу необхідно встановити сили, які впливають на зусилля при повороті рульового колеса водієм тролейбуса. Вони залежать від конструктивної схеми рульового керування, траєкторії руху, швидкості, маси тощо.

Результати дослідження [2] показали, що на керуючі колеса транспортного засобу діє момент, який складається з сукупності моментів відносно осі шворня керованого колеса:

$$M_{зб} = M_{\omega} + M_p + M_{ш} + M_{мр} + M_j + M_{ст} + M_{рб} + M_{рп} + M_{зп}, \quad (1)$$

де $M_{\omega}, M_p, M_{ш}, M_{мр}, M_j, M_{ст}, M_{рб}, M_{рп}, M_{зп}$ – відповідно момент опору повороту шини, пружний момент у рульовому керуванні, стабілізуючий момент шини керованого колеса, що котиться з відведенням, момент тертя у шкворневому вузлі керованого моста, момент інерції, ваговий стабілізуючий момент, швидкісний стабілізуючий момент, момент від рівнодіючої поздовжніх сил, гіроскопічний момент.

Проведені дослідження [2] визначають, що вплив моментів від рівнодіючої поздовжніх сил $M_{рп}$, швидкісного стабілізуючого моменту $M_{ш}$ та гіроскопічного $M_{зп}$ є незначними.

Тому розрахунок конструктивних параметрів підсилювача рульового керування транспортного засобу проводиться відповідно щодо максимального моменту опору повороту шини керованих коліс. На поверхнях з високим коефіцієнтом зчеплення при повороті керованого колеса на місці, момент опору повороту шини M_{ω} досягає близько 90% від загального значення [3,4,6]. Зменшення моменту опору повороту шини M_{ω} відбувається під час руху, що у свою чергу призводить до зменшення загального моменту опору повороту керованих коліс.

На основі робіт [3,4,5] визначено, що момент опору повороту шини залежить від кута повороту керованого колеса. При цьому залежність моменту опору від кута повороту шини поділяють на:

ділянку лінійної залежності $M_{\varphi} = f(\Theta)$;

ділянку нелінійної залежності $M_{\varphi} = f(\Theta)$;

ділянку граничного за зчепленням моменту опору повороту шини $M_{\varphi_{\max}}$, який не залежить від кута повороту колеса Θ .

Під час повороту керованого колеса на кут до 5° відбувається пружне закручування тіла шини. При цьому кожна точка контактної відбитку шини знаходиться в стані зчеплення з опорною поверхнею. У даному випадку залежність $M_{\varphi} = f(\Theta)$ можна умовно назвати лінійною. Значення моменту опору визначається за формулою:

$$M_{\varphi} = c_{\omega} \Theta, \quad (2)$$

де c_{ω} – кутова жорсткість шини, Н·м/град;

Θ – кут повороту керованого колеса, град.

Значення кутової жорсткості шини визначається за емпіричною залежністю [4,5]:

$$c_{\omega} = kG_k \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

де G_k – навантаження на кероване колесо, Н;

k – визначають у діапазоні 9-11 [4,5].

При кутах повороту керованого колеса у діапазоні 5-13° контактний відбиток шини має зони ковзання та зчеплення. Момент опору повороту шини при цьому визначають [4,5], як :

$$M_{\varphi} = M_{\varphi \max} - (M_{\varphi \max} - c_{\omega} \Theta) \left(\frac{\Theta_B - \Theta}{\Theta_B - \Theta_A} \right)^2 \quad (4)$$

де $M_{\varphi \max}$ – граничний за зчепленням момент опору повороту шини;

Θ_A – максимальний кут повороту колеса на лінійній ділянці, $\Theta_A = 5^\circ$;

Θ_B – мінімальний кут повороту колеса на ділянці з граничним зчепленням,

$\Theta_B = 13^\circ$.

Для визначення граничного за зчепленням моменту опору повороту шини рекомендується використовувати залежність [3,4]:

$$M_{\varphi \max} = \frac{G_k \cdot \varphi}{16ab} \left[\begin{aligned} &(a+2y)(b+2l_0) \sqrt{(a+2y)^2 + (b+2l_0)^2} + \\ &+(a-2y)(b+2l_0) \sqrt{(a-2y)^2 + (b+2l_0)^2} + \\ &+(a+2y)(b-2l_0) \sqrt{(a+2y)^2 + (b-2l_0)^2} + \\ &+(a-2y)(b-2l_0) \sqrt{(a-2y)^2 + (b-2l_0)^2} \end{aligned} \right], \quad (5)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення шини з контактною поверхнею;

a, b – сторони приведенного рівновеликого прямокутника контактної відбитку шини з контактною поверхнею, м;

y – плече стабілізації, м;

l_0 – плече обкатки, м.

Плече обкатки та плече стабілізації залежать від конструктивних особливостей моста керуючих коліс. Згідно з літературою [4,5] визначаються за формулами:

$$l_0 = l_y - r_k \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{ш} + \gamma_{ш0}) \quad (6)$$

$$y = r_k \cdot \operatorname{tg} \beta_{ш} \quad (7)$$

де l_y – довжина цапфи, м;

r_k – радіус керуючого колеса, м;

$\alpha_{ш}$ – кут поперечного нахилу шворня, рад;

$\gamma_{ш0}$ – кут розвалу керуючого колеса, рад;

$\beta_{ш}$ – кут повздовжнього нахилу шворня, рад.

З подальшим збільшенням кута повороту керованого колеса Θ у контактної відбитка відсутні зони зчеплення [3,4], тому момент опору повороту шини відповідає залежності $M_{\varphi} = M_{\varphi \max}$.

Визначення параметрів системи рульового керування на прикладі моделі тролейбуса ЛАЗ Е183D1. Для розрахунку параметрів рульового керування тролейбуса ЛАЗ Е183D1 необхідно визначити основні технічні характеристики [7]:

максимальне технічно-допустиме навантаження, яке припадає на передню вісь, враховуючи масу пасажирів, що складає – 6500 кг;

максимальний кут повороту колеса – 40° ;

шини – радіальні, безкамерні, розмірністю 275/70 R22,5;

зовнішній діаметр колеса – 0,957 м.

Передня керована вісь тролейбуса ЛАЗ Е183D1 (рис. 1) являє собою порталну балку двотаврового перерізу в зборі з шарнірами рульової тяги і дисковими гальмівними механізмами [8].

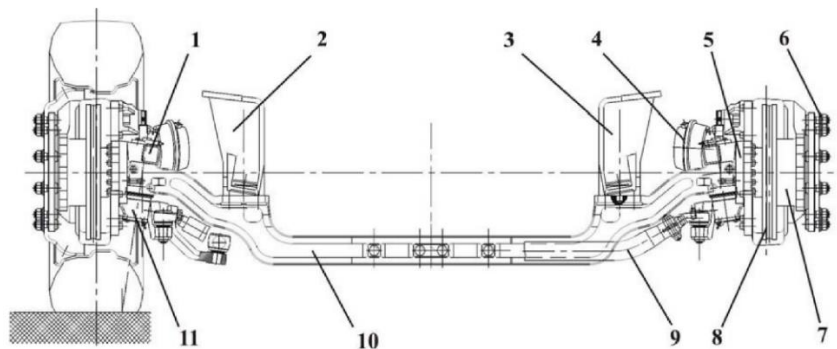


Рис.1. Передня вісь тролейбуса ЛАЗ Е183D1:

- 1 – підшипник шворня верхній; 2, 3 – кронштейн пневмобалону; 4 – гальмівна камера; 5 – поворотна цапфа; 6 – болти та гайки кріплення коліс;
7 – маточина; 8 – гальмівний диск; 9 – поперечна рульова тяга;
10 – балка передньої осі; 11 – підшипник шворня нижній

Керована вісь має такі технічні характеристики [8]:

розвал коліс – 1° ;

поздовжній нахил шворня – $2^\circ 30'$;

поперечний нахил шворня – 4° .

На основі поданої вище методики та технічних параметрів тролейбуса ЛАЗ Е183D1 проведено розрахунок і отримано залежність (рис. 2) моменту опору повороту шини від кута повороту $M_{\varphi} = f(\Theta)$ при максимально-допустимому навантаженні на вісь.

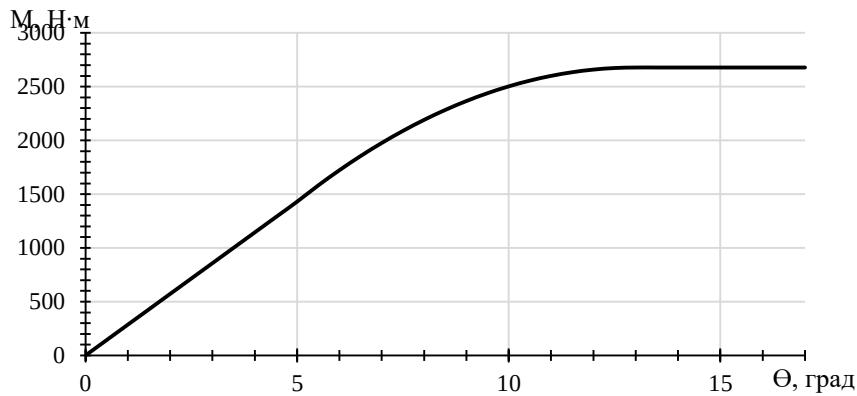


Рис. 2. Залежність моменту опору повороту шини керованого колеса на місці від кута повороту колеса

Отримана залежність $M_\varphi = f(\Theta)$ (рис. 2) дозволяє визначити необхідний крутний момент електричного підсилювача керма для забезпечення необхідної легкості керування транспортним засобом. При цьому оптимальна характеристика залежності зусилля водія від моменту опору (рис. 3) має забезпечувати надійний зворотній зв'язок при керуванні транспортним засобом (відчуття дороги) [1].

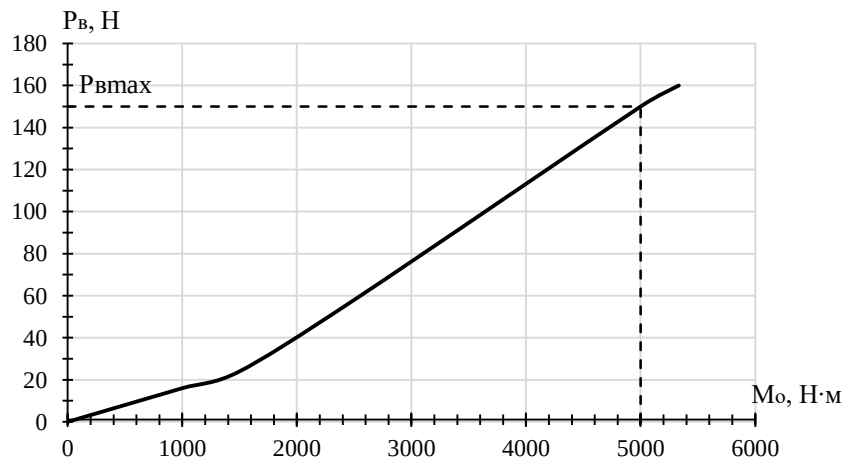


Рис.3. Залежність зусилля водія (Pв) від моменту опору (Mφ)

Динамічні показники, яким має відповідати електричний підсилювач рульового керування, визначають на основі технічних характеристик рульового механізму з системою передачі зусилля від рульового колеса водієм транспортного засобу.

Стандартний рульовий механізм тролейбуса ЛАЗ Е183D1 має передавальне відношення $i = 23,2$.

Водій повертає рульове колесо з максимальною частотою обертання близько 1,5 об/с, тому кутову швидкість валу сошки електропідсилювача рульового приводу можна визначити, як:

$$\omega_c = n \frac{2\pi}{i} \quad (8)$$

де i – передавальне відношення рульового механізму;
 n – частота обертання рульового колеса, об/с.

Виходячи з формули (8) кутова швидкість валу сошки електропідсилювача рульового приводу тролейбусу ЛАЗ Е183D1 становить $\omega_c = 0,41$ рад/с.

Проведений розрахунок показав, що механічні параметри електропідсилювача рульового керування тролейбусу ЛАЗ Е183D1 мають відповідати наступним:

- крутний момент на валу електропідсилювача, не менше 5000 Н·м;
- кутова швидкість вихідного валу електропідсилювача, не менше 0,41 рад/с.

Висновки. Розрахунок конструктивних параметрів системи рульового керування представляє собою визначення моментів, які впливають на зусилля водія повороту керованих коліс, стійкості транспортного засобу, динамічних показників рульового керування. Значну частину моменту опору при повороті керованих коліс на місці складає момент опору повороту шини, відносно якого ведуть розрахунок параметрів підсилювача рульового керування. В роботі на підставі аналізу методів розрахунку рульового керування отримано залежність моменту опору повороту шини керованого колеса на місці від кута повороту при максимально-допустимому навантаженні на вісь тролейбуса ЛАЗ Е183D1. Визначено механічні параметри, яким має відповідати електричний підсилювач рульового керування тролейбусу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Павленко Т.П., Скуріхін В.І., Колотило В.І., Агарков І.В. Аналіз проблем системи рульового керування тролейбусів та перспективи їх вирішення. // Збірник наукових праць ДУІТ, Серія «Транспортні системи і технології», 2018. Вип. 32, с. 115-123.
2. Яценко Д. М. До визначення моментів, що діють на керуючий колісний модуль автомобіля. // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія., 2011. Вип. 8., с. 229-234.
3. Клімов Е.С. Щодо визначення моменту опору повороту шини керованого колеса на місці. // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк, 2014. Вип. №46, с.246-251.
4. Солтус А.П., Основы теории рабочего процесса и расчета колесных управляющих модулей: монография // Деп. в Укр. НИИТИ №501-Ук90 ВИНТИ "Деп. науч. труды", 1990. – № 7(290), б/о с.203 - 234
5. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория: учебник для вузов. // Минск : Выш.шк., 1986., 207 с.
6. Кошарний М.Ф., Основы механики та енергетики автомобіля. // -Київ: Вища шк., 1992. 200 с., с. –128-155.
7. Далека В.Х., Хворост, В.І. Скуріхін, Д.І. Скуріхін. Рухомий склад міського електричного транспорту. Механічна частина // Навчальний посібник. Х.: ХНУМГ імені О. М. Бекетова, 2018. 370 с.
8. Тролейбус Е183D1-01. Керівництво з експлуатації, Львів, 2006р.-277с.
9. Солтус А.П., Клімов Е.С. Дослідження особливостей кінематики відбитка шини керованого колеса при повороті на місці з розблокуванням приводом // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2011. №1/2011 (66), част. 1. С. 75–79.
10. Юр'єва Т. Якість надання послуг міським електротранспортом. *Устойчивое развитие городов. Электрический транспорт – перспективы развития и кадровое обеспечение*; матер. конф. – Харків: ХНАМГ, 2009. С. 52-54.
11. Солтус А.П., Пилипенко В.І., Вплив плеча обкатки на граничний за зчепленням момент повороту шини // Вісник КДПУ. 2008. № 1/2008 (48), част.1. С. 71–74.
12. Солтус А. П., Клімов Е.С. Дослідження моменту опору повороту шини керованого колеса на місці залежно від довжини цапфи // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2012. №4. С. 88–93.
13. Солтус А. П., Клімов Е.С., Пилипенко В.І. Дослідження впливу положення точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею на поворот керованого колеса на місці // Машинознавство. 2009., №6. С.41–44.
14. Клімов Е. С. Щодо питання визначеності вагового стабілізуючого моменту // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського., 2009. Вип.1 (54). Ч. 1., С. 61 – 65.
15. Клімов Е. С. Вдосконалення методу розрахунку моменту опору повороту шини залежно від конструктивних параметрів керованого моста : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 "автомобілі та трактори" / Клімов Едуард Сергійович. Львів, 2013. – 22 с.

REFERENCES

1. Pavlenko T.P., Skurikhin V.I., Kolotilo V.I., Aharkov I.V., (2018) *Analiz problem systemy rulovoho keruvannia troleibusiv ta perspektyvy yikh vyrishennia* [Analysis of problems of the trolleybuses steering system and perspectives for their solution], Collection of scientific works of DUIT. Series «Transport Systems and Technologies», 2018, issue 32. part.1, pp. 115-123.
2. Yashhenko D. M., (2011) *Do vyznachennya momentiv, shho diyut na keruyuchyj kolisnyj modul avtomobilya* [Determine the moments acting on the steering wheel module of the car], Project management, system analysis and logistics. Technical series. - issue 8. - pp. 229-234.
3. Klimov E.S., (2014) *Shhodo vyznachennya momentu oporu povorotu shy`ny` kerovanogo kolesa na misci.* [Regarding determining the moment of resistance of the steering wheel tire in place.], Intercollegiate collection 'SCIENTIFIC NOTES'. Lutsk, 2014. Issue №46, p.246-251.
4. Soltus. A. P.,(1990) *Osnovy teorii rabochego proczessa i rascheta kolesny`kh upravlyayushhikh modulej: monografiya*, [Fundamentals of the theory of the working process and the calculation of wheel control modules: a monograph], Scientific works, pp 203-234
5. Grishkevich A.I., (1986) *Avtomobili.Teoriya: uchebnik dlya vtuzov* [Cars. Theory: a book for technical colleges], Minsk: Higher School, 207p.
6. Kosharnyj M.F., (1992) *Osnovy mexaniky ta energetyky avtomobilya.*, [Fundamentals of car mechanics and energy], Kyiv: Higher School, pp. 128-155
7. Daleka V.H., Hvorost M.V., Skurihin V.I., Skurihin D.I. (2018). *Ruhomiy sklad mIskogo elektrichnogo transportu. Mehanichna chastina* [Rolling stock of urban electric vehicles. Mechanical part] Tutorial, Kharkiv, NUUE in Kharkiv.
8. *Trolejbus E183D1-01. Kerivny`cztvo z ekspluataciyi*, (2006) [Trolley bus E183D1-01. Operation manual], Lviv, 277 p.
9. Soltus. A. P., Klimov E.S., (2011) *Doslidzhennia osoblyvostei kinematyky vidbytka shyny kerovanoho kolesa pry povoroti na misti z rozblokovanym pryvodom* [Investigation of Kinematics Features of the Steering Wheel Tire Imprint when Turning in Place with the Unlocked Drive] Mikhail Ostrogradsky Kremenchuk National University , №1, part 1, pp75-79.
10. Yur`eva T. (2009) *Yakist nadannya poslug miskim elektrotransportom* [Quality of city electric transport services], Ustoychivoe razvitie gorodov. Elektricheskij transport – perspektivy razvitiya i kadrovoe obespechenie [Sustainable urban development. Electric transport - development prospects and staffing], scientific conference, . Kharkiv, KNAME, pp. 52-54.
11. Soltus. A. P., Pylypenko V.I., (2008) *Vplyv plecha obkatky na hranychnyi za zcheplenniam moment povorotu shyny* [Influence of the running arm on the ultimate grip moment of tire rotation], Bulletin of KNPI issue 48, part 1, pp.71-74.
12. Soltus. A. P., Klimov E.S., (2012) *Doslidzhennia momentu oporu povorotu shyny kerovanoho kolesa na misti zalezno vid dovizhny tsapfy.* Mikhail Ostrogradsky Kremenchuk National University. №4, pp.88-93
13. Soltus. A. P., Klimov E.S., Pylypenko V.I., (2009) *Doslidzhennia vplyvu polozhennia tochky zustrichi osi shvornia z opornoju poverkhnei na povorot kerovanoho kolesa na misti* [Investigation of the influence of the position of the meeting point of the axis of the pin with the support surface on the rotation of the steered wheel in place], Mechanical Science №6, pp. 41-44.
14. Klimov E.S., (2009) *Shhodo pytannia vyznachnosti vahovoho stabilizuiuchoho momentu* [Concerning the certainty of weight stabilizing moment], Mikhail Ostrogradsky Kremenchuk National University. Issue 1(54), part 1, pp. 61-65
15. Klimov E.S., (2013) Extended abstract of PhD dissertation (Cars and tractors) *Vdoskonalennia metodu rozrakhunku momentu oporu povorotu shyny zalezno vid konstruktyvnykh parametriv kerovanoho mosta* [Improvement of the method of calculation of the moment of resistance of a turn of the tire depending on design parameters of the operated bridge]., Lviv, 22 p.

Азарков Иван Валентинович
(аспирант кафедры Электрического транспорта Харьковского национального
университета городского хозяйства имени А.Н.Бекетова)

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
УСИЛИТЕЛЯ РУЛЯ В СИСТЕМЕ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСА**

Проведен анализ методов расчета систем рулевого управления транспортных средств. Получена зависимость момента сопротивления повороту шины на месте от угла поворота управляемого колеса троллейбуса при максимально-допустимой нагрузке на ось. Определены механические параметры электрического усилителя рулевого управления троллейбуса.

Ключевые слова: рулевое управление, электроусилитель, момент сопротивления, угловая скорость, крутящий момент.

Aharkov Ivan Valentynovych
(PhD degree student of the Department of Electrical Transport of National University of Urban Economy in Kharkiv)

**DETERMINATION OF MECHANICAL PARAMETERS OF ELECTRIC POWER
STEERING OF THE TROLLEYBUS STEERING SYSTEM**

The methods of calculation of steering systems of vehicles are analyzed. The main factors that influence the driver's efforts when turning steered wheels are identified. They depend on the design of the steering, the trajectory of movement, speed, mass. It is determined that on surfaces with high coefficient of adhesion when turning the steered wheels in place, a significant part of the moment of resistance when turning the wheels is the moment of resistance of the tire rotation.

Reducing the torque of the tire occurs while driving, which in turn reduces the overall torque of the steered wheels. The characteristic of the moment of resistance of the rotation of the tire is non-linear, which complicates the calculation. Therefore, for the calculation of the characteristic is divided into sections with conditionally the same dependence.

The dependence of the moment of resistance of the rotation of the tire on the spot on the angle of rotation of the steered wheel of the trolleybus with the maximum allowable load on the axle was obtained.

The dependence of the driver's effort on the moment of resistance on the steered wheels is shown. The mechanical parameters of the electric power steering of the trolleybus are determined.

Keywords: *steering system, electric power steering, torque, torque of resistance, angular speed.*

УДК 338.47:629.4

Андрій Сулим, к.т.н.

(заступник директора з наукової роботи Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» ДП «УкрНДІВ»),

Павло Хозя, к.т.н., старший дослідник

(завідувач науково-дослідної лабораторії експериментальних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» ДП «УкрНДІВ»),

Юшко Олександр,

(молодший науковий співробітник, науково-дослідної лабораторії експериментальних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» ДП «УкрНДІВ»),

Хвоєнко Євгеній,

(молодший науковий співробітник, науково-дослідної лабораторії експериментальних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» ДП «УкрНДІВ»),

Третьак Едуард,

(провідний інженер, науково-дослідної лабораторії експериментальних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» ДП «УкрНДІВ»).

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВАГОНБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ

В статті досліджено сучасний стан вагонобудівної галузі в Україні, розглянуто основні проблеми та перспективи розвитку вагонобудівних підприємств і передумови їх виникнення. Сформульовано проблеми, які стримують розвиток вагонобудівного комплексу України. Наведено основні шляхи вирішення сучасних проблем та пропозиції щодо поліпшення роботи вагонобудівних підприємств України. Виявлено перспективні напрями розвитку галузі вітчизняного вагонобудування.

Ключові слова: вагонобудівні підприємства, проблеми, перспективи, розвиток.

Вступ. Вагонобудування в Україні – дуже перспективна галузь, оскільки залізничний транспорт є одним із вагомих чинників нормального існування економіки країни. Залізничний транспорт забезпечує значну частину вантажних та пасажирських перевезень (близько 20 % від усіх вантажних перевезень припадає на залізничний транспорт [1]). На сьогоднішній день у вагонобудуванні склалася досить несприятлива ситуація, яка потребує термінового вирішення для подальшого нормального функціонування галузі.

Аналіз останніх досліджень. Відмічено необхідність прийняття конкретних рішень з масштабного розвитку вагонобудівних підприємств, важливість укріплення партнерських відносин з зарубіжними вагонобудівними підприємствами, об'єднання зусиль вітчизняних

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-7

транспортних компаній по створенню нових інноваційних продуктів, розвитку залізничної інфраструктури, міжнародних транспортних коридорів і багатьох важливих аспектів розвитку залізничного транспорту.

Мета і завдання дослідження. В статті пропонується дослідити сучасний стан вагонобудівної галузі, розглянути основні наявні проблеми та перспективи розвитку вагонобудівних підприємств і передумови їх виникнення. Сформульовано проблеми, які стримують розвиток вагонобудівного комплексу України, виявлено перспективи щодо розвитку галузі та запропоновано шляхи вирішення цих проблем.

Матеріали та методи дослідження

Вплив зовнішніх чинників на проблеми вагонобудування в Україні

Світовий ринок продукції залізничного вагонобудування включає в себе широку гамму продукції. Найбільші виробники залізничних вагонів світу належать США, Канаді та азіатським країнам – Японії, Гонконгу, Китаю. Основними споживачами продукції залізничного машинобудування є країни Європи, Азії і Північної Америки, які мають крупні вагонні парки, а також розгалужену залізничну мережу.

У теперішній час найвища концентрація великих залізничних виробників зосереджена в Європі. На даний час там нараховується три домінуючих на світовому ринку виробники – Bombardier (канадський виробник зі штаб квартирою та крупними виробничими потужностями в Німеччині), Alstom (Франція) та Siemens (Німеччина). Разом з такими підприємствами, як «Kawasaki/Hitachi» (Японія), «General Electric» (США), «Vossloh» (Німеччина) и «General Motors» (США), вказані три корпорації утримують до 70% світового ринку продажу залізничної техніки та комплектуючих до них. Однак, якщо до нещодавнього часу європейські виробники утримували левову частку внутрішнього європейського ринку та половину світового ринку з виробництва залізничної продукції (локомотиви та вагони) та комплектуючі до них, то останнім часом ситуація стрімко змінюється, оскільки все більшу роль на світовій арені починають відігравати китайські виробники.

Лідерські позиції вищевказані компанії утримують завдяки:

1. Створенню інноваційного та конкурентоспроможного рухомого складу (залізничної продукції);
2. Передовим технологіям виробництва;
3. Масштабній державній підтримці галузі вагонобудування;
4. Законодавчій та регуляторній політиці країн виробників рухомого складу.

Отже, основними зовнішніми перешкодами, які впливають на розвиток вітчизняного вагонобудування, є необхідність високих конструкційних та технологічних вимог до залізничного транспорту. Порівняльний аналіз розробок вітчизняного вагонобудування свідчить про значне відставання від закордонного рівня. Також, використовуваний на зарубіжних залізницях ряд потужностей в 2-3 рази ширше, ніж в Україні. Техніко-економічні характеристики серійної продукції залишилися на рівні 60-80 років ХХ ст., а виробнича база багатьох підприємств не дозволяє оперативно збільшувати обсяги та переорієнтовувати виробництво на випуск сучасної конкурентоспроможної продукції, що відповідає світовим стандартам.

Внутрішні чинники, що спричиняють стагнацію вагонобудування в Україні

Одним із ключових факторів внутрішнього середовища, що перешкоджає ефективному розвитку вагонобудівних підприємств України, є застарілі основні виробничі фонди [2]. Фізичний знос устаткування на більшості підприємств становить 60 – 80%. Доцільно також виділити таку проблему, як рівень фінансування галузі. На жаль, основні статті економії вагонобудівних підприємств – це витрати на науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, заробітна плата працівників. Тому рівень інноваційного розвитку неприпустимо низький, особливо в порівнянні з європейськими країнами. В цілому більшість проблем розвитку вагонобудівних підприємств досить загальні для машинобудівного комплексу.

Ключовими проблемами вагонобудівних підприємств та передумовами їх виникнення є:

високі ставки оподаткування та необхідність їх своєчасної сплати; підвищення тарифів на залізничні перевезення (передумова виникнення – відсутність державної підтримки) [3];

низький рівень попиту на продукцію з боку приватних підприємств (передумова виникнення – відсутність необхідності придбання значних обсягів вагонобудівної продукції, що пов'язано з незначними обсягами перевезень) [4];

низька платоспроможність замовників внутрішнього ринку;

обмеженість ринку збуту (передумови виникнення – специфічність продукції: вітчизняні вагони можуть бути використані тільки для ширини колії 1 520 мм (Україна, Росія, інші країни СНД та Балтії));

відсутність виходу на міжнародний ринок (передумови виникнення – низький техніко-технологічний рівень виробництва; висока собівартість та, як наслідок, висока ціна на продукцію; тривалість строку виконання замовлень) [5];

недостатня кількість металопродукції на ринку України, яке заважає розвитку внутрішнього ринку вагонобудування;

використання вагонів з подовженим терміном служби;

зменшення швидкості оборотності вантажних вагонів (мається на увазі відсутність відповідних потужностей на залізничних станціях). Припортові залізничні станції в Одесі, Чорноморську, Миколаєві мають низьку пропускну здатність, що значно поступається потужностям припортових терміналів.

В 2019 році в Україні стало на 16% більше робочого парку вантажних вагонів ніж в 2017 році. При цьому вантажна база в 2019 році впала на 7% відносно 2017 року. Виходить, що для перевезення меншої кількості вантажів було використано більше вагонів. Це говорить про зниження ефективності роботи української залізниці. Зростання кількості вагонів не приводить до росту вантажної бази. Також вплив на експлуатацію вантажних вагонів має дефіцит локомотивів.

Падіння виробництва змушує вагонобудівників вживати антикризові заходи. Перша група заходів стосується скорочення витрат і полягає в оптимізації штату працівників і скороченні робочого тижня. Друга група пов'язана з пошуком альтернативних джерел доходу.

Після кризи 2015 року, коли виробництво вагонів в Україні впало в 50 раз до 1,1 тисяч вагонів, починаючи з 2016 по 2018 рік вагонобудівна галузь почала нарощувати об'єми виробництва, в основному за рахунок замовлень «Укрзалізниці». Згідно з даними Державної служби статистики України, в 2016 році ріст складав 2,5 рази, в 2017 – 2,4 рази, в 2018 – 1,6 рази. Експерти стверджують, що ринок перенасичений, на коліях УЗ регулярно простоюють сотні вагонів, а вагонобудівну галузь знову чекає стагнація [6].

Аналіз вагонобудування вітчизняних виробників вагонів за 2019 рік

За підсумками 2019 року найбільшими виробниками вантажних вагонів в Україні є: ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод», ПрАТ «Дніпровагонмаш», ДМЗ «Карпати», ТДВ «Попаснянський вагоноремонтний завод» (рис. 1).

ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (далі – ПАТ «КВБЗ») в 2019 році у порівнянні з 2018 роком збільшив виробництво вантажних вагонів на 41,7% – до 5237 штук. З числа напіввагонів було збудовано 2401 одиниця, цементовозів – 103, вагонів для перевезення мінеральних добрив – 701, зерновозів – 2032.

ПрАТ «Дніпровагонмаш» в минулому році випустив 1939 вантажних вагонів. Номенклатура представлена цементовозами, фітінговими платформами та критими вагонами. Варто відмітити, що ПрАТ «Дніпровагонмаш» в 2019 році показав зниження об'ємів на 16% у зрівнянні з 2018 роком, коли виробив 2312 вагонів.

ТДВ «Попаснянський вагоноремонтний завод» у минулому році збудував 1090 напіввагонів.

Augum Group (ТОВ «Дизельний завод») в 2019 році виробила 279 вантажних вагонів (251 напіввагон та 28 зерновозів), що більше на 12,5% ніж в 2018 році, коли компанією було збудовано 248 вагонів.

Дослідно-механічний завод «Карпати», який в 2018 році випустив 1 тисячу вагонів, за результатами 2019 року збільшив цей показник більш ніж на 40%. В 2019 році завод виробив 1428 вагона, з яких 1008 зерновозів, 403 напіввагони та 17 фітінгових платформ.

ТОВ «Гірничотранспортна компанія» (м. Кривий Ріг), підприємство, що займається випуском рухомого складу для експлуатації на коліях промислових підприємств – за минулий рік збудувало 241 думпкар.

А такі заводи, як ДП «Стрийський вагоноремонтний», ПрАТ «Верхньодніпровський машинобудівельний», ТОВ «Полтавахіммаш» випустили від одного до трьох десятків вагонів. [6].

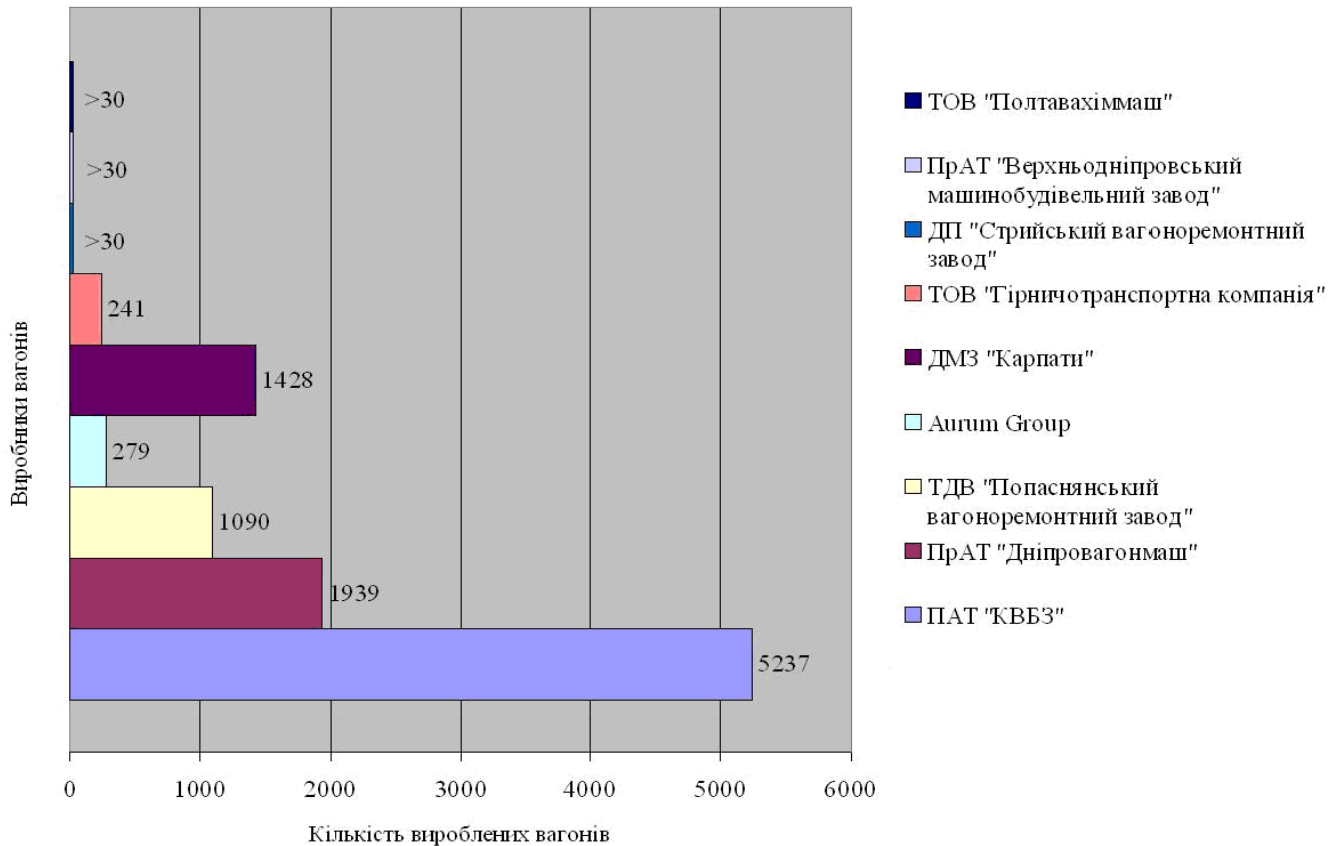


Рис. 1. Кількість вироблених вантажних вагонів за 2019 рік

Щодо виробництва пасажирських вагонів, то на ринку пасажирського вагонобудування можна виділити лише два основних виробники:

ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод»;

ТОВ «Харківський вагонобудівний завод».

Протягом 2019 року Крюківським вагонобудівним заводом за замовленням АТ «Укрзалізниця» виготовлено та передано для експлуатування 18 пасажирських вагонів. Серед поставленого рухомого складу 16 спальних вагонів купейного типу і 2 спальні вагони типу СВ.

Харківський вагонобудівний завод в 2019 році не виконував робіт з виготовлення пасажирських вагонів.

Шляхи вирішення сформованої ситуації у галузі вагонобудування та перспективи розвитку

Щоб в цілому змінити ситуацію необхідно підвищити операційну ефективність АТ «Укрзалізниця», а вагонобудівникам та користувачам їх продукції переходити від кількості до якості – розробляти та використовувати інноваційні вагони. Цей процес доволі тривалий, але в підсумку можна отримати сучасний інноваційний вагонний парк.

Наступним кроком, що дозволить реанімувати галузь, є поступова заборона ввезення із закордону вантажних вагонів з вичерпним терміном служби. Також важливу роль відіграють

структурні зміни на підприємствах, особливо це стосується підсилення кадрової ролі напрямів торгівлі на ринках СНД і Європи та вдосконалення структури, а також алгоритмів роботи конструкторського та технологічного підрозділів [7].

Особливу увагу займає залежність вагонобудівної галузі від інвестиційних планів і можливостей АТ «Укрзалізниця».

Стратегія розвитку галузі має бути направлена на виробництво та поставку вантажних вагонів під конкретні цілі, поставку вагонів до країн Митного Союзу в разі нормалізації відносин, перепрофілювання на інші типи інноваційних вагонів, виробництво комплектуючих до інших вагонобудівних підприємств, у тому числі країн Європи.

Модель економічного розвитку для промислових підприємств залізничної галузі має будуватися на основі взаємодії всіх учасників, задіяних на всіх стадіях життєвого циклу створення інноваційної вагонобудівної продукції, включаючи конструкторів-розробників інновацій та її кінцевих споживачів.

Особливу увагу необхідно приділити адаптації вагонобудівників до змін конкурентного середовища, що дає змогу швидше і точніше визначити напрями і засоби підвищення конкурентоспроможності підприємств вагонобудівної галузі. Не менш важливою особливістю, яку необхідно враховувати, є активна співпраця з лідерами світового вагонобудування – Bombardier, Alstom, Siemens та перейняття передового досвіду й їх технологій, але вивести свою продукцію в світові лідери неможливо без масштабної державної підтримки [8].

Одним з перспективних сценаріїв розвитку європейського вагонобудування є створення спільних підприємств. Якщо поглибитися в історію сучасних гігантів, то можна побачити цілий ряд подібних угод. Компанія Bombardier Inc у другій половині 1980-х почала експансію в Європу з придбання двох великих вагонобудівних підприємств Brugeoise et Nivelles (Бельгія) і ANF Industrie (Франція). В 1996 році канадці здійснили ще одну велику угоду, придбавши німецький машинобудівний концерн Adtranz (останній був також утворений внаслідок злиття декількох більш менших виробників). Ці три виробники працюють і на даний момент, але вже під брендом Bombardier Transportation. В результаті вагонобудівельний бізнес Bombardier Inc. виявився зосереджений в Європі. Аналогічний шлях пройшли і інші гіганти. Siemens Mobility поглинув великого німецького виробника трамваїв і поїздів Düwag, а Alstom – польську компанію Konstal. Таких прикладів можна знайти дуже багато. Головна перевага заключається в тому, що підприємство, хоча і втрачає свій унікальний бренд, але зберігає свої виробничі потужності.

Не менш перспективним є розвиток вітчизняного вагонобудування власними силами за рахунок проведення вдалої інноваційно-інвестиційної політики підприємств – виробників та масштабної державної підтримки. Реалізація такого напрямку можлива за рахунок забезпечення максимально можливого рівня локалізації виробництва продукції вагонобудування та повного циклу сервісного обслуговування вітчизняними підприємствами на території України.

У рамках розвитку вітчизняного залізничного машинобудування, а отже підвищення його конкурентного статусу як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках, доцільно сформулювати комплекс заходів щодо створення сприятливих умов для розвитку виробничого потенціалу галузі у розрізі окремих виробничих сегментів [9].

Задля створення сприятливих умов розвитку залізничного машинобудування та вирішення вищезазначених проблем важливим є проведення такого комплексу науково-технічних заходів:

- використання новітнього обладнання та технологій для проектування та виготовлення нової продукції, тобто прискорити інноваційний розвиток;

- розширення виробництва вагонів підвищеної комфортності із застосуванням сучасних конструктивно-оздоблюваних матеріалів, застосування візків з поліпшеними показниками плавності ходу, технічних засобів комфорту (сучасних систем кондиціонування, засобів зв'язку та ін.);

- впровадження візків для вантажних вагонів із підвищеним навантаженням на вісь (25-30 т);

- створювати стратегічні альянси підприємств, що будуть виробляти високоефективну продукцію із застосуванням сучасних енерго- та ресурсозберігаючих технологій [10, 11];

розвивати експортний потенціал галузі шляхом налагодження зв'язків із закордонними компаніями та активізації зовнішньоекономічної діяльності українських машинобудівних компаній;

провести матеріально-технічне забезпечення підприємств, провести переоснащення залізничного машинобудівного комплексу;

провести реконструкцію більшої частини залізничних машинобудівних підприємств [12];

Таким чином, рішення стратегічних завдань неможливе без підтримки держави та розвитку трансферу сучасних зарубіжних технологій і розробок [13]. Комплекс залізничного машинобудування має розвиватися за рахунок участі у проектах, які націлені на виробництво складних комплектуючих для вітчизняного та іноземного обладнання та розвитку окремих виробництв для випуску сучасного конкурентоспроможного та інноваційного рухомого складу [14, 15]. Здійснення вищезгаданих завдань є важливою передумовою не лише розвитку, але й виживання українського залізничного машинобудування в перспективі.

Висновок. Вітчизняна вагонобудівна галузь протягом багатьох років переживає не найкращі часи та відстає від розвинених країн світу. Для подолання проблемних питань та подальшого розвитку галузі залізничного машинобудування в Україні перш за все необхідна підтримка держави у вигляді прийняття та належного виконання відповідних нормативних документів. Лише централізована розробка заходів щодо виведення галузі з кризи здатна зупинити стрімке падіння темпів виробництва залізничної продукції, зосередити кошти у найбільш проблемних секторах цієї галузі, привабить інвесторів, допоможе вийти на нові ринки збуту своєї продукції. Таким чином, актуальність державної підтримки залізничного машинобудування є беззаперечною та вимагає розробки та пошуку нових програм підтримки цієї галузі.

В умовах накопичення цілого комплексу проблем та реальної загрози знищення вагонобудівної галузі потрібно терміново проводити її ефективне реформування. На комплекс проблем вагонобудування в Україні впливають як зовнішні, так і внутрішні чинники. Основними зовнішніми чинниками, які впливають на розвиток вітчизняного вагонобудування є сильна конкуренція з боку іноземних компаній, вкрай низькі показники використання виробничої потужності та техніко-технологічного розвитку виробництва, невідповідність вітчизняної продукції європейським та світовим стандартам.

ЛІТЕРАТУРА

1. Петренко І. Транспорт і зв'язок України 2018. Державна служба статистики України. Київ, 2019. С. 40.
2. Федюшин Ю. М., Лобойко Л. М., Пшінько О. М., Мямлін С. В., Донченко А. В., Приходько В. І., Шкабров О. А., Ігнатов Г. С., Високолян М. В., Макаренко В. М. Розробка, створення, освоєння виробництва та впровадження сімейства моделей вітчизняних сучасних пасажирських вагонів для швидкісних перевезень. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Дніпро, 2005. Вип. 7. С. 5-24.
3. Зубенко В. О. Забезпечення ефективності інноваційної діяльності на підприємствах залізничного транспорту. *Вісник економіки транспорту та промисловості*. 2015. №4. С. 3.
4. Сулим А. О., Донченко А. В. Основні проблеми питання розвитку галузі залізничного машинобудування та шляхи їх вирішення». Матеріали конференції «Актуальні проблеми і перспективи інноваційного розвитку економіки та техніки в умовах інтеграції України в Європейський науково – виробничий простір. 2019. С.73 – 77.
5. Донченко А. В. Стратегія розвитку транспортного машинобудування для залізниць України. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 139. С.16-24.
6. Быстрицкая О. Стагнация или инновации. Вагостроители пошли на спад. URL: https://cfts.org.ua/articles/stagnatsiya_ili_innovatsii_vagonostroiteli_poshli_na_spad_1625/113872 (дата звернення 10.02.2020 г.).
7. Ермоленко О. А. Державна підтримка виробничого потенціалу транспортного машинобудування. Моделювання регіональної економіки. 2018. С. 202-213.
8. Мямлин С. В., Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю. Определение стратегии технического обслуживания и ремонта вагонной техники. *Журнал: Транспортная инфраструктура сибирского региона*. Иркутск, 2016. С.369 – 373.
9. Герасимчук В. Г., Липисієнко А. П. Тенденції розвитку машинобудівного комплексу України. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія «Міжнародні економічні відносини та світове господарство»*. Ужгород, 2018. Ч. 1. С.75-79.

10. Каличева Н.С. Організація управління на підприємствах залізничного транспорту в сучасних умовах. *Вісник економіки транспорту і промисловості. Збір наук. праць УкрДАЗТ*. Харків, 2014. С.167–170.
11. Кудиярова А. И. Пусть летят по стране поезда: Крюковский вагоностроительный завод на новом этапе 150-летней истории. Сумы: Университетская книга, 2019. С. 463.
12. Корзаченко О.В. Оптимізація бізнес процесів українських підприємств: проблеми та перспективи. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. Вип. 3. Херсон, 2013. С.64-69.
13. Бараш Ю. С., Корженевич І.П., Меленцова Ю.П. Вплив фінансово економічної кризи на діяльність залізничного транспорту України. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. В. Лазаряна*. Дніпро, 2009. Вип.29.
14. Уткіна Ю. М. Резерви забезпечення якості на вагоноремонтних підприємствах залізничного транспорту. *Вісник економіки транспорту і промисловості. Збірник наукових праць*. Харків: УкрДАЗТ, 2010. С.75.
15. Дикань В. Л., Зубенко В. О., Токманова І. В., Маковоз О. В. Стратегічне управління: навч. посіб. «Центр учбової літератури», 2013. С. 272.

REFERENCES

1. Petrenko, I. (2019). Transport i zv'jazok Ukraïni 2018. Derzhavna sluzhba statistiki Ukraïni. Kiïv, p. 40.
2. Fedjushin, Y. M., Lobjko, L. M., Pshin'ko, O. M., Mjamlin, S. V., Donchenko, A. V., Prihod'ko, V. I., Shkabrov, O. A., Ignatov, G. S., Visokoljan, M. V., Makarenko, V. M. (2005) Rozrobka, stvorennya, osvoinnja virobnictva ta vprovadzhennja simejstva modelej vitchiznjanij suchasnij pasazhirs'kih vagoniv dlja shvidkisnij perevezen'. Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zaliznynogo transportu imeni akademika V. Lazarjana. Dnipro, № 7. p. 5-24.
3. Zubenko, V. O. (2015) .Zabezpechennja efektyvnosti innovacijnoï dijaj'nosti na pidpriemstvax zaliznynogo transportu. Visnik ekonomiki transportu ta promyslovosti. № 4. p. 3.
4. Sulim, A. O., Donchenko, A.V. (2019) Osnovni problemi pitannja rozvitku galuzi zaliznynogo mashinobuduvannja ta shljahi ih virishennja». Materiali konferencij «Aktual'ni problemi i perspektivi innovacijnogo rozvitku ekonomiki ta tehniki v umovax integracij Ukraïni v Evropejs'kij naukovo – virobnichij prostir. p. 73–77.
5. Donchenko, A. V. Strategija rozvitku transportnogo mashinobuduvannja dlja zaliznic' Ukraïni. Zbirnik naukovij prac' Ukraïns'koï derzhavnoï akademij zaliznynogo transportu. № 139. p. 16-24.
6. Bystrickaja, O. Stagnacija ili innovacii. Vagonostroiteli poshli na spad. Retrived from https://cfts.org.ua/articles/stagnatsiya_ili_innovatsii_vagonostroiteli_poshli_na_spad_1625/113872 (Accessed 10 February 2020).
7. Ermolenko, O. A. (2018) Derzhavna pidtrimka virobnichogo potencijalu transportnogo mashinobuduvannja. Modeljuvannja regional'noï ekonomiki. p. 202-213.
8. Mjamlin, S. V., Muradjan, L. A., Shaposhnik, V. Y. (2016) Opredelenie strategij tehničeskogo obsluzhivannja i remonta vagonnoj tehniki. Zhurnal: Transportnaja infrastruktura sibirskogo regiona. Irkutsk, p.369 – 373.
9. Gerasimchuk, V. G., Lipisienko, A. P. (2018) Tendencij rozvitku mashinobudivnogo kompleksu Ukraïni. Naukovij visnik Uzhgorod'skogo nacional'nogo universitetu. Serija «Mizhnarodni ekonomichni vidnosini ta svitove gospodarstvo». Uzhgorod, №. 1. p.75-79.
10. Kalicheva, N.E (2014) Organizacija upravlinnja na pidpriemstvax zaliznynogo transportu v suchasnij umovax. Visnik ekonomiki transportu i promyslovosti. Zbir nauk. prac' UkrDAZT. Harkiv, p.167– 170.
11. Kudijarova, A. I. (2019) Pust' letjat po strane poezda: Krjukovskij vagonostroitel'nyj zavod na novom jetape 150-letnej istorii. Sумы: Universitetskaja kniga, p. 463.
12. Korzachenko, O.V. (2013) Optimizacija biznes procesiv Ukraïns'kih pidpriemstv: problemi ta perspektivi. Naukovij visnik Hersons'kogo derzhavnogo universitetu. Herson, № 3, p.64-69.
13. Barash, Y. S., Korzhenevich, I. P., Melencova, Y. P. (2009) Vpliv finansovo ekonomichnoï krizi na dijaj'nist' zaliznynogo transportu Ukraïni. Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zaliznynogo transportu im. V. Lazarjana. Dnipro, № 29.
14. Utkina, Y. M. (2010) Rezervi zabezpečennja jakosti na vagonoremontnij pidpriemstvax zaliznynogo transportu. Visnik ekonomiki transportu i promyslovosti. Zbirnik naukovij prac'. Harkiv: UkrDAZT, p. 75.
15. Dikan', V. L., Zubenko, V. O., Tokmanova, I. V., Makovoz, O. V. (2013) Strategichne upravlinnja: navch. posib. «Centr uchbovoj literaturi», p. 272.

Андрей Сулим, к.т.н. (заместитель директора по научной работе Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» ГП «УкрНИИВ»),

Павел Хозя, к.т.н., старший исследователь (заведующий научно-исследовательской лабораторией экспериментальных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» ГП «УкрНИИВ»),

Юшко Александр, (младший научный сотрудник, научно-исследовательской лаборатории экспериментальных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» ГП «УкрНИИВ»),

Хвоенко Евгений (младший научный сотрудник, научно-исследовательской лаборатории экспериментальных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» ГП «УкрНИИВ»),

Третьяк Эдуард (ведущий инженер, научно-исследовательской лаборатории экспериментальных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» ГП «УкрНИИВ»).

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ УКРАИНЫ

В статье исследовано современное состояние вагоностроительной отрасли в Украине, рассмотрены основные проблемы и перспективы развития вагоностроительных предприятий предпосылки их возникновения. Сформулированы проблемы, которые сдерживают развитие вагоностроительного комплекса Украины. Приведены основные пути решения современных проблем и предложения по улучшению работы вагоностроительных предприятий Украины. Выявлены перспективные направления развития отрасли отечественного вагоностроения.

Отмечена необходимость принятия конкретных решений по масштабному развитию вагоностроительных предприятий, важность укрепления партнерских отношений с зарубежными вагоностроительными предприятиями, объединение усилий отечественных транспортных компаний по созданию новых инновационных продуктов, развития железнодорожной инфраструктуры, международных транспортных коридоров и многих важных аспектов развития железнодорожного транспорта.

Также рассмотрено направление движения мировых вагоностроительных предприятий, и роль железнодорожных перевозок в жизнедеятельности экономически развитой страны.

Ключевые слова: вагоностроительные предприятия, проблемы, перспективы, развитие.

*Andrii Sulym,
Cand. Sc.(Tech),
(Deputy director for scientific work of the State Enterprise “Ukrainian Research Railway Car Building Institute” SE “UkrNDIV”),
Pavlo Khozha,
Cand. Sc.(Tech), senior researcher,
(Head of laboratory scientific – research laboratory for experimental research of railway technics of the State Enterprise “Ukrainian Research Railway Car Building Institute” SE “UkrNDIV”),
Oleksandr Yushko,
(“junior research scientist of the scientific – research laboratory for experimental research of railway technics of the State Enterprise “Ukrainian Research Railway Car Building Institute” SE “UkrNDIV”),
Yevhen Khvoienko,
(“junior research scientist of the scientific – research laboratory for experimental research of railway technic of the State Enterprise “Ukrainian Research Railway Car Building Institute” SE “UkrNDIV”),
Eduard Tretiak,
(“senior engineer of the scientific – research laboratory for experimental research of railway technic of the State Enterprise “Ukrainian Research Railway Car Building Institute” SE “UkrNDIV”).*

PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF CAR BUILDING ENTERPRISES OF UKRAINE

The article studies the current state of the car - building industry in Ukraine, discusses main problems and development prospects of railcar industry and preconditions of their occurrence. The problems that constrain the development of the car - building complex of Ukraine are formulated. The main ways of solving modern problems and proposals for improving the work of car - building enterprises of Ukraine are given. The perspective directions of the development of the national car - building industry have been identified.

*The need to make specific decisions on the large-scale development of railroad construction enterprises, the importance of strengthening partnerships with foreign railroad enterprises, combined efforts of domestic transport companies to create **new** innovative products, development of railway infrastructure, international transport corridors and many transport aspects.*

Also considered is the direction of movement of the world car-building enterprises, and the role of rail transportation in the life of an economically developed country.

Keywords: car-building enterprises, problems, prospects, development.

УДК 629.4.015

Горбунов Н.И., д.т.н.

(профессор, заведующий кафедрой железнодорожного, автомобильного транспорта и подъемно-транспортных машин, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля)

Клюев С.А., к.т.н.

(доцент кафедры логистического управления и безопасности движения на транспорте, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля)

Михайлов Е.В., к.т.н.

(доцент кафедры логистического управления и безопасности движения на транспорте, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля)

Семенов С.А., к.т.н.

(доцент кафедры логистического управления и безопасности движения на транспорте, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля)

Ковтанец М.В., к.т.н.

(доцент кафедры железнодорожного, автомобильного транспорта и подъемно-транспортных машин, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля)

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ КОЛЕСНЫХ ПАР

Сформулированы требования к характеристикам аппаратного и программного обеспечения, обеспечивающего техническую реализацию мехатронных систем управления положением колесных пар рельсовых экипажей в горизонтальной плоскости для их радиальной установки в криволинейных участках пути с целью обеспечения оптимального взаимодействия колес и рельсов, характеризующегося минимальными боковыми силами и снижением износа. Предложенная мехатронная система позиционирования колесных пар позволяет оптимально устанавливать их на рельсовом пути при различных условиях движения экипажа. Результаты расчетов, выполненных на примере движения в кривой трехосной тележки тепловоза 2ТЭ116, показали возможность значительного уменьшения направляющих сил и минимизации углов набегания колесных пар.

Ключевые слова: рельсовый экипаж, колесная пара, радиальная установка, управление, актуатор, мехатронная система.

Введение. Заложенные в конструкцию возможности обеспечения оптимального взаимодействия колес с рельсами определяют уровень безопасности движения и энергетической эффективности рельсовых транспортных средств (далее РТС). Традиционные схемы ходовых частей не имеют резерва развития в этом плане. Один из путей обеспечения оптимального взаимодействия между

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-8

колесами рельсовых экипажей и рельсами с минимальными поперечными усилиями и низким уровнем износа состоит в применении систем управления положением колесных пар в горизонтальной плоскости для радиальной их установки в кривых участках пути [1, 2, 3].

Анализ последних исследований и постановка проблемы. У тележек рельсовых транспортных средств с радиальной установкой осей колесных пар углы набегания колес на рельсы при движении в кривых близки к нулю. За счет этого в первую очередь и обеспечивается минимизация силового взаимодействия колес с рельсами и сопротивления движению [1-5]. Известные конструкции таких тележек условно можно разделить на [6-8]: тележки с самоустановкой колесных пар; тележки с полупринудительной установкой колесных пар; тележки с принудительной установкой колесных пар.

Тележки с самоустановкой колесных пар в кривых показали малую эффективность из-за увеличения износа рельсов и повышенного сопротивления движению при движении на прямых участках пути. Несколько лучшие показатели по снижению интенсивности износа гребней колес в кривых у тележек с полупринудительной ориентацией осей колесных пар (пассивный механизм радиальной установки). Однако опыт использования пассивных механизмов радиальной установки колесных пар для снижения износа гребней колес в кривых на железных дорогах Европы оказался не очень успешным [9].

Цель и задачи исследования. Достижение максимального эффекта по снижению интенсивности износа гребней колес и сопротивления движению РТС в кривых возможно при использовании тележек с автоматически управляемыми механизмами радиальной установки колесных пар, основанными на применении мехатронных систем. Пока в известных публикациях достаточно мало информации о разработке и испытаниях таких систем. Причина, видимо, в сложности этих систем и необходимости получения для их эффективной работы значительного объема информации о режимах движения, геометрических параметрах пути и углах набегания колес на рельсы в реальном режиме времени. Однако, потенциальные преимущества, которые можно получить при внедрении в конструкции РТС подобных мехатронных систем, делают перспективными дальнейшие работы по их разработке и исследованию.

Материалы и методы исследования. Входящие в мехатронную автоматическую систему управления положением колесной пары (МАСУКП) в рельсовой колее устройства, должны представлять единую замкнутую систему, в которой неразрывно связаны между собой параметры различных электрических, механических и гидравлических процессов. В связи с высокими требованиями по надежности и временным ограничениям по формированию и передаче управляющего сигнала на исполнительное устройство, работа МАСУКП для РТС должна осуществляться в режиме реального времени [10].

Основным требованием к системам реального времени является их предсказуемость, что предполагает соблюдение всех требований тайминга (временных требований) при самых наихудших ситуациях.

Управление данными в МАСУКП РТС должно обеспечивать:

- предсказуемость в отношении тайминга;
- наличие возможности доступа и управления данными в любой момент времени;
- минимум расходов;
- эффективный механизм управления данными, с соблюдением требований объемов памяти и загруженности процессора.

Программная платформа таких систем должна представлять собой операционную систему реального времени (ОС РВ), которая может удовлетворить следующие требования:

реагировать на текущие события, успевая обработать их за фиксированное время или к определенному моменту времени (далее – временные рамки).

обладать способностью к параллельной обработке нескольких событий. Если эти события наступают одновременно, система должна успеть обработать их все в соответствующих каждому из них временных рамках, независимо от количества, порядка поступления и соотношения их временных рамок. Вероятность сбоя в программном обеспечении (ПО) таких систем должна быть очень маленькой.

Аппаратные и программные средства, обеспечивающие техническую реализацию МАСУКП, должны отвечать современным требованиям унификации и стандартизации, метрологической, конструктивной, информационной и эксплуатационной совместимости, принципам модульного построения. При выполнении этих требований обеспечивается надежность построенной на основе этих средств мехатронной системы, достоверность и оперативность получаемой информации, гарантированное исполнение командной информации.

Обработка МАСУКП может осуществляться следующим образом. В полунатурном управлении применяются промышленные контроллеры (микроконтроллеры), позволяющие управлять моделью управляемого модуля в реальном времени. Модель движения РТС с МАСУКП может быть выполнена для работы в режиме реального времени с использованием пакетов Matlab/Simulink и Real-Time Workshop Real-Time Target. Имитация модели движения РТС обеспечивает вычисление параметров всех процессов в реальном времени, преобразование их цифро-аналоговым преобразователем и подачу на управляющую систему в виде напряжения [11]. Управляющие сигналы, генерируемые управляющим устройством, через аналого-цифровые преобразователи подаются на имитируемую модель. В полунатурном управлении аппаратное средство управляет имитируемой моделью, что близко к управлению объектом в реальной системе.

Алгоритм работы управляющего устройства реализуется на ПК и загружается в микроконтроллер посредством программного обеспечения. Микроконтроллер, работая в режиме реального времени, обеспечивает сбор данных, их обработку в соответствии с заданными алгоритмами и выдачу управляющего воздействия за определенный интервал времени. Управляющий модуль соединяется с физической системой и использует информацию с датчиков для управления поворотом колесных пар РТС в рельсовой колее.

Процесс преобразования алгоритма управления в код управления осуществляется с помощью:

1. Real-time Workshop, Visual C с использованием Toolbox Real Time Target для ПК.
2. Tasking CrossView compiler version 8.0 r2, и Minimon с использованием Toolbox Embedded Target for Infineon C166 Microcontrollers для микроконтроллера.

В качестве модели управляемой колесной пары, используется компьютерная модель, работающая в режиме реального времени в программной среде Matlab/Simulink и связанная с платой ввода/вывода AD512 с отлаживаемым микроконтроллером C166.

Модель воспроизводит в реальном времени сигнал, пропорциональный перемещению поршня гидроцилиндра актуатора, который преобразуется цифро-аналоговым преобразователем и подается в микроконтроллер C166. Микроконтроллер C166 преобразует эти сигналы с помощью аналого-цифрового преобразователя, фильтрует и формирует на их основе сигнал управления.

Управляющие сигналы, генерируемые микроконтроллером, через преобразователь «цифра-цифра» подаются в компьютерную модель управления положением колесной пары.

Составной частью МАСУКП является программатор, работа которого осуществляется программным обеспечением на определенной аппаратной и программной платформе [12].

Программное обеспечение управляющего модуля должно содержать: программные средства, осуществляющие сбор, фильтрацию и статистическую обработку измерительной информации; управляющие алгоритмы программы, экспертную систему реального времени; базу данных накопления информации; базу знаний о управляемом движении колесной пары в рельсовой колее [13, 14].

Программное обеспечение, используемое для моделирования:

1. Matlab/Simulink.
2. Библиотека драйверов устройства входа/выхода: комплекс предопределенных блоков, соответствующих функциям, выполняемым в аппаратной среде.
3. Программное обеспечение, генерирующее код для автоматического построения модели в реальном времени (Microsoft Visual studio, Watcom C/C+).
4. Интерфейс пользователя для наблюдения за данными и изменения параметров.

Последовательность выполняемых функций:

1. Обработка имитационной модели в Matlab/Simulink.

2. Соединение модели с соответствующим драйвером платы входа/выхода.
3. Преобразование описания модели в С-код (RTW), компилирование и загрузка.
4. Наблюдение сигналов в реальном времени и регистрирование данных (Matlab/Simulink).
5. Программирование микроконтроллера C166 через программное обеспечение Keil.

МАСУКП должна использоваться не только для регулирования и управления процессом движения колесной пары РТС в горизонтальной плоскости, но и выполнять ряд специализированных функций, например, распознавание нештатных ситуаций и реагирование на них.

Данные, полученные в результате измерений, должны с требуемой точностью отображать динамику процесса, что в первую очередь определяется частотой выборки, т.е. периодичностью измерения новых данных. При этом важно достигнуть баланса: слишком высокая частота выборки требует частого обращения компьютера к измерительным устройствам и усложняет работу программы, при слишком низкой частоте выборки возможно отставание управляющего воздействия от реального хода физического процесса.

Цифровые системы управления работают только с информацией, представленной в цифровой форме, поэтому полученные в результате измерений электрические аналоговые величины обрабатываются с помощью АЦП.

Генерируемые датчиками сигналы имеют весьма низкий уровень, поэтому их необходимо усиливать. Кроме того, сопротивления выхода датчика, кабеля и входа управляющего компьютера согласованы. Сигнал датчика отфильтровывается до того, как он поступает на вход компьютера. Схема обмена информацией в системе «процесс – управляющий компьютер» представлена на рис. 1.

На основе проведенного анализа существующих операционных систем реального времени выбрана ОС QNX, как наиболее подходящая для эффективной работы управляющего компьютера и системы управления положением колесных пар РТС в целом. Учитывая гибкость QNX, ее надежность, быстродействие и постоянное развитие, можно сделать вывод, что из всех операционных систем она наиболее подходит для задач управления в реальном масштабе времени [15].

В связи с тем, что к системам управления колесными парами РТС предъявляются жесткие требования по временным интервалам, то необходимо использовать СУБД РВ [16]. Для таких систем и особенно ресурсо-зависимых встроенных систем, необходимо найти удачный баланс между промежуточным состоянием и вычислительными затратами.

Применение Toolbox Real-Time Target состоит в управлении в реальном времени, обработке сигналов и моделировании работы аппаратуры с обратными связями. Сгенерированный код выполняется с высокой скоростью в режиме реального времени на операционной системе QNX с использованием стандартных интерфейсных плат. При запуске модели в режиме реального времени, Real-Time Target принимает данные из одного или нескольких входных каналов, использует эти данные, как входные для блок-диаграммы модели, немедленно обрабатывает их и направляет обратно на выходной канал интерфейсной платы.

Сигналы принимаются и наблюдаются при помощи Simulink-осциллографических выводных блоков, позволяющих наблюдать поведение моделируемой системы в режиме реального времени. Simulink позволяет изменять параметры вывода сигналов при помощи простого редактирования блок-диаграмм в процессе моделирования. Новые значения параметров автоматически преобразуются в компилированную версию блок-диаграммы в процессе моделирования в реальном времени.

Связь контроллера и бортового компьютера осуществляется с помощью шнура или через параллельный интерфейс. В процессе работы контроллер передает в режиме реального времени на бортовой компьютер данные, необходимые для визуализации и протоколирования.

При разработке МАСУКП сложной задачей является получение информации об угле набегания колес РТС на рельс [12]. Одним из путей измерения угла набегания колеса на рельс является использование метода акустической эмиссии (АЭ), основанного на изменении уровня звукового давления в зависимости от параметров силового взаимодействия гребня колеса с головкой рельса. Чем больше угол набегания колесной пары на рельс, тем больше усилие в

контакте колесо-рельс. При нулевом значении угла набегания силовое взаимодействие гребня колеса с головкой рельса и уровень звукового давления снижается [17]. Однако, следует отметить, что метод АЭ не чувствителен к направлению сбега или набегания колеса на рельс. Кроме того, сигнал обратной связи получаемый от направленного в контакт колеса с рельсом микрофона, подвержен помехам, поэтому на микроконтроллере должен быть предусмотрен цифровой фильтр.

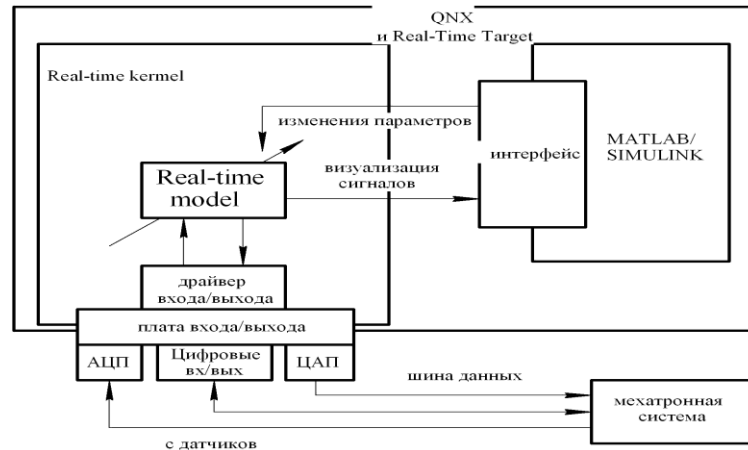


Рис. 1. Схема обмена информации в системе управления

При управляемом движении колесной пары РТС в криволинейных участках рельсовой колеи одной из основных задач является также определение текущего положения экипажа на участке рельсового пути и направления кривизны этого участка [18].

Функциональная схема мехатронной САУ положением колесных пар в рельсовой колее приведена на рис. 2.

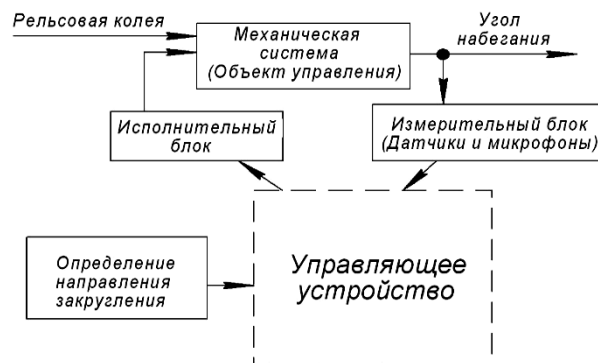


Рис. 2. Функциональная схема МАСУКП

Управляющее воздействие регулятора формируется с учётом направления закругления на участке рельсового пути. Угол набегания регулируется исполнительными механизмами (актуаторами) путём соответствующего перемещения их штоков [19, 20].

Направление закругления определяется по изменению направления векторов скорости движения по оси абсцисс и по оси ординат. Реализация алгоритма определения направления закругления приведена в [18].

Авторами проработан один из вариантов реализации МАСУКП для примера трехосной тележки тепловоза 2ТЭ116. В качестве исполнительных механизмов (актуаторов) для поворота

крайних колесных пар тележки рассматривались варианты со встроенными в буксовые поводки гидро- или пневмоцилиндрами.

К параметрам, характеризующим пневматическую часть системы, относятся: время наполнения цилиндров и установившееся давление воздуха в цилиндрах. Механическая часть цилиндра характеризуется: площадью и ходом поршня.

Зависимость реализуемого угла поворота колесной пары и выхода штока актуатора от радиуса криволинейного участка пути приведена на рис. 3. Схема усовершенствованной конструкции тележки локомотива представлена на рис. 4, схема МАСУКП изображена на рис. 5.

МАСУКП обрабатывает сигналы от спутникового приемника глобального позиционирования, инерциального блока и датчика АЭ по уровням которых формируется управляющее воздействие на открытие или закрытие соответствующих электромагнитных клапанов. При появлении сигнала рассогласования, микропроцессорным блоком формируется управляющее воздействие на открытие электромагнитного клапана воздушной и гидравлической магистрали. При отсутствии сигнала рассогласования происходит закрытие клапанов воздушной и гидравлической магистрали.

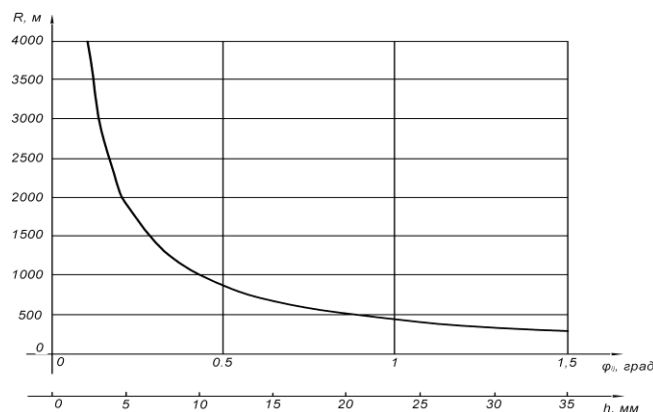


Рис. 3. Зависимость угла поворота колесной пары и выхода штока актуатора от радиуса кривой

Благодаря действию гидроцилиндров приводов, крайние колесные пары тележек устанавливаются в радиальном положении. Это значительно снижает угол атаки их колес на рельсы, уменьшаются и стабилизируются поперечные перемещения, что способствует поддержанию устойчивого движения локомотива и снижению сопротивления движению.

Теоретическое исследование движения экипажа тепловоза 2ТЭ116 в кривом участке пути выполнено по исходным данным, которые соответствуют параметрам эксперимента, представленным в [18,19]. Сравнительные результаты смоделированного движения серийного тепловоза 2ТЭ116 и локомотива с системой контроля положения колесной пары по кривой с радиусом 300 м и скоростью 70 км/ч представлены на рис. 6.

Для моделирования системы использованы те же исходные данные и техника моделирования, что и в [20]. Моделирование движения усовершенствованной трехосной тележки тепловоза 2ТЭ116 с МАСУКП в сравнении со штатной тележкой показало возможность снижения направляющих сил до 35% и минимизации углов набегания крайних колесных пар тележки на рельсы.

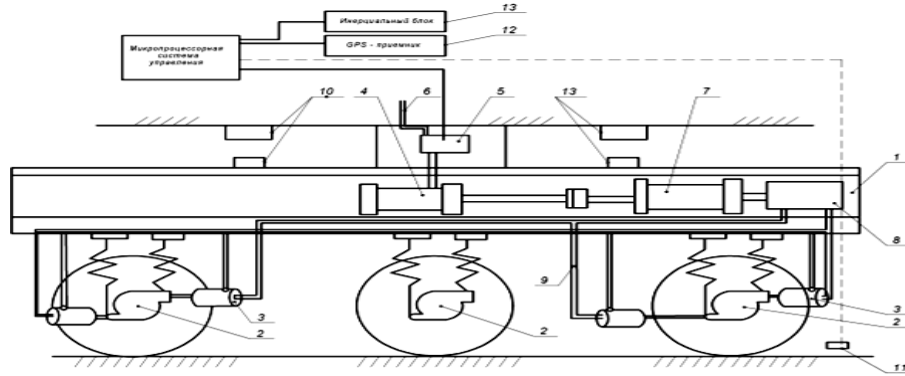


Рис. 4. Схема усовершенствованной конструкции тележки с МАСУКП:

1 – рама тележки; 2 – буксовые узлы; 3 – буксовые гидроцилиндры; 4 – пневмогидроцилиндр; 5 – дросель; 6 – воздушная магистраль; 7 – рамный гидроцилиндр; 8 – блок распределения давления; 9 – трубопроводы; 10 – датчик поворота тележки относительно кузова; 11 – микрофоны; 12 – спутниковый приемник; 13 – инерциальный блок

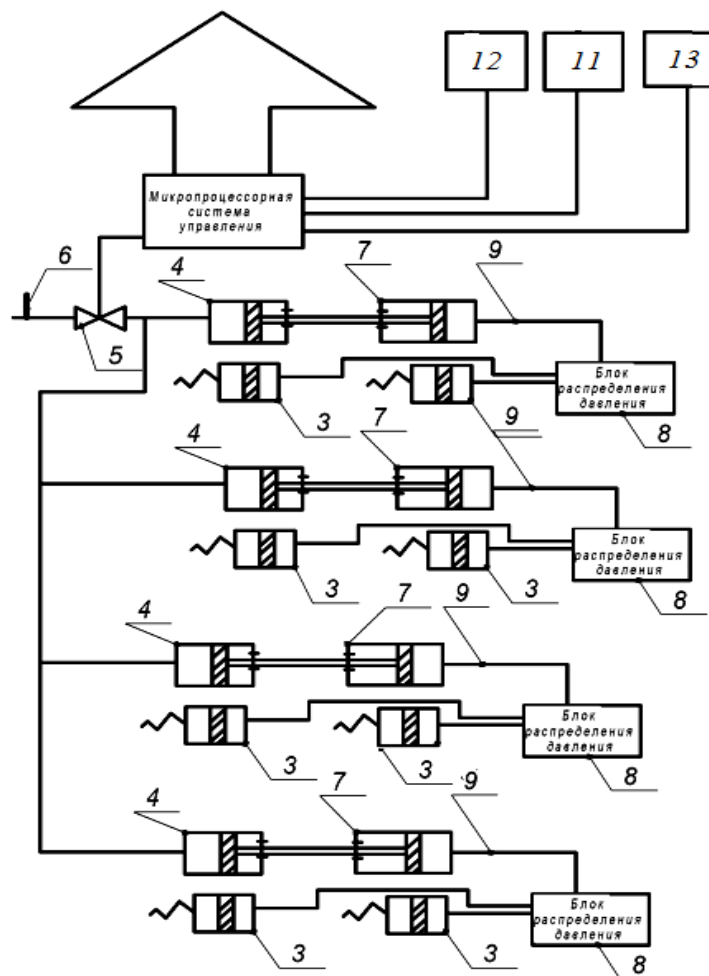


Рис. 5. Схема МАСУКП:

1 – рама тележки; 2 – буксовые узлы; 3 – буксовые гидроцилиндры; 4 – пневмогидроцилиндр; 5 – дросель; 6 – воздушная магистраль; 7 – рамный гидроцилиндр; 8 – блок распределения давления; 9 – трубопроводы; 10 – датчик поворота тележки относительно кузова; 11 – микрофоны; 12 – спутниковый приемник; 13 – инерциальный блок.

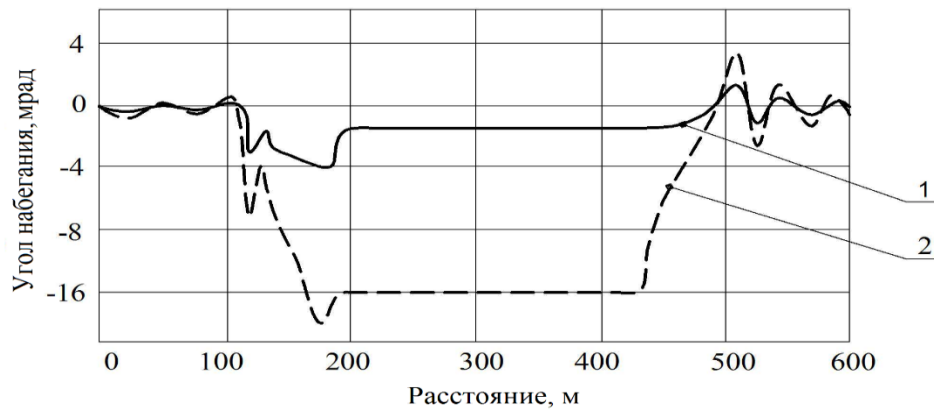


Рис. 6. Расчетные значения угла атаки первой колесной пары тележки тепловоза 2ТЭ116 ($R = 300$ м, $V = 70$ км / ч):

1 – контролируемое движение, 2 – неуправляемое движение

Выводы. В статье проанализирован один из способов обеспечения оптимального взаимодействия колес железнодорожного транспорта с рельсами с минимальными поперечными силами и низким уровнем износа, заключающийся в использовании мехатронных систем управления положением колесных пар в горизонтальной плоскости для их радиальной установки в кривых участках рельсовой колеи. Сформулированы требования для выбора рациональных характеристик аппаратного и программного обеспечения, обеспечивающего техническую реализацию таких мехатронных систем.

Представленная мехатронная система управления положением колесных пар позволяет оптимально устанавливать их на рельсовом пути при различных условиях движения рельсового экипажа. Это позволяет снизить направляющие силы (например, для моделирования движения трехосной тележки тепловоза 2ТЭ116) - до 35%) и минимизировать углы набегания колесных пар на рельсы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Goodall R., Bruni S., Mei T., 2006: Concepts and prospects for actively-controlled railway running gear. *Vehicle System Dynamics*. 44 (suppl). 60-70.
2. Mei T., Li H., 2008: Control design for the active stabilization of rail wheelsets. *Journal of Dynamics Systems, Measurements and Control*. Vol.130. Article number 011002.
3. Spiryagin M., Spiryagin V., Ulshin V. Active steering control of a rail vehicle: A new approach // *Annals of DAAAM for 2008 & Proceeding of the 19th International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation"*. DAAAM International, (Vienna, Austria), 2008. P.P. 1279-1280.
4. Mikhaylov E., Semenov S., Dižo J., Kravchenko K. Research of possibilities of reducing the driving resistance of a railway vehicle by means of the wheel construction improvement. *Transportation Research Procedia*. Vol. 40, 2019. PP. 831–838. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.117>.
5. Mikhailov, E., Semenov, S., Tkachenko, V. & Saponova, S. Reduction of Kinematic Resistance To Movement Of the Railway Vehicles. *MATEC Web of Conferences*. 235. 00033. Horizons of Railway Transport 2018. P.P.1-7. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500033>
6. Scheffel H., Tornay H. The mechanism of the rotatable lemniscate suspension applied to bogies having selfsteering wheelsets. *Vehicle System Dynamics*, 2007. Ed. №17. 368-380.
7. Шеффель, Х. Радиально устанавливающиеся колесные пары электровозов // *Железные дороги мира*, 1989. № 2. С. 74–76.
8. Kobayashi, H. The new bogies for diesel-trans Japan railways // *Quarterly Report of RTRI*, 2000. № 1. PP. 16–20.
9. Upadhyay, R. Reduced wear wheels and rails // *International Railway Journal*, 2000. № 7. PP. 33–34.
10. Meli E., Malvezzi M., Papini S., Pugi L., Rinchi M., Rindi A. A railway vehicle multibody model for real time applications. *Vehicle System Dynamics*, 2008. 46 (12). PP. 1083-1105.
11. Корзина И.В. Имитационная модель электровоза для отладки микропроцессорных систем управления : дисс. канд. техн. наук: 05.22.07. М.: МИИТ, 2007.

12. Ключев С.А. Применение тактируемой архитектуры в системах автоматического управления в рельсовых транспортных средствах. *Вестник ВНУ им. В.Далы. Луганск: ВНУ им. В.Далы*, 2009. Вып. № 1 (131). С. 64-67.
13. Ульшин В.А., Ключев С.А. Разработка программного и аппаратного обеспечения для создания системы автоматического управления положением колесных пар локомотива в плане // *Вестник ВНУ им. В.Далы. Луганск: ВНУ им. В.Далы*, 2014. Вып. № 3 (210). С. 269–271.
14. Ульшин В.А., Ключев С.А. Разработка программного и аппаратного обеспечения для создания системы автоматического управления положением колесных пар локомотива в плане // *Сборник науч. работ междунар. научно-практич. конф. “Інноваційні технології на залізничному транспорті”*. Лондон, 2014. С. 93–94.
15. Спирыгин М.И., Спирыгин В.И., Ключев С.А. Выбор направлений для создания модели системы управления транспортным средством // *Вестник Восточноукр. нац. ун-та. Луганск: ВНУ*, 2007. Вып. № 12 (118). С. 203–208.
16. Спирыгин М.И., Спирыгин В.И., Спирыгин К.И., Ключев С.А. Анализ баз данных для створення системи керування транспортним засобом // *Вестник ВНУ им. В.Далы. Луганск: ВНУ им. В.Далы*, 2008. Вып. № 4 (122). С. 238–243.
17. Коган А.Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. М.: Транспорт, 1997. 327 с.
18. Ключев С.А., Зубарь Е.В., Короп Г.В. Улучшение вписывания локомотивов на криволинейных участках пути управляемым разворотом колесных пар в горизонтальной плоскости // 11-я Всерос. межвузовская научно-практич. конф. «Актуальные проблемы экономики и управления на транспорте». ФБО «Морской гос. ун-т им. адм. Г.И. Невельского». Владивосток, 2013. С. 10–13.
19. Спосіб радіального устанавлення колісних пар візка рейкового транспортного засобу: Деклараційний патент на корисну модель 33465: МПК В61F5/00. Опубл. 25.06.2008. Бюл. № 12. 4с.
20. Мікропроцесорна система керування тяговою передачею локомотива: Деклараційний патент на корисну модель 31106: МПК В61F5/38. Опубл. 25.03.2008. Бюл. № 6. 4 с.

REFERENCES

1. Goodall R., Bruni S., Mei T. (2006). Concepts and prospects for actively-controlled railway running gear. *Vehicle System Dynamics*, 44, 60-70.
2. Mei T., Li H. (2008). Control design for the active stabilization of rail wheelsets. *Journal of Dynamics Systems, Measurements and Control*, 130, 011002.
3. Spiriyagin M., Spiriyagin V., Ulshin V. (2008). Active steering control of a rail vehicle: A new approach. *Annals of DAAAM for 2008 & Proceeding of the 19th International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation”*. DAAAM International, (Vienna, Austria), 1279-1280.
4. Mikhaylov E., Semenov S., Dižo J., Kravchenko K. (2019). Research of possibilities of reducing the driving resistance of a railway vehicle by means of the wheel construction improvement. *Transportation Research Procedia*, 40, 831–838. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.117>.
5. Mikhailov, E., Semenov, S., Tkachenko, V. & Saponova, S. (2018). Reduction of Kinematic Resistance To Movement Of the Railway Vehicles. *MATEC Web of Conferences*. 235. 00033. *Horizons of Railway Transport*, 1-7. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500033>.
6. Scheffel H., Tornay H. (2007). The mechanism of the rotatable lemniscate suspension applied to bogies having selfsteering wheelsets. *Vehicle System Dynamics*, 17, 368-380.
7. Sheffel' H. (1989). Radial'no ustanavlivaushiesja kolesnye pary jelektrovozov [Radially mounted wheelsets of electric locomotives]. *Zheleznye dorogi mira - Railways of the world*, 2, 74–76 [in Russian].
8. Kobayashi H. (2000). The new bogies for diesel-trans Japan railways. *Quarterly Report of RTRI*, 1, 16–20.
9. Upadhyay R. (2000). Reduced wear wheels and rails. *International Railway Journal*, 7, 33–34.
10. Meli E., Malvezzi M., Papini S., Pugi L., Rinchi M., Rindi A. (2008). A railway vehicle multibody model for real time applications. *Vehicle System Dynamics*, 2008, 46 (12), 1083-1105.
11. Korzina I.V. (2007). Imitacionnaja model' jelektrovoza dlja otladki mikroprocessornyh sistem upravlenija [Simulation model of an electric locomotive for debugging microprocessor control systems]. *Candidate's thesis*. Moscow. [in Russian].
12. Kljuev S.A. (2009). Primenenie taktiruemoj arhitektury v sistemah avtomaticheskogo upravlenija v rel'sovyh transportnyh sredstvah [The use of clocked architecture in automatic control systems in rail vehicles]. *Vestnik VNU im. V.Dalja. Lugansk: VNU im. V.Dalja*, 1 (131), 64-67. [in Russian].
13. Ul'shin V.A., Kljuev S.A. (2014). Razrabotka programmnogo i apparatnogo obespechenija dlja sozdanija sistemy avtomaticheskogo upravlenija polozheniem kolesnyh par lokomotiva v plane [Development of software and hardware for creating a system for automatically controlling the position of locomotive wheelsets in plane]. *Vestnik VNU im. V. Dalja. Lugansk: VNU im. V. Dalja*, 3 (210), 269–271. [in Russian].
14. Ul'shin V.A., Kljuev S.A. (2014). Razrabotka programmnogo i apparatnogo obespechenija dlja sozdanija sistemy avtomaticheskogo upravlenija polozheniem kolesnyh par lokomotiva v plane [Development of software and hardware for creating a system for automatically controlling the position of locomotive wheelsets in plane]. *Sbornik nauch. rabot mezhdunar. nauchno-praktich. konf. “Інноваційні технології на залізничному транспорті”* - Collection of scientific. international work scientific and practical conf. “Innovative technologies on railway transport”. London, 93–94. [in Russian].

15. Spirjagin M.I., Spirjagin V.I., Kljuev S.A. (2007). Vybor napravlenij dlja sozdanija modeli sistemy upravlenija transportnym sredstvom [The choice of directions for creating a model of a vehicle control system]. Vestnik VNU. Lugansk: VNU, 12 (118), 203–208. [in Russian].
16. Spirjagin M.I., Spirjagin V.I., Spirjagin K.I., Kljuev S.A. (2008). Analiz baz danih dlja stvorennja sistemi keruvannja transportnim zasobom [Database analysis to create a vehicle management system]. Vestnik VNU im.V.Dalja. Lugansk : VNU im. V.Dalja, 4 (122), 238–243. [in Ukrainian].
17. Kogan A.Ja. (1997). Dinamika puti i ego vzaimodejstvie s podvizhnyj sostavom [Track dynamics and its interaction with rolling stock]. Moskva: Transport. [in Russian].
18. Kljuev S.A., Zubar' E.V., Korop G.V. (2013). Uluchshenie vpisyvanija lokomotivov na krivolinejnyh uchastkah puti upravljajemym razvorotom kolesnyh par v gorizontaľnoj ploskosti [Improving the curving of locomotives on curved sections of the track by a controlled turn of wheel pairs in a horizontal plane]. 11-ja Vseros. mezhvuzovskaja nauchno-praktich.konf. «Aktual'nye problemy jekonomiki i upravlenija na transporte». FBO «Morskoj gos. un-t im. adm. G.I. Nevel'skogo» - 11th All-Russian. interuniversity scientific and practical conference "Actual problems of the economy and transport management." TSF "Marine state. un-t them. adm. G.I. Nevelsky". Vladivostok, 10–13. [in Russian].
19. Spisib radial'nogo ustanovlennja kolisnih par vizka rejkovogo transportnogo zasobu [Method of radial installation of wheel pairs of rail vehicle trolley]: Deklaracijnij patent na korisnu model' - Declarative utility model patent 33465: MPK B61F5/00. Publ. 25.06.2008, 12. [in Ukrainian].
20. Mikroprocesorna sistema keruvannja tjagovoju peredacheju lokomotiva [Microprocessor locomotive traction control system]: Deklaracijnij patent na korisnu model' - Declarative utility model patent 31106: MPK B61F5/38. Publ. 25.03.2008, 6. [in Ukrainian].

Горбунов М.І., д.т.н.

(професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля)

Клюєв С.А., к.т.н.

(доцент кафедри логістичного управління і безпеки руху на транспорті, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля)

Михайлов Є.В., к.т.н.

(доцент кафедри логістичного управління і безпеки руху на транспорті, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля)

Семенов С.О., к.т.н.

(доцент кафедри логістичного управління і безпеки руху на транспорті, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля)

Ковтанець М.В., к.т.н.

(доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля)

ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПОЛОЖЕННЯМ КОЛІСНИХ ПАР

Сформульовано вимоги до характеристик апаратного і програмного забезпечення, що необхідне для технічної реалізації мехатронних систем керування положенням колісних пар рейкових екіпажів в горизонтальній площині для їх радіальної установки в криволінійних ділянках колії з метою забезпечення оптимальної взаємодії коліс і рейок, яке характеризується мінімальними бічними силами і зниженням зносу. Запропонована схема мехатронної системи позиціонування колісних пар дозволяє оптимально встановлювати їх на рейковій колії при різних умовах руху екіпажу. Результати розрахунків, виконаних на прикладі руху в кривій тривісного візку тепловоза 2ТЕ116, показали можливість значного зменшення напрямних сил і мінімізації кутів набігання колісних пар.

Ключові слова: рейковий екіпаж, колісна пара, радіальна установка, управління, актуатор, мехатронна система.

Gorbunov N.I., Doctor of Technical Sciences
(Professor, Department of Railway, Road Transport and Hoisting-and-Transport Machines, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University)

Klyuev S.A., Ph.D.
(Associate Professor of the Department of Logistic Management and Traffic Safety in Transport, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University)

Mikhailov E.V., Ph.D.
(Associate Professor of the Department of Logistic Management and Traffic Safety in Transport, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University)

Semenov S.A., Ph.D.
(Associate Professor of the Department of Logistic Management and Traffic Safety in Transport, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University.)

Kovtanets M.V., Ph.D.
(Associate Professor, Department of Railway, Road Transport and Hoisting-and-Transport Machines, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University.)

SUBSTANTIATION OF RATIONAL CHARACTERISTICS OF MECHATRONIC CONTROL SYSTEMS OF POSITION OF WHEEL PAIRS

The article analyzes the schematic diagrams of rail vehicles with radial installation of wheelsets. Radial installation of wheelsets in curved sections of the track allows for optimal interaction of wheels and rails. This interaction is characterized by minimal lateral forces in the contact of the wheels and the rails and a decrease in wear of their contacting surfaces. Requirements are formulated for the characteristics of hardware and software that will ensure the technical implementation of mechatronic control systems for the position of wheel pairs of rail vehicles in the rail track in the horizontal plane. The devices included in the mechatronic automatic control system must represent a single closed system in which the parameters of various electrical, mechanical and hydraulic processes are inextricably linked. Due to the high requirements for reliability and time constraints to the formation and transmission of the control signal to the actuators, the operation of such a system for rail vehicles should be carried out in real time. A schematic diagram of a mechatronic positioning system for wheel sets is proposed, which allows them to be optimally mounted on a railses under various conditions of vehicle movement. On the example of movement a three-axle bogie of a 2TE116 diesel locomotive in the curve, comparative calculations are made. The calculation results showed the possibility of a significant reduction in the guiding forces and minimizing the attac angles of the wheelsets of the modernized bogie in comparison with the standard design bogie.

Keywords: rail vehicle, wheelset, radial installation, control, actuator, mechatronic system.

УДК 621.318.38

*Співак Олександр Миколайович, к.т.н., доцент
(доцент кафедри тягового рухомого складу залізниць, ДУІТ)
Ткаченко Віктор Петрович, д.т.н., професор
(завідувач кафедри тягового рухомого складу залізниць, ДУІТ)*

РЕГУЛЯРИЗАЦІЯ ЗОВНІШНЬОЇ ГРАНИЧНОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ ВІДКРИТИХ ОСЕСИМЕТРИЧНИХ МАГНІТНИХ СИСТЕМ

Уточнений метод розрахунку розподілу напруженості магнітного поля в міжполюсному проміжку відкритих осесиметричних магнітних систем обмеження досліджуваної області. Запропоновано використання методу квазізвернення, що дозволяє перейти від некоректно поставленого завдання до коректного. Отримано рівняння з граничними умовами, рішення якого здійснюється чисельними методами розрахунку.

Ключові слова: напруженість магнітного поля, скалярний магнітний потенціал, граничні умови, метод квазізвернення.

Вступ. Однією з важливих характеристик неоднорідних магнітних полів високої інтенсивності осесиметричних електромагнітних систем є величина напруженості поля. Розрахунок напруженості поля в цих системах, в силу його тривимірності, представляє досить складне завдання. Вагомим фактором, що впливає на результати розрахунку є наявність у схемі повітряного проміжку. Повітряний проміжок істотно впливає на розподіл магнітного поля, як поблизу робочого проміжку, так і по усій довжині магнітопроводу [1, 2].

Класичне аналітичне рішення рівняння Лапласа, що описує розподіл магнітного поля в міжполюсному об'ємі осесиметричних магнітних систем, ускладнене через складну геометрію тіл, що входять у магнітне коло. Пропонується знайти уточнений метод розрахунку з використанням чисельних методів [3-7].

Розрахунок розподілу скалярного магнітного потенціалу у відкритих магнітних системах з полем високої інтенсивності і неоднорідності в робочому об'ємі з використанням чисельних методів розрахунку утруднений через обмеження розрахункової області, в якій робиться розрахунок поля, деякою поверхнею S .

Досліджувані в роботі статичні магнітні поля поза областями з розподіленими струмами підкоряються одному з основних рівнянь математичної фізики, а саме, рівнянню Лапласа в приватних похідних, яке має вигляд [8]:

$$\Delta u = 0 \quad (1)$$

де Δ – диференціальний оператор Лапласа другого порядку;

u – скалярний магнітний потенціал.

Ескіз досліджуваного класу задач з розподілом скалярного магнітного потенціалу на межі (поверхні полюсів) зображений на рис.1.

Область, в якій необхідно знайти рішення рівняння (1) є частиною простору, що лежить поза деякою обмеженою полюсами магнітною системою.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-9

Така гранична задача, як відомо, називається зовнішньою. Задача розрахунку статичного магнітного поля призводить до наступної математичної процедури: знайти функцію u , яка в усіх зовнішніх точках заданої області V задовольняє рівнянню Лапласа (1), а на межі Γ_0 області V – деякій умові, залежно від виду якого, як відомо, розрізняють три основні види граничної задачі [8]:

- 1) $u(x) = \psi(x)$, коли $x \in \Gamma$ – перша гранична задача – задача Діріхле;
- 2) $du/dn = \psi(x)$, коли $x \in \Gamma$ – друга гранична задача – задача Неймана;
- 3) $du/dn + \beta u = \psi(x)$, коли $x \in \Gamma$ – третя – змішана задача.

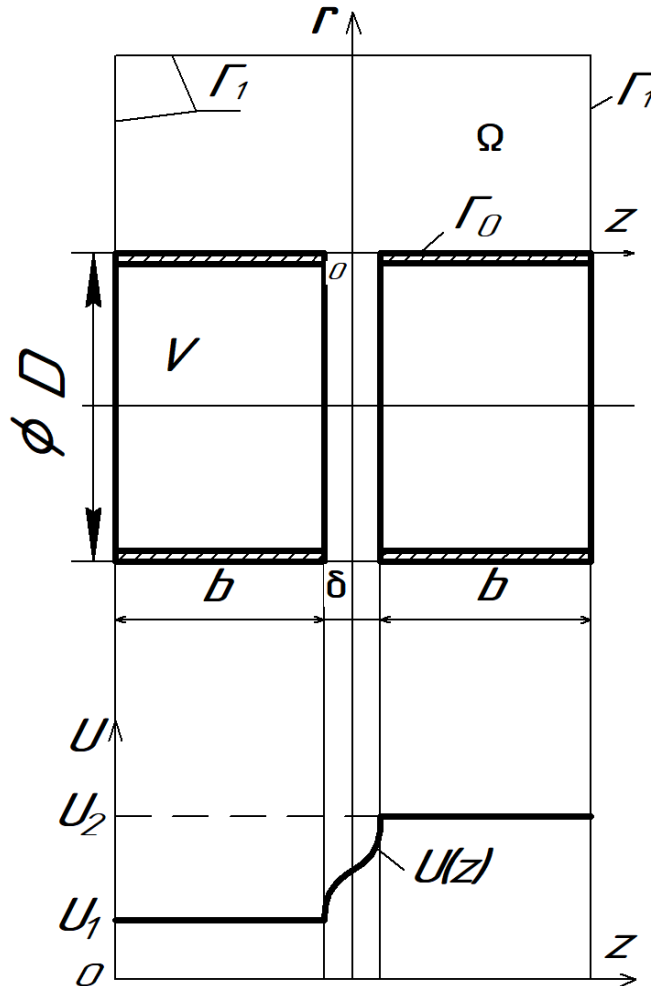


Рис. 1. Ескіз осесиметричної магнітної системи

Тут ψ і β – безперервні функції, визначені на граничній поверхні Γ , а du/dn означає похідну, узятую в точці поверхні Γ по зовнішній нормалі до неї.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Французьким математиком Адамаром свого часу було сформульовано три умови, яким повинна задовольняти кожна задача, що має зрозумілу фізичну інтерпретацію. Вони відомі як умови коректності по Адамару і відображають вимоги до математичної задачі, які полягають в тому, що рішення повинне:

- по-перше – існувати,
- по-друге – бути єдиним,

- по-третє – безперервно залежати від початкових даних.

При виконанні цих умов задача вважається коректно поставленою.

У разі розрахунку магнітного поля осесиметричних магнітних систем, загальний вид яких зображений на рис.1, необхідно вирішити задачу Коші для рівняння Лапласа, що полягає в знаходженні рішення рівняння (1) за деякими початковими даними, тобто в знаходженні рішення, що задовольняє таким умовам:

$$\begin{aligned} u(z, \Gamma_0) &= q_0; \\ \frac{\partial u}{\partial r} \Big|_{\Gamma_0} &= q_1; \end{aligned} \quad (2)$$

де q_0, q_1 – задані обмежені функції.

Як відомо, рішення цієї задачі є нестійким, через те що не виконується третя умова коректності по Адамару і, отже, задача є некоректно поставленою.

До порівняно недавнього часу некоректні задачі вважалися позбавленими фізичного сенсу і практичної цінності. Але, як показали подальші дослідження, нестійкі рішення виникають при описі багатьох реальних фізичних явищ [9,10].

У роботах Тихонова сформульовано нове визначення коректності, яке відомо, як коректність по Тихонову [8].

Великий клас задач, описується в абстрактній формі операторними рівняннями першого роду

$$A \cdot u = f, \quad (3)$$

де u, f – відповідно шуканий і даний елементи деяких просторів U і F ;

A – задане відображення (оператор), що діє з простору U в простір F .

Так от, завдання (3) називається коректно поставленим по Тихонову або умовно-коректним завданням, якщо виконані наступні умови:

- апіорі відомо, що рішення задачі (3) існує і належить деякій заданій множині $M \in U$, тобто $f \in N = AM$;
- рішення єдине на безлічі M , тобто оператор обертаємий на безлічі M ;
- існує безперервна залежність рішення u від правої частини f , коли варіації f не виводять рішення за межі безлічі M , тобто оператор A^{-1} безперервний у відноській топології безлічі N .

Отже, коректність по Тихонову відрізняється від коректності по Адамару звуженням класу можливих рішень до безлічі M (чи, що те ж саме, звуженням можливих правих частин f до безлічі N).

Досліджуване завдання (1, 2) відносять до умовно-коректного або коректного по Тихонову. Для ефективного розв'язання нестійких завдань створені спеціальні регулярні методи, ґрунтовані на заміні початкового некоректного завдання завданням або послідовністю завдань коректних в звичайному сенсі.

Для низки нестійких задач математичної фізики Р. Латтесом і Ж. Лионсом розроблений метод квазізвернення, який може бути застосований, як для еволюційних задач, так і стаціонарних [11]. Зокрема, нестаціонарні процеси є типовими для системи електропостачання електричних локомотивів [12, 13].

Є нескінченна безліч можливих способів квазізвернення, ґрунтованих на одній і тій же ідеї – змінити «систему» так, щоб некоректне завдання перетворилося на коректне. Основна ідея методу квазізвернення полягає в належній зміні диференціальних операторів, що входять в завдання. Ця зміна робиться введенням додаткових диференціальних членів, які відповідають таким умовам:

по-перше, вони – досить «малі» (можуть прямувати до нуля);
по-друге, «вироджуються на межі» (для того, щоб, наприклад, усунути ті, що виникають з введенням нових членів складні граничні умови, а також умови, в які можуть увійти невідомі, такі, що підлягають визначенню).

Побудовані таким чином оператори мають, як правило, більш високий порядок.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розрахунок розподілу магнітного поля з високим ступенем інтенсивності і неоднорідності в повітряному зазорі відкритих осесиметричних магнітних систем чисельними методами. Для використання чисельних методів розрахунку необхідно вирішити наступні завдання

- дослідити рішення рівняння Лапласа в приватних похідних для зовнішньої граничної задачі, яку відносять до умовно – коректних;
- проаналізувати спеціальні регулярні методи заміни початкової некоректної задачі задачею або послідовністю задач коректних в звичайному сенсі;
- дослідити застосування методу квазізвернення для чисельного рішення зовнішньої граничної задачі розподілу поля відкритих магнітних систем.

Матеріали та методи дослідження. На рис.1 зображено область Ω , в якій необхідно знайти розподіл скалярного магнітного потенціалу. Для вирішення застосований метод квазізвернення [11], згідно якого необхідно знайти рішення не операторного рівняння Лапласа

$$A \cdot u = 0, \quad (4)$$

з граничними умовами

$$u(z, D/2) = q_0;$$

$$\partial u / \partial r |_{(r=D/2)} = q_1 \text{ при } -b - \delta/2 < z < b + \delta/2; \quad (5)$$

а рівняння

$$\frac{1}{\varepsilon_1^2} A^* (M_{\varepsilon_0}^2 A u_\varepsilon) - \sum_{i,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho_{\varepsilon_0}^2 a_{i,j} \frac{\partial u_\varepsilon}{\partial x_j}) + a_0 u_\varepsilon = 0, \quad (6)$$

що задовольняє граничним умовам (5).

У рівнянні (6):

A – еліптичний диференціальний оператор другого порядку, в загальному вигляді який визначається таким чином:

$$A = - \sum_{i,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left(a_{i,j}(x) \frac{\partial}{\partial x_j} \right) + a_0,$$

$$a_{i,j} \in C^3(\bar{\Omega}), \quad a_0 \in C^0(\bar{\Omega});$$

$C^3(\bar{\Omega})$ – простір функцій що мають третю безперервну похідну в області $\bar{\Omega}$;

$C^0(\bar{\Omega})$ – простір безперервних функцій в області $\bar{\Omega}$;

A^* – еліптичний диференціальний оператор, пов'язаний оператору A .

Функції M_{ε_0} і ρ_{ε_0} у рівнянні (6) визначаються таким чином (рис. 2, 3):

$M_{\varepsilon_0}(x) = 1$, якщо $d(p, \Gamma_1) \geq 2\varepsilon_0$, $x \in \Omega$;

$M_{\varepsilon_0}(x) = 0$, якщо $d(p, \Gamma_1) < \varepsilon_0$;

$M_{\varepsilon_0}(x)$ безперервно змінюється від 0 до 1 в останній частині Ω ;

$\rho_{\varepsilon_0}(x) = 1$, якщо $d(p, \Gamma_1) \geq \varepsilon_0$;

$\rho_{\varepsilon_0}(x) = d(p, \Gamma_1) \frac{1}{\varepsilon_0}$, якщо $d(p, \Gamma_1) < \varepsilon_0$,

де $d(p, \Gamma_1)$ – відстань довільної точки p до межі Γ_1 (див. рис. 2, 3), $p \in \Omega$.

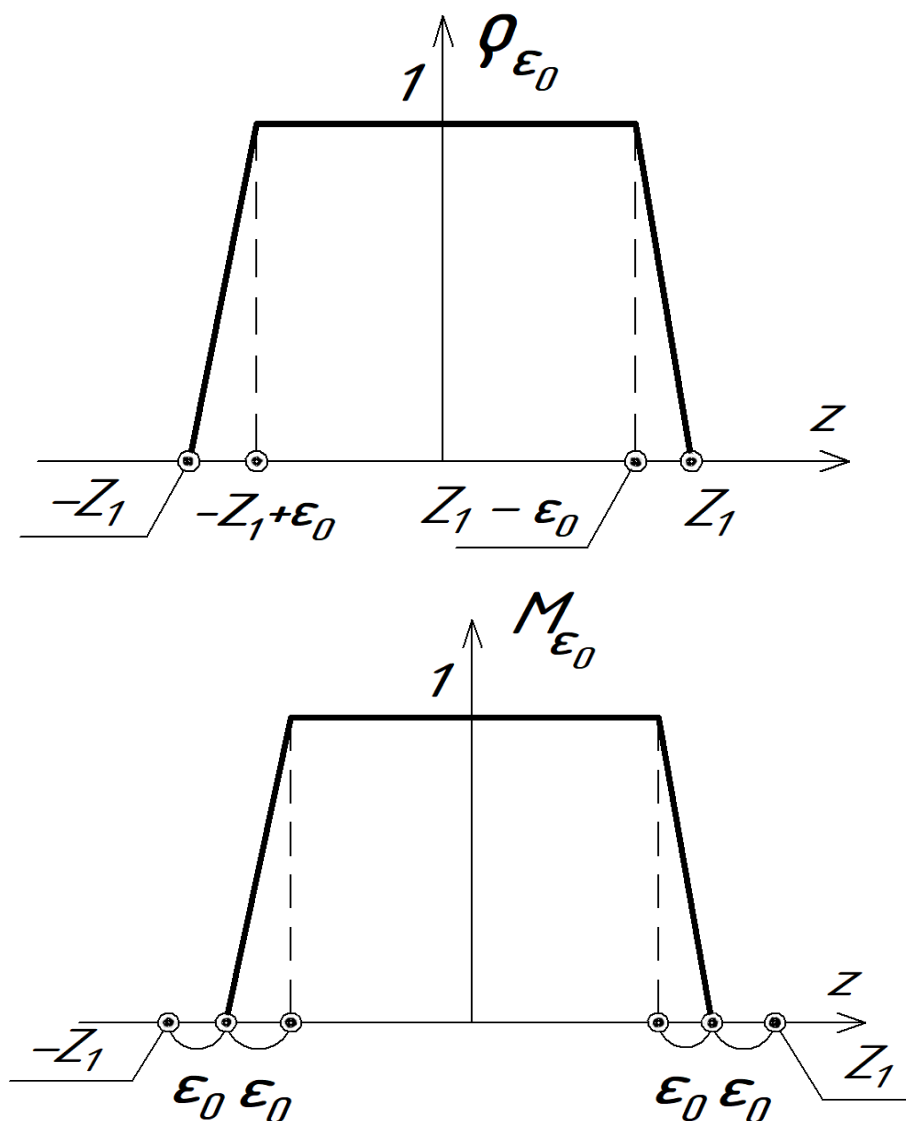


Рис. 2. До визначення функцій M_{ε_0} і ρ_{ε_0}

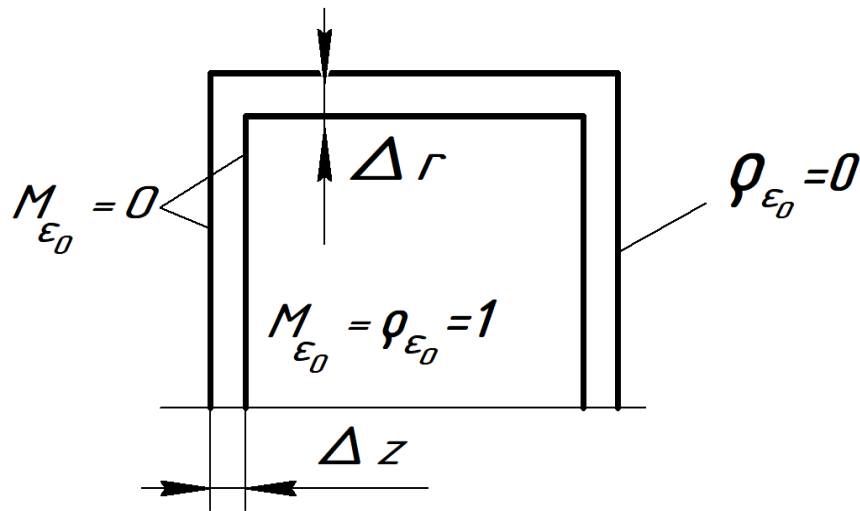


Рис. 3. Граничні значення функцій для $\epsilon_0 = \Delta z = \Delta r$

Введемо оператор A_{ϵ_0} , що є «апроксимацією» оператора A («яка вироджується на границі Γ_1 »)

$$A_{\epsilon_0} = - \sum_{i,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho_{\epsilon_0}^2 a_{i,j} \frac{\partial}{\partial x_j} \right) + a_0,$$

Рівняння (6) набуває вигляду:

$$\frac{1}{\epsilon_i^2} A^* (M_{\epsilon_0}^2 A u_\epsilon) + A_{\epsilon_0} u_\epsilon = 0 \quad (7)$$

Гранична функція u повинна задовольняти рівнянню:

$$A u = 0$$

Згідно з методом квазізвернення, завдання (6) або, що те ж саме, (7) з початковими умовами (5) визначають u_ϵ єдиним чином і поставлена коректно.

Звернемо увагу на наступне:

- еліптичний диференціальний оператор в рівнянні (6) четвертого порядку усередині області $\Omega' = \Omega_{\epsilon_0}$, тут Ω' (чи Ω_{ϵ_0}) – відкрита множина в області Ω виду $\Omega' = \{x \mid d(x, \Gamma_1) \leq \epsilon_0\}$,

- цей оператор вироджується в проміжній межі $d(x, \Gamma_1) = \epsilon_0$, так, що крім умов (5), не потрібно ніяких інших граничних умов.

Таким чином (відповідно до загальної ідеї квазізвернення), некоректне завдання замінене сімейством коректних завдань. На практиці, вибравши ϵ , де $\epsilon = \{\epsilon_0, \epsilon_1\}$ безпосередньо вирішують задачу (5, 6) з використанням чисельних методів розрахунку [14-15].

Висновки. Для розрахунку розподілу магнітного поля в міжполюсному просторі відкритих осесиметричних магнітних систем необхідно вирішити задачу Коші для рівняння Лапласа, яка відноситься до умовно-коректних. Для регуляризації завдання використаний метод квазізвернення, головна ідея якого полягає в зміні диференціальних операторів у рівнянні, що

описує розподіл скалярного магнітного потенціалу. Використання методу квазізвернення для досліджуваної зовнішньої граничної задачі дозволяє ефективно використати чисельні методи розрахунку розподілу магнітного поля для відкритих осесиметричних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Магнитные цепи, поля и программа FEMM. М.: Академия, 2005. 336 с.
2. Андреева Е.Г., Татевосян А.А., Семина И.А. Исследование осесимметричной модели магнитной системы открытого типа. *Омский научный вестник*. 2010. Вып.1(87). С.110-113.
3. Alternative method to calculate the magnetic field of permanent magnets with azimuthal symmetry / Camacho J.M., Sosa V. // *Revista Mexicana de Física*. 2013. Vol. 59. P. 8–17.
4. Steinbach O. Numerical approximation methods for elliptic boundary value problems. New York: Springer, 2008.
5. Sivak S. Boundary Element Method for eddy current problem // *Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE)*, 2014 12th International Conference on. IEEE. 2014. С. 207—214.
6. Kuczmann M. Potential formulations in magnetics applying the finite element method // *Lecture notes, Laboratory of Electromagnetic Fields, “Sz’echenyi Istv’an” University, Győr, Hungary*. 2009.
7. Самарский А.А., Вабищев П.Н. Численные методы решения обратных задач математической физики: Учебное пособие. Изд.3-е. М.: Издательство ЛКИ, 2009. 480с.
8. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. 7-е изд. М.: Наука, 2004. 798 с.
9. Кабанikhин С. И. Обратные и некорректные задачи. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2018. 511с.
10. Воронин А.Ф., Ковтанюк А.Е., Лаврентьев М.М. Краевая задача Римана в исследовании корректности линейных и нелинейных задач математической физики. *Сиб. электрон. матем. изв.* 2010. Вып.7. С. 112–122.
11. Султанов М.А., Калматаева Б.Б. О решении граничной обратной задачи для параболического уравнения методом квазиобращения. *Научные труды ЮКГУ им.М.Ауэзова*. 2016. Вып.1(36). С. 63-67.
12. Gorobchenko O., Tkachenko V. Statistical analysis of locomotives traction motors performance. *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 287, p. 04002. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928704002>.
13. Goolak S., Gerlici J., Sapronova S., Tkachenko V., Lack T., & Kravchenko K. Determination of Parameters of Asynchronous Electric Machines with Asymmetrical Windings of Electric Locomotives. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina*, 2019. 21(2), 24-31. ISSN 2585-7878.
14. Finite element formulation with coupled vector-scalar magnetic potentials for eddy current problems // 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST-2016). IEEE. 2016. С. 456–460.
15. Yufeng L., Fengtao Y. Research progress and development trend of permanent magnetic separators in China and abroad // *Proceedings of 3rd International Conference on Vehicle, Mechanical and Electrical Engineering (ICMVEE)*. U.S.A. 2016. <https://doi.org/10.12783/dtetr/icvmee2016/4873>.

REFERENCES

1. Bul O.B. (2005). Metody rascheta magnitnykh sistem elektricheskikh apparatov. *Magnitnyye tsepi, polya i programma FEMM [Calculation methods for magnetic systems of electrical apparatus. Magnetic circuits, fields and the FEMM]*. Moscow: Akademiya [in Russian].
2. Andreeva E.G., Tatevosyan A.A., Semina I.A. (2010). Issledovanie osesimmetrichnoy modeli magnitnoy sistemyi otkryitogo tipa [Research of an axisymmetric model of an open type magnetic system]. *Omskiy nauchnyi vestnik – Omsk Scientific Bulletin, Issue 1 (87)*, 110-113 [in Russian].
3. Camacho J.M., & Sosa V. (2013). Alternative method to calculate the magnetic field of permanent magnets with azimuthal symmetry. *Revista Mexicana de Física*, 59, 8–17.
4. Steinbach, O. (2008). Numerical Approximation Methods for Elliptic Boundary Value Problems. *Finite and Boundary Elements*. (1 ed.) New York: Springer.
5. Sivak S. (2014). Boundary Element Method for eddy current problem. *12th International Conference on. IEEE*. 207–214.
6. Kuczmann M. (2009). Potential formulations in magnetics applying the finite element method. *Fields. “Sz’echenyi Istv’an” University*.
7. Samarskiy A.A., Vabishchev P.N. (2009). Chislennyye metody resheniya obratnykh zadach matematicheskoy fiziki [Numerical methods for solving inverse problems of mathematical physics]. Moscow: Publishing house LCI [in Russian].
8. Tikhonov A.N., Samarskiy A.A. (2004). Uravneniya matematicheskoy fiziki [Equations of mathematical physics]. Moscow: Nauka [in Russian].
9. Kabanikhin S. I. (2018). Obratnyye i nekorrektnyye zadachi [Inverse and ill-posed problems]. Novosibirsk: Publishing House of the SB RAS [in Russian].

10. A. F. Voronin, A. Ye. Kovtanyuk, M. M. Lavrent'yev. (2010). Krayevaya zadacha Rimana v issledovanii korrektnosti lineynykh i nelineynykh zadach matematicheskoy fiziki [The Riemann boundary value problem in the study of the correctness of linear and nonlinear problems in mathematical physics] *Sib. elektron. matem. izv. – Sib. electron. mate. izv. Issue 7*. 112–122 [in Russian].
11. Sultanov M.A., Kalmatayeva B.B. (2016). O reshenii granichnoy obratnoy zadachi dlya parabolicheskogo uravneniya metodom kvaziobrashcheniya [On the solution of the boundary inverse problem for a parabolic equation by the quasi-inversion method] *Nauchnyye trudy YUKGU im.M.Auezova – Scientific works of SKSU named after M. Auezov. Issue 1* (36). 63-67 [in Russian].
12. Gorobchenko, O., & Tkachenko, V. (2019). Statistical analysis of locomotives traction motors performance. *MATEC Web of Conferences*. 287, 04002. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928704002>.
13. Goolak, S., Gerlici, J., Sapronova, S., Tkachenko, V., Lack, T., & Kravchenko, K. (2019). Determination of Parameters of Asynchronous Electric Machines with Asymmetrical Windings of Electric Locomotives. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina*, 21(2), 24-31. ISSN 2585-7878.
14. Royak M. (2016). Finite element formulation with coupled vector-scalar magnetic potentials for eddy current problems. *IEEE 11th International Forum on Strategic Technology*, 456—460.
15. Yufeng L., Fengtao Y. (2016). Research progress and development trend of permanent magnetic separators in China and abroad. *Proceedings of 3rd International Conference on Vehicle, Mechanical and Electrical Engineering (ICMVEE)*. U.S.A. <https://doi.org/10.12783/dtetr/icvmee2016/4873>.

Спивак Александр Николаевич, к.т.н., доцент
(доцент кафедры «Тяговый подвижной состав железных дорог», ГУИТ)
Ткаченко Виктор Петрович, д.т.н., профессор
(заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав железных дорог», ГУИТ)

РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ ВНЕШНЕЙ ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

Уточнен метод расчета распределения напряженности магнитного поля в межполюсном зазоре открытых осесимметричных магнитных систем ограничением исследуемой области. Предложено использование метода квазиобращения, позволяющего перейти от некорректно поставленной задачи к корректной. Получено уравнение с граничными условиями, решение которого осуществляется численными методами расчета.

Ключевые слова: напряженность магнитного поля, скалярный магнитный потенциал, граничные условия, метод квазиобращения.

Oleksandr Spivak, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
(an associate professor Department of traction rolling stock of railways, SUIT)
Viktor Tkachenko, Doctor of Technical Sciences, Professor
(leader by a department the "Hauling rolling stock of railways" SUIT)

REGULARIZATION OF AN EXTERNAL BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR OPEN AXISYMMETRIC MAGNETIC SYSTEMS

Important characteristic of magnetic-field with the high measure of intensity and heterogeneity in the swept volume of the electromagnetic systems is a size of tension of the field H . Calculation of tension in the field H in these systems, characterized by relatively large air interval, given its three-dimensionality, presents a very difficult task.

Analytical decision of equalization of Laplace that describes distribution of magnetic-field in the interpol volume of the axisymmetrical magnetic systems, difficultly from difficult geometry of bodies that is included in a calculation area, that is why for research of distribution of tension the expedient use of numeral methods of calculation - to the method of eventual differences, method of eventual elements, method of maximum integral equalizations.

The calculation of distribution of scalar magnetic potential in open magnetic systems with the use of numeral methods of calculation causes the difficulties related to limitation of calculation area in which the calculation is conducted.

The static magnetic fields, analysed in this research, obey one of basic equalizations of mathematical physics, and namely, to equalization of Laplace in partial differential.

In case of calculation of magnetic field of the axisymmetrical magnetic systems it is necessary to resolve the Cauchy problem for equalization of Laplace. It is known, that this task does not have characteristic of steadyness, and thus does not obey Hadamars third condition of correctness and, therefore, is considered incorrectly defined.

For the number of unsteady tasks of mathematical physics of R.Lattes and ZH.Lions developed the quasi-random method, that can be applied both for evolutionary tasks, as well as for constant. The basic idea of quasi-random method lays in proper update of differential operators that are part of the task. This change is done by introducing additional differential elements. Application of this method allows to use effectively the numeral methods of calculation of regional task for open axisymmetrical systems.

Keywords: *magnetic field tension, scalar magnetic potential, boundary conditions, quasi-random method.*

УДК 629.4-592

*Сидоренко Анатолій, аспірант
(аспірант кафедри «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Українського державного університету залізничного транспорту)*

МОДЕЛЮВАННЯ ТЯГОВОГО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ

У роботі представлена математична модель системи електричної тяги з урахуванням варіації параметрів її об'єктів відповідно до перехресних зв'язків, просторової орієнтації рухомого складу та суб'єктивних факторів. Запропоновано підхід щодо математичного моделювання електричного тягового рухомого складу, як об'єкта формування енергообмінних процесів тягової мережі. Проведено верифікацію результатів моделювання з даними експлуатаційної роботи реального об'єкта та його паспортними даними.

Ключові слова: математична модель, тягова мережа, просторово-орієнтована схема, електропоїзд, схема заміщення.

Вступ. Урбанізація та постійне зростання попиту на мобільність провокують збільшення частки енергозатрат на пасажирські перевезення у транспортному секторі, де електричний моторвагонний рухомий склад є одним з основних представників серед інших видів транспорту.

Сьогодні монотонне зростання вартості енергоносіїв робить актуальним необхідність пошуку способів уникнення недоцільних втрат в енергетичному комплексі та досягнення раціональних режимів експлуатації електричного рухомого складу задля збереження за залізничним транспортом одного з провідних місць на ринку транспортних послуг.

Пошук шляхів рішення такого роду задач сьогодні передбачає використання в системі електричної тяги різного роду додаткових пристроїв та установок а саме: компенсаційних установок, різноманітних фільтрів та накопичувачів енергії. Особливо увага акцентується на накопичувачах енергії, котрі вирішують ряд задач, а саме: прийом енергії рекуперації; згладжування негативних піків навантаження і вирівнювання хвилинних, годинних і навіть добових графіків енергоспоживання; скорочення втрат в елементах тягової та первинної мережі; зниження величини встановленої потужності перетворювачів тощо. Хоча на сьогодні вже є достатньо значний багаж знань як в області теоретичних досліджень, так і зі сторони практичного застосування, проте прослідковується певна нестача інструментів, що дозволяли б проводити повноцінне імітаційне моделювання системи електричної тяги.

Володіння такого роду інструментами надає можливість оцінити вплив перехресних зв'язків між структурними елементами системи під час протікання енергообмінних процесів між ними, визначити полігони ефективного використання накопичувачів енергії, оцінити потенціал скорочення енергозатрат та техніко-економічний ефект від їх застосування. Отже пріоритетним завданням на сьогодні є розробка імітаційних комплексів системи електричної тяги із закладеною можливістю простої інтеграції моделей енергозберігаючих систем та базових даних для повного спектру інформації як на стадії проектування, так і експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Система електричної тяги – це складна багатофакторна система з взаємозалежними перехідними електромагнітними процесами.

DOI: 10.32703/2617-9040-2020-35-10

Дослідження відповідних процесів сприяють вирішенню задач оптимізації керування рухомим складом [1, 2], зниженню втрат за рахунок підвищення ефективності тягового обладнання [3, 4], поліпшенню показників якості та режимів споживання електричної енергії [2, 5], повторного використання відновленої енергії [2, 5–8], захисту від аварійних режимів і нештатних ситуацій [9], поліпшення електромагнітної сумісності [3] та ін.

У зв'язку з різноманітністю типів електричного тягового рухомого складу, схем та конструкцій систем тягового електропостачання більшість досліджень передбачають моделювання лише окремих структурних елементів системи електричної тяги зі спрощеним представленням інших протягом коротких часових інтервалів. У таких випадках це не дозволяє максимально наблизити умови моделювання до експлуатаційних та повноцінно враховувати перехресні зв'язки між структурними елементами системи. Також у більшості процесах дослідження дещо нівелюється вплив факторів, котрі носять випадковий характер та параметрів, що мають певну відносність, як приклад, просторову. Яскравим прикладом цього є система тягового електропостачання де схема її заміщення є «просторово-орієнтована». Тобто параметри схеми заміщення варіюються відповідно до просторового знаходження рухомого складу на профілю шляху. Таким чином в умовах актуальності пошуку рішень підвищення енергетичної ефективності системи електричної тяги існує необхідність розробки програмно-імітаційного комплексу, що має поєднувати в собі моделювання руху поїзда з максимальною наближеністю до картини поїзної роботи транспортних засобів.

Мета та завдання дослідження – є розробка комплексного математичного інструменту дослідження системи електричної тяги з урахуванням варіації параметрів її об'єктів у відповідності до їх перехресних зв'язків, просторової орієнтації та суб'єктивних факторів.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі завдання:

- розробка математичної моделі системи тягового електропостачання постійного струму з двостороннім живленням двох шляхів, базуючись на просторово орієнтованій схемі заміщення;
- розробка універсального підходу з точки зору моделювання різних типів електричного тягового рухомого складу, як об'єкта системи електричної тяги у поєднанні з максимальною збалансованістю в аспекті мінімального часу симуляції.
- оцінка відповідності створеної моделі реальному об'єкту.

Матеріали та методи дослідження. В системі електричної тяги можна виділити два ключових об'єкти, а саме: систему тягового електропостачання та тягові рухомі одиниці.

Найбільшого розповсюдження набула двостороння схема живлення рухомого складу (рис. 1), оскільки забезпечує рівномірне завантаження тягових підстанцій та тягової мережі, високу надійність живлення тягових навантажень, знижені втрати потужності в елементах, низький вплив на лінії зв'язку та на підземні металеві споруди.

Аналіз характеру протікання струмів і напруг в системі «тягова мережа – рухомий склад» проводиться на базі методів розрахунку електричних кіл [10, 11]. У системах змінного струму найбільш зручним є вузловий метод формалізації та розрахунку електричного кола, в якому на основі матриці потенціалів вузлів розраховуються струми і напруги всіх гілок схеми заміщення міжстанційної зони.

У ланцюгах постійного струму (міський електричний транспорт, залізничний транспорт) більш ефективним є застосування контурної інтерпретації схеми. У подальшому розглядатиметься система живлення постійного струму рухомого складу метрополітену з електродинамічним гальмуванням.

Складність розробки математичної моделі просторово-орієнтованої схеми заміщення полягає у необхідності врахування великої кількості різного роду пристроїв та споруд, їх топології розміщення, місця знаходження тягових споживачів в межах міжстанційної зони [12–14]. Це призводить до варіації параметрів об'єктів системи та потребує її розгляду у вигляді множини миттєвих схем [14].

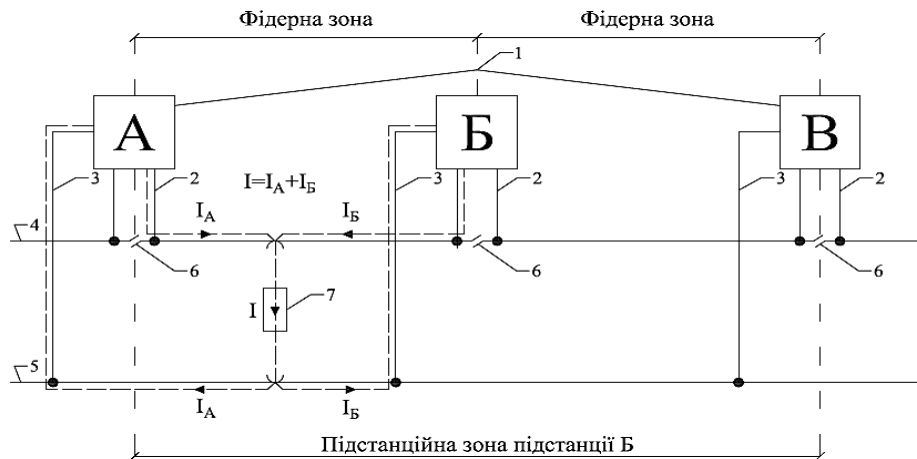


Рис. 1. Схеми живлення контактної мережі

1 – тягова підстанція; 2 – живляча лінія тягової підстанції; 3 – відсмоктуюча лінія тягової підстанції; 4 – контактна мережа; 5 – рейки; 6 – секційний пристрій; 7 – електричний тяговий рухомий склад

Одним з таких прикладів є тягова мережа метрополітену, що являє собою децентралізовану систему з двостороннім живленням контактної рейки від двох тягових підстанцій. Схема її заміщення подана на рис. 2. Електричні опори контактних ($R_{к11}$, $R_{к22}$, $R_{к12}$, $R_{к21}$) та ходових рейок ($R_{р11}$, $R_{р22}$, $R_{р12}$, $R_{р21}$) тягової мережі (рис. 2) представляються у вигляді функції місця знаходження тягового рухомого складу (s_i) в межах міжстанційної зони.

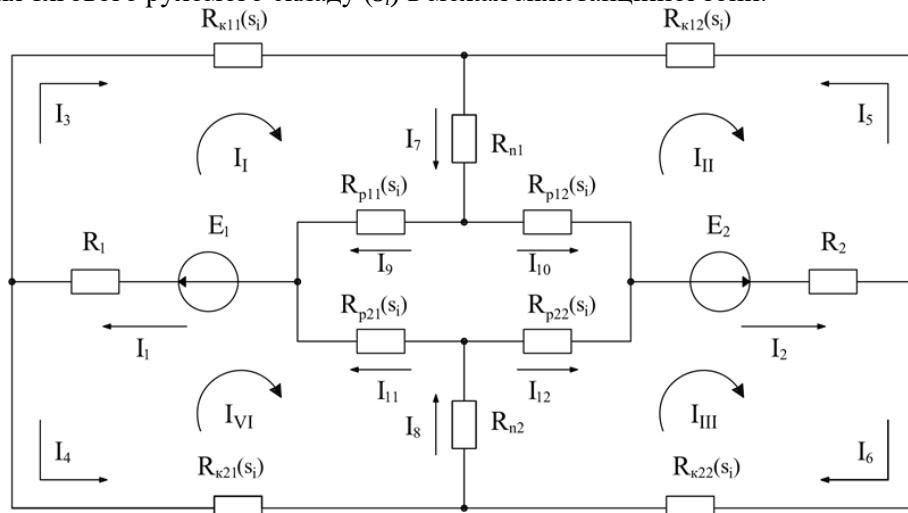


Рис. 2. Просторово-орієнтована схема заміщення системи електропостачання тягової мережі метрополітену при децентралізованому двосторонньому живленні контактної рейки від двох тягових підстанцій:

$R_{к11}(s_i)$, $R_{к21}(s_i)$ – опір, контактної рейки підстанційної зони підстанції E_1 при слідуванні по 1 та 2 шляху відповідно; $R_{р11}(s_i)$, $R_{р21}(s_i)$ – опір, ходових рейок підстанційної зони підстанції E_1 при слідуванні по 1 та 2 шляху відповідно; $R_{к12}(s_i)$, $R_{к22}(s_i)$ – опір контактної рейки підстанційної зони підстанції E_2 при слідуванні по 1 та 2 шляху відповідно; $R_{р12}(s_i)$, $R_{р22}(s_i)$ – опір ходових рейок підстанційної зони підстанції E_2 при слідуванні по 1 шляху; R_{n1} , R_{n2} – еквівалентний опір тягового електроприводу електропоїзду, що слідує по 1 шляху та 2 шляху відповідно; R_1 , R_2 – опір, що враховує втрати в елементах підстанцій E_1 та E_2 відповідно

Використання контурної інтерпретації схеми заміщення (рис. 2) розкриває можливість формування залежності струмів, що протікають в елементах тягової мережі та споживаються тяговими рухомими одиницями відповідно до різноманітних умов та станів окремих елементів системи електричної тяги та дає змогу враховувати варіацію параметрів елементів системи залежно від різноманітних плинних змінних (час, пройдений поїздом шлях). Повну систему струмів тягової мережі можна виразити за такими рівняннями:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_I - I_{IV}; & I_2 &= I_{III} - I_{II}; & I_3 &= -I_I; & I_4 &= -I_{IV}; & I_5 &= -I_{II}; & I_6 &= I_{III}; \\ I_7 &= I_I - I_{II}; & I_8 &= I_{III} - I_{IV}; & I_9 &= I_I; & I_{10} &= -I_{II}; & I_{11} &= -I_{IV}; & I_{12} &= I_{III}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $I_I, I_{II}, I_{III}, I_{IV}$ – контурні струми незалежних контурів I, II, III, IV відповідно:

$$I_I = \frac{E_1 \cdot b \cdot R_{n2}^2 - E_2 \cdot R_{n1} \cdot R_{n2}^2 - E_1 \cdot b \cdot c \cdot d}{-R_{n1}^2 \cdot R_{n2}^2 + c \cdot d \cdot R_{n1}^2 + R_2 \cdot R_1 \cdot R_{n1} \cdot R_{n2} + a \cdot b \cdot R_{n2}^2 - a \cdot b \cdot c \cdot d} +$$

$$+ \frac{E_2 \cdot c \cdot d \cdot R_{n1} - E_2 \cdot d \cdot R_{n1} \cdot R_2 + E_1 \cdot R_{n1} \cdot R_{n2} \cdot R_2}{-R_{n1}^2 \cdot R_{n2}^2 + c \cdot d \cdot R_{n1}^2 + R_2 \cdot R_1 \cdot R_{n1} \cdot R_{n2} + a \cdot b \cdot R_{n2}^2 - a \cdot b \cdot c \cdot d} ; \quad (2)$$

$$I_{II} = \frac{-E_2 \cdot a \cdot R_{n2}^2 + E_1 \cdot R_{n1} \cdot R_{n2}^2 + E_2 \cdot a \cdot c \cdot d - E_1 \cdot c \cdot d \cdot R_{n1} - E_2 \cdot a \cdot d \cdot R_2}{-R_{n1}^2 \cdot R_{n2}^2 + c \cdot d \cdot R_{n1}^2 + R_2 \cdot R_1 \cdot R_{n1} \cdot R_{n2} + a \cdot b \cdot R_{n2}^2 - a \cdot b \cdot c \cdot d} +$$

$$+ \frac{E_1 \cdot a \cdot R_{n2} \cdot R_2 - E_1 \cdot R_{n2} \cdot R_2 \cdot R_1}{-R_{n1}^2 \cdot R_{n2}^2 + c \cdot d \cdot R_{n1}^2 + R_2 \cdot R_1 \cdot R_{n1} \cdot R_{n2} + a \cdot b \cdot R_{n2}^2 - a \cdot b \cdot c \cdot d} ; \quad (3)$$

$$I_{III} = \frac{E_2 \cdot d \cdot R_{n1}^2 - E_1 \cdot R_{n1}^2 \cdot R_{n2} - E_2 \cdot a \cdot b \cdot d}{-R_{n1}^2 \cdot R_{n2}^2 + c \cdot d \cdot R_{n1}^2 + R_2 \cdot R_1 \cdot R_{n1} \cdot R_{n2} + a \cdot b \cdot R_{n2}^2 - a \cdot b \cdot c \cdot d} +$$

$$+ \frac{E_1 \cdot a \cdot b \cdot R_{n2} - E_1 \cdot b \cdot R_{n2} \cdot R_1 + E_2 \cdot R_{n1} \cdot R_{n2} \cdot R_1}{-R_{n1}^2 \cdot R_{n2}^2 + c \cdot d \cdot R_{n1}^2 + R_2 \cdot R_1 \cdot R_{n1} \cdot R_{n2} + a \cdot b \cdot R_{n2}^2 - a \cdot b \cdot c \cdot d} ; \quad (4)$$

$$I_{IV} = \frac{-E_1 \cdot c \cdot R_{n1}^2 + E_2 \cdot R_{n1}^2 \cdot R_{n2} + E_1 \cdot a \cdot b \cdot c - E_2 \cdot a \cdot b \cdot R_{n2} - E_1 \cdot b \cdot c \cdot R_1}{-R_{n1}^2 \cdot R_{n2}^2 + c \cdot d \cdot R_{n1}^2 + R_2 \cdot R_1 \cdot R_{n1} \cdot R_{n2} + a \cdot b \cdot R_{n2}^2 - a \cdot b \cdot c \cdot d} +$$

$$+ \frac{E_2 \cdot c \cdot R_{n1} \cdot R_1 - E_2 \cdot R_{n1} \cdot R_2 \cdot R_1}{-R_{n1}^2 \cdot R_{n2}^2 + c \cdot d \cdot R_{n1}^2 + R_2 \cdot R_1 \cdot R_{n1} \cdot R_{n2} + a \cdot b \cdot R_{n2}^2 - a \cdot b \cdot c \cdot d} ; \quad (5)$$

a, b, c, d – коефіцієнти, що формують миттєві значення власних опорів I, II, III, IV незалежних контурів відповідно:

$$\begin{aligned} a &= R_{\kappa 11} + R_{n1} + R_{p11} + R_1; & b &= R_{n1} + R_{\kappa 12} + R_{p12} + R_2; & c &= R_{\kappa 22} + R_{n2} + R_{p22} + R_2; \\ d &= R_{n2} + R_{\kappa 21} + R_{p21} + R_1; \end{aligned} \quad (6)$$

$R_{\kappa 11}, R_{\kappa 12}$ – миттєві значення опорів, контактних рейок підстанційної зони підстанцій E_1 та E_2 відповідно під час прямування електропоїзда по i -й міжстанційній ділянці 1-го шляху:

$$R_{\kappa 11} = \rho_k \cdot \int_0^{s_i} v_{EPC1}(s_i) ds; \quad R_{\kappa 12} = \rho_k \cdot \left(s_i - \int_0^{s_i} v_{EPC1}(s_i) ds \right); \quad (7)$$

R_{p11} , R_{p12} – миттєві значення опорів, ходових рейок підстанційної зони підстанцій E_1 та E_2 відповідно під час прямування електропоїзда по i -й міжстанційній ділянці 1-го шляху:

$$R_{p11} = \rho_p \cdot \int_0^{s_i} v_{EPC1}(s_i) ds; \quad R_{p12} = \rho_p \cdot \left(s_i - \int_0^{s_i} v_{EPC1}(s_i) ds \right); \quad (8)$$

R_{k21} , R_{k22} – миттєві значення опорів, контактних рейок підстанційної зони підстанцій E_1 та E_2 відповідно під час прямування електропоїзда по i -й міжстанційній ділянці 2-го шляху:

$$R_{k21} = \rho_k \cdot \left(s_i - \int_0^{s_i} v_{EPC2}(s_i) ds \right); \quad R_{k22} = \rho_k \cdot \int_0^{s_i} v_{EPC2}(s_i) ds; \quad (9)$$

R_{p21} , R_{p22} – миттєві значення опорів, ходових рейок підстанційної зони підстанцій E_1 та E_2 відповідно під час прямування електропоїзда по i -й міжстанційній ділянці 2-го шляху:

$$R_{p21} = \rho_p \cdot \left(s_i - \int_0^{s_i} v_{EPC2}(s_i) ds \right); \quad R_{p22} = \rho_p \cdot \int_0^{s_i} v_{EPC2}(s_i) ds; \quad (10)$$

ρ_k – питомий електричний опір контактної рейки, Ом/м;

ρ_p – питомий електричний опір ходової рейки, Ом/м;

$v_{EPC1}(s_i)$ – лінійна швидкість електропоїзда, що рухається по i -й міжстанційній ділянці 1-го шляху, м/с;

$v_{EPC2}(s_i)$ – лінійна швидкість електропоїзда, що рухається по i -й міжстанційній ділянці 2-го шляху, м/с.

Отже, представлення схеми заміщення тягової мережі в такому вигляді значно спрощує розробку її математичної моделі та в подальшому полегшує проведення імітаційного моделювання та дозволяє вирішувати задачі оцінки втрат в елементах різноманітних частин системи тягового електропостачання, впливу на розхід електроенергії відхилень від графіка руху, формування рекомендацій по організації руху. Як приклад, в таблиці 1 приведено вихідні параметри тягової мережі метрополітену, необхідні для розрахунку [15].

Таблиця 1. Вихідні параметри тягової мережі метрополітену

Параметр	Номинальна напруга на виході тягової підстанції, В	Питомий електричний опір контактної рейки при температурі 15 °C ρ_k Ом/км	Питомий електричний опір ходових рейок при температурі 20 °C ρ_p , Ом/км		Опір фідера та відсмоктувальної лінії (R_1 , R_2), Ом
Значення	825	0,0189	P50	P65	0,0037
			0,0318	0,0254	

В умовах різноманітності типів тягових електроприводів ускладненим є проведення повноцінного моделювання руху поїзда, в умовах наближених до експлуатаційних. Оскільки це вимагає достатньо глибокої деталізації моделі силової частини тягового електроприводу, його системи керування, механічної частини рухомого складу, з використанням повного переліку технічних параметрів, що в більшості випадків не перебувають в загальному доступі. Суттєвою

проблемою є також проведення симуляції протягом досить тривалого часу, котрий відповідав хоча б часу обороту поїзда, у зв'язку з необхідністю володіння програмно-обчислювальним комплексом достатньо високої потужності.

Для дослідження характеру протікання енергетичних процесів у тяговій мережі та використання розробленої математичної моделі як інструменту пошуку рішень по скороченню енергетичних втрат її в елементах, існує можливість представлення тягових та гальмівних характеристик тягового рухомого складу у вигляді табличних функцій, відповідно до миттєвого значення напруги на його струмоприймачах та лінійної швидкості руху. Достатнім є приведення табличних функцій тягових та гальмівних характеристик для двох значень напруг, наприклад, максимально та мінімально допустимої (рис. 3, рис. 4). Це дозволяє, використавши один зі способів інтерполяції, відтворити вплив зміни напруги живлення тягового електроприводу на реалізацію тягового та гальмівного зусилля.

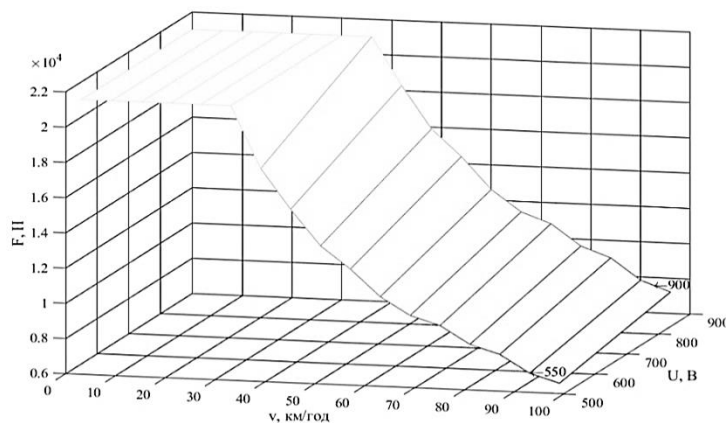


Рис. 3. Тягова характеристика вагона метрополітену модель 81-7036 з обмеженнями по швидкості та напрузі живлення приведена до однієї привідної осі

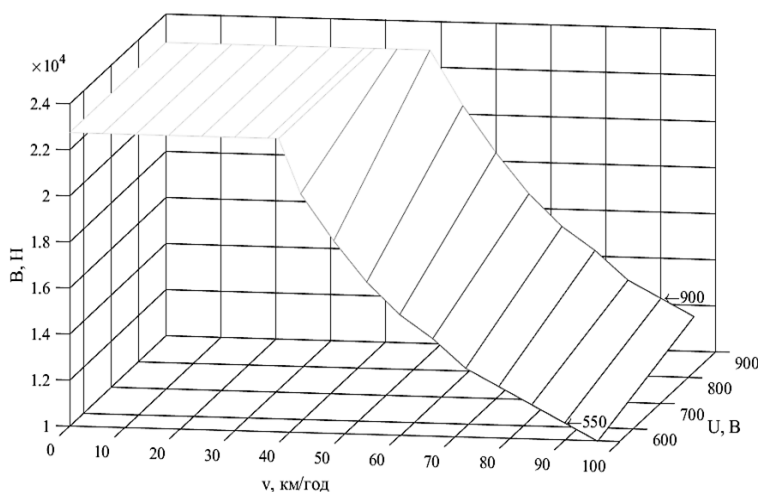


Рис. 4. Гальмівна характеристика вагона метрополітену модель 81-7036 з обмеженнями по швидкості та напрузі живлення приведена до однієї привідної осі

Важливим аспектом при проведенні моделювання такого типу систем є створення можливості здійснювати варіації основних показників експлуатаційної роботи у графіку руху поїздів, для максимального наближення умов до реальних. Тобто забезпечити можливість зміни часу стоянок, ходової швидкості для конкретної ділянки, пасажирообіг тощо, імітуючи ймовірнісний графік руху поїздів.

Доцільним є також забезпечення можливості формувати різноманітні профілі шляху, будь-то готовий виконавчий профіль чи умовний з різними категоріями складності, де присутніми має бути здатність зміни плану профілю: кількості міжстанційних ділянок, їх довжини, місця знаходження підйомів, спусків, кривих відповідно до сформованого профілю руху, їх значення та довжини.

Слід також відмітити, що вимоги до математичної моделі було чітко сформовано у відповідності визначеним задачам, а саме: можливості оцінки поліпшення показників якості та режимів споживання електричної енергії, зниження втрат за рахунок підвищення ефективності тягового обладнання, вплив суб'єктивних факторів на рівень енергоспоживання. При розробці математичної моделі, відповідно до поставлених задач по дослідженню тягово-енергетичних процесів в системі електричної тяги, приймалися такі допущення: електропоїзди представлені у вигляді матеріальних точок, тягове та гальмівне зусилля рівномірно розподіляється між усіма тяговими осями, споживання електроенергії додатковим електрообладнанням не враховується, втрати в елементах тягового електроприводу не враховуються, енергія від реалізації електричного гальмування розсіюється на гальмівних резисторах в повному об'ємі, питомі електричні опори контактних та ходових рейок рівні для всієї ділянки прямуювання, температура контактних рейок знаходиться на рівні 15 °C, додаткові опори від рейкових стиків не враховуються, тягові підстанції розглядаються як джерела електрорушійної сили з внутрішнім опором, не враховується наявність між колійних перемичок, розглядається умовний профіль руху з трьома міжстанційними ділянками рівної довжини (1700 м) з різними елементами профілю (площадка, ухил, підйом).

Оцінка коректності розробленої математичної моделі проводилася шляхом її симуляції на базі програмного продукту Matlab з використанням графічного середовища імітаційного моделювання Simulink. Як числовий алгоритм інтегрування застосовувався дискретний час з фіксованим періодом дискретизації рівним 0,001 с. За вихідні дані було прийнято параметри приведені в таблиці 1 та просторові графіки тягової та гальмівної характеристик вагона метрополітену моделі 81-7036 (рис. 3, 4) [1]. Імітаційне моделювання здійснювалось 630 с. під час якого проводилася симуляція роботи двох електропоїздів на умовному плані профілю при децентралізованому двосторонньому живленні контактної рейки кожного із шляхів від двох тягових підстанцій на трьох міжстанційних ділянках станцій *A*, *B*, *C* і *D* (рис. 5). Перегінний час ходу поїздів прийнятий 170 с. В процесі симуляції здійснюється варіація часу стоянки на станціях, шляхом додавання так званого часу затримки (t_{zamp}) до часу визначеного як нормативний час стоянки ($t_{cm}=30$ с.) (рис. 5) для моделювання руху поїздів з випадковими відхиленнями від графіка руху.

Це забезпечило можливість врахування виникнення різноманітного збігу обставин та непрогнозованої завантаженості конкретної станції.

На рис. 6 приведено осцилограми роботи вагона метрополітену моделі 81-7036 на одній з міжстанційних ділянок лінії з децентралізованим двостороннім живленням контактної рейки від двох тягових підстанцій. Верифікація результатів імітаційного моделювання (рис. 5) з пакетом даних отриманих в ході експлуатації реального об'єкта (рис. 1) демонструє подібність характеру протікання процесів.

Слід відмітити що на всьому діапазоні швидкостей руху електропоїзда забезпечується прискорення на рівні 1,1 м/с² та уповільнення 1,2 м/с², що відповідає паспортним показникам тягового рухомого складу (табл. 2) на базі тягових та гальмівних характеристик якого проводилось імітаційне моделювання.

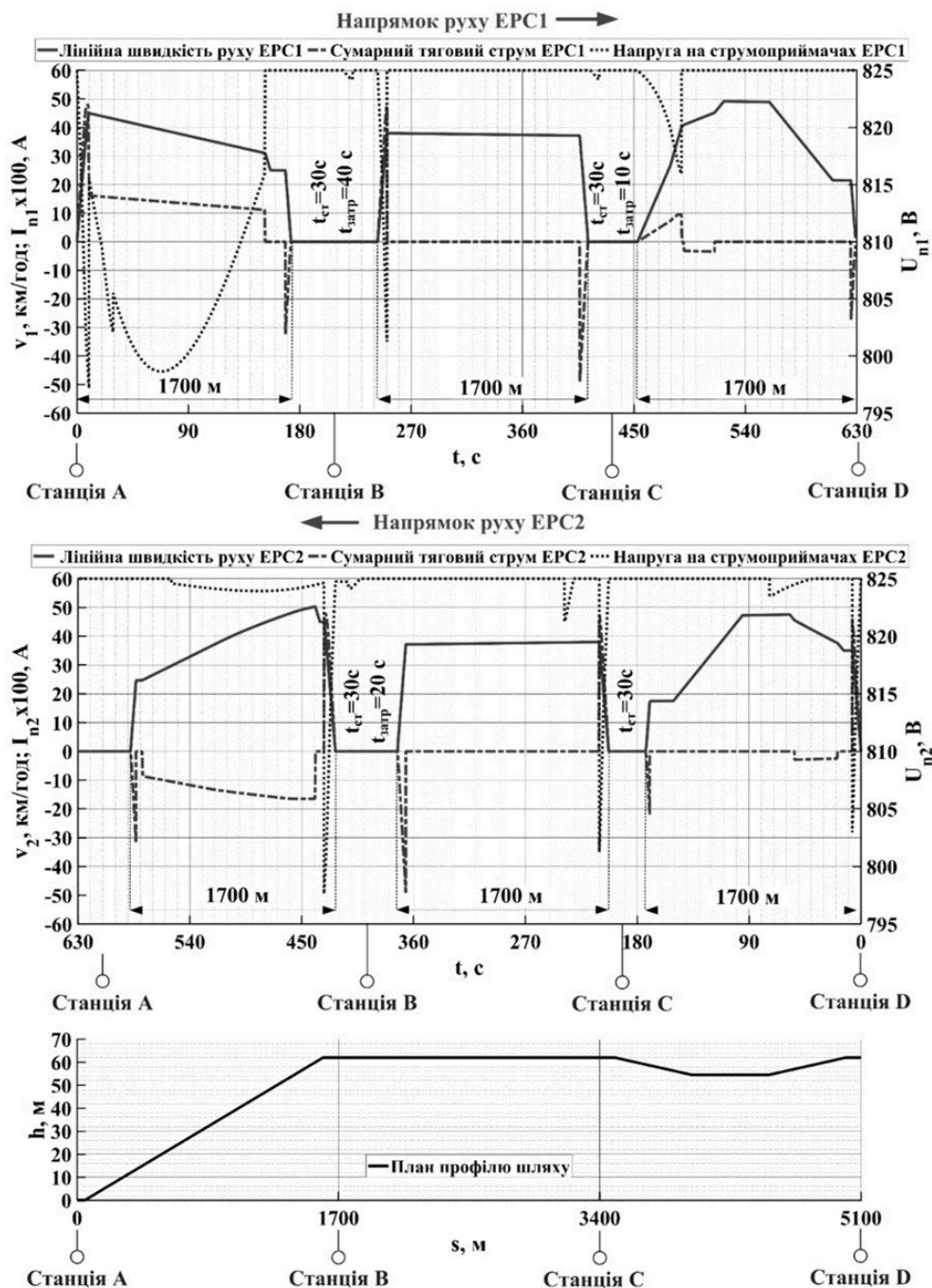


Рис. 5. Осцилограми роботи електропоїздів метрополітену на умовному плані профілю, отримані в ході імітаційного моделювання:

$EPC1$, $EPC2$ – електричний рухомий склад на 1-му та 2-му шляху відповідно; I_{n1} , I_{n2} – сумарний струм на вході тягових інверторів $EPC1$ та $EPC2$ відповідно; U_{n1} , U_{n2} – напруга на струмоприймачах $EPC1$ та $EPC2$ відповідно; v_1 , v_2 – лінійні швидкості руху $EPC1$ та $EPC2$ відповідно; t_{cm} – час стоянки на станції відповідно до графіку руху; $t_{затр}$ – час затримки на станції



Рис. 6. Осцилограми роботи електропоїзду на одній із ліній Харківського метрополітену

Таблиця 2. Базові параметри силової установки вагона метрополітену модель 81-7036

Параметр	Значення
Напруга живлення	750 В DC
Номінальна потужність	700 кВт
Максимальний момент на валу електродвигуна	1470 Нм
Прискорення транспортного засобу	1,12 м/с ²
Уповільнення транспортного засобу	1,2 м/с ²
Максимальна швидкість вагона при постійності моменту	32 км/год
Максимальна швидкість вагона при постійності потужності	100 км/год
Максимальна швидкість вагона	100 км/год

В ході симуляції імітаційної моделі не виявлено жодних аномальних значень тягового струму як під час режиму тяги, так і в процесі електродинамічного гальмування (рис. 5), його значення не перевищує номінальне значення вхідного струму тягового перетворювача (270 А), а функція зміни на етапі розгону поїзда, демонструє монотонність, що також перекликається з осцилограмами тягового струму об'єкта на базі якого проводилося імітаційне моделювання (рис. 6).

На рис. 5 приведено осцилограми напруги на струмоприймачах EPC1 та EPC2. Дані осцилограми демонструють, що характер коливань напруги на струмоприймачах визначений не лише величиною енергоспоживання кожного із тягових споживачів а й зміною параметрів елементів тягової мережі (R_{k11} , R_{k12} , R_{k21} , R_{k22} , R_{p11} , R_{p12} , R_{p21} , R_{p22}) відповідно до просторової орієнтації тягових споживачів на конкретному шляху прямування в межах міжстанційної ділянки та присутністю суб'єктивного фактора при здійсненні поїзної роботи. Особливо ця картина розкрита в межах міжстанційної ділянки станцій А і В при роботі EPC1, де характер зміни напруги, з присутністю різко змінних коливань, на струмоприймачах з 10 по 152 с. викликана накладенням зміни інтенсивності тягового енергоспоживання, перерозподілом часток енергії між тяговими підстанціями в результаті зміни електричних параметрів системи, відхилення від нормативного графіка руху та наявності перехресних зв'язків між тяговими рухомими одиницями (рис. 5). Що підтверджується отриманими результатами експериментальних досліджень під-час експлуатації реального об'єкта.

Достатньо детально модель відтворює перерозподіл потоків енергії між елементами тягової мережі (рис. 7, 8).

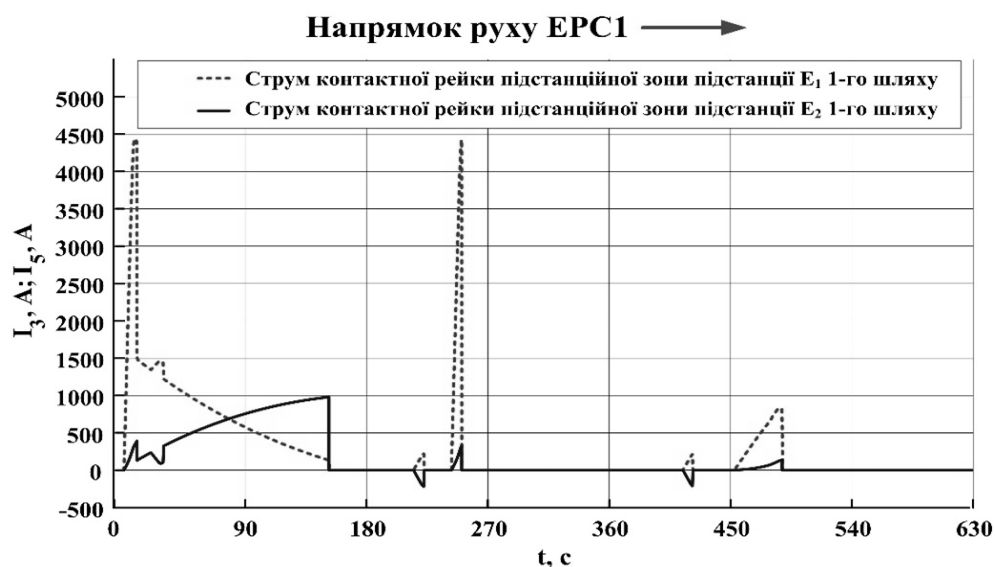


Рис. 7. Осцилограми протікання струмів в елементах тягової мережі метрополітену, отримані в ході імітаційного моделювання:

I_3 – струми контактних рейок підстанційної зони підстанції E_1 шляху 1; I_5 – струми контактних рейок підстанційної зони підстанції E_2 шляху 1

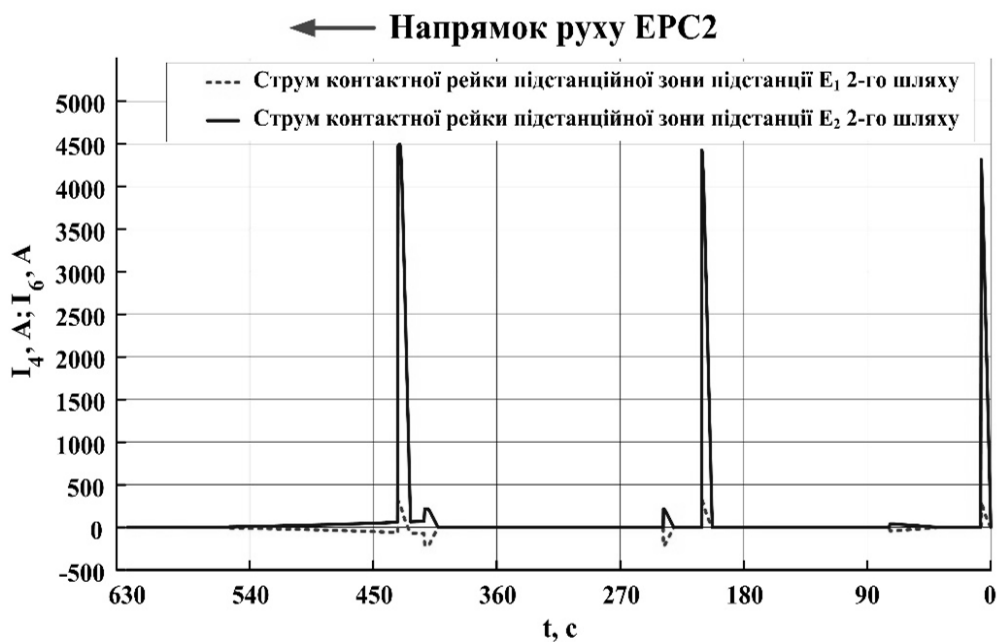


Рис. 8. Осцилограми протікання струмів в елементах тягової мережі метрополітену, отримані в ході імітаційного моделювання:

I_4 – струми контактних рейок підстанційної зони підстанції E_1 шляху 2; I_6 – струми контактних рейок підстанційної зони підстанції E_2 шляху 2

Особливо акцентує увагу наявність від'ємних значень струмів в контактних та ходових рейках. Дане явище ми можемо спостерігати і на вимірювальних комплексах засобів моніторингу та контролю енергоспоживання метрополітену в точках обліку тягової мережі. Це викликано встановленням струмового шунта на фідері живлення кожної підстанційної зони тягових підстанцій відповідного шляху.

Висновки. Таким чином отримані результати імітаційного моделювання демонструють, що запропонована концепція математичної моделі достатньо точно ілюструє особливості протікання енергообмінних процесів між об'єктами тягової мережі, відображаючи особливості фізичної топології мережі, вагомість необхідності врахування просторової орієнтації тягового рухомого складу та надає можливість оцінити вплив присутності суб'єктивного фактора на розподіл частот тягового енергоспоживання. Запропонований спосіб моделювання тягового рухомого складу шляхом знаходження проміжних значень за наявним дискретним набором точок тягових та гальмівних характеристик продемонстрував свою збалансованість в аспекті мінімального часу симуляції без використання поетапного моделювання на базі початкових значень змінних моделі та коректність роботи, що підкріплюється відповідністю отриманих результатів паспортним даним реального об'єкту та експериментальним даним його роботи. Запропонований підхід моделювання енергообмінних процесів може бути використаний в якості інструменту під час пошуку рішень з підвищення енергоефективності систем електричної тяги.

ЛІТЕРАТУРА

1. Yatsko S., Sytnik B., Vashchenko Y., Sidorenko A., Liubarskyi B., Veretennikov I., Glebova M. Comprehensive approach to modeling dynamic processes in the system of underground rail electric traction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1, № 9. P. 48–57. doi: 10.15587/1729-4061.2019.154520.
2. Yatsko S., Sidorenko A., Vashchenko Y., Lyubarskyi B., Yeritsyan B. Method to improve the efficiency of the traction rolling stock with onboard energy storage. *International journal of renewable energy research*. 2019. Vol. 9, № 2. P. 848–858.
3. Панченко С. В., Блиндюк В. С., Бабаєв М. М., Яцько С. І., Ващенко Я. В. Системи електропостачання електричного рухомого складу залізниць і метрополітенів. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 243 с.
4. Яцько С. І., Карпенко Н. П., Ващенко Я. В., Панченко В. В. Розвиток обладнання розподільних пристроїв тягового електропостачання. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2017. № 172. С. 37–48. doi: 10.18664/1994-7852.172.2017.116689
5. Сулим А. А. Исследование энергообменных процессов при эксплуатации подвижного состава метрополитена с системами рекуперации и накопителями энергии. *Інформаційні, телекомунікаційні та ресурсозберігаючі технології*. 2016. Вип. 28. С. 137–146.
6. Шевлюгин М. В. Энергосберегающие технологии на железнодорожном транспорте и метрополитенах, реализуемые с использованием накопителей энергии: автореф. дис. ... д-ра тех. наук: спец. 05.09.03. Москва, 2013. 339 с.
7. Sulym A. On the question of a reasonability of capacitive storages use in the metro. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2015. Вип. 1, № 29. С. 94–100.
8. Саблін О. І. Дослідження ефективності процесу рекуперації електроенергії в умовах метрополітену. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2014. Вип. 6, № 8. С. 9–13. doi: 10.15587/1729-4061.2014.30483.
9. Sytnik B., Bryksin V., Yatsko S., Vashchenko Y. Construction of an analytical method for limiting the complexity of neural-fuzzy models with guaranteed accuracy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2, № 4. P. 6–13. doi: 10.15587/1729-4061.2019.160719.
10. Могила В. С., Ананьева О. С., Загорцев В. А. Подольская В. Н. Имитационная модель совместной работы системы тягового электроснабжения и электрического подвижного состава. *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2017. Вып. 2, № 54. С. 191–196.
11. F. Du, J. H. He, L. Yu, M. X. Li, Z. Q. Bo, A. Klimek Modeling and Simulation of Metro DC Traction System with Different Motor Driven Trains. 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. Chengdu, 2010. P. 1–4. doi: 10.1109/APPEEC.2010.5448372.
12. M. X. Li, J. H. He, Z. Q. Bo, H. T. Yip, L. Yu, A. Klimek Simulation and algorithm development of protection scheme in DC traction system. 2009 IEEE Bucharest PowerTech. Bucharest, 2009. P. 1–6. doi: 10.1109/ptc.2009.5282111.
13. R. Mathew, F. Flinders, W. Oghana Locomotive "Total System" Simulation Using Simulink. International Conference on Electric Railways in a United Europe. Amsterdam, 1995. P. 202–206. doi: 10.1049/cp:19950207.

14. Brenna, M., Foiadelli, F., Leone, C., & Casiraghi, F. M. Modeling and Simulation of Railway Network in Compliance with Technical Specifications for Interoperability. 2019 AEIT International Annual Conference. Florence, 2019. P. 1-6. doi: 10.23919 / AEIT.2019.8893360.

15. Быков Е. И., Панин Б. В., Пупынин В. Н. Тяговые сети метрополитенов. Москва: Транспорт, 1987. 256 с.

REFERENCES

1. Yatsko S., Sytnik, B., Vashchenko Y., Sidorenko A., Liubarskyi B., Veretennikov I., Glebova M. (2019) Comprehensive approach to modeling dynamic processes in the system of underground rail electric traction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. vol. 1, no. 9, pp. 48–57. doi: 10.15587/1729-4061.2019.154520.
2. Yatsko S., Sidorenko A., Vashchenko Y., Lyubarskyi B., Yeritsyan B. (2019) Method to improve the efficiency of the traction rolling stock with onboard energy storage. *International journal of renewable energy research*., vol. 9, no. 2, pp. 848–858.
3. Sytnik B., Bryksin V., Yatsko S., Vashchenko Y. (2019) Construction of an analytical method for limiting the complexity of neural-fuzzy models with guaranteed accuracy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. vol. 2, no. 4, pp. 6–13. doi: 10.15587/1729-4061.2019.160719.
4. Yats'ko S. I., Karpenko N. P., Vashchenko Ya. V., Panchenko V. V. (2017) Rozvitok obladnannya rozpodil'nikh pristroiv tyagovogo elektropostachannya [Development of traction power switchgear equipment]. *Zbirnik naukovikh prats' UkrDUZT*. no. 172, pp. 37–48. doi: 10.18664/1994-7852.172.2017.116689.
5. Sulim A. A. (2016) Issledovanie energoobmennyykh protsessov pri ekspluatatsii podvizhnogo sostava metropolitena s sistemami rekuperatsii i nakopitelyami energii [Study of energy-exchange processes during the operation of the metro rolling stock with recovery systems and energy storage]. *Informatsiyi, telekomunikatsiyi ta resursozberigayuchi tekhnologii*. vol. 28, pp. 137–146.
6. Shevlyugin M. V. (2013) *Energoberegayushchie tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte i metropolitenakh, realizuemye s ispol'zovaniem nakopiteley energii: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk: spets. 05.09.03* [Energy-saving technologies in railway transport and subways, implemented using energy storage. Dr. eng. Sci. diss.]. Moskva. 339 p.
7. Sulym A. (2015) On the question of a reasonability of capacitive storages use in the metro. *Elektromekhanichni i energozberigayuchi sistemi*. vol. 1, no. 29, pp. 94–100.
8. Sablin O. I. (2014) Doslidzhennya efektyvnosti protsesu rekuperatsii elektroenerгии v umovakh metropolitenu [Investigation of the efficiency of the process of electricity recovery in underground conditions]. *Shidno-Yevropejskij zhurnal peredovih tekhnologij*. vol. 6, № 8, pp. 9–13. doi: 10.15587/1729-4061.2014.30483.
9. Sytnik B., Bryksin V., Yatsko S., Vashchenko Y. (2019) Construction of an analytical method for limiting the complexity of neural-fuzzy models with guaranteed accuracy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. vol. 2, no. 4, pp. 6–13. doi: 10.15587/1729-4061.2019.160719.
10. Mogila V. S., Anan'eva O. S., Zagortsev V. A. Podol'skaya V. N. (2017) Imitatsionnaya model' sovmestnoy raboty sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya i elektricheskogo podvizhnogo sostava [Simulation model of joint operation of traction power supply system and electric rolling stock]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie*. vol. 2, no. 54, pp. 191–196.
11. F. Du, J. H. He, L. Yu, M. X. Li, Z. Q. Bo, A. Klimek. (2010) Modeling and Simulation of Metro DC Traction System with Different Motor Driven Trains. *2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*. Chengdu, pp. 1–4. doi: 10.1109/APPEEC.2010.5448372.
12. M. X. Li, J. H. He, Z. Q. Bo, H. T. Yip, L. Yu, A. Klimek (2009) Simulation and algorithm development of protection scheme in DC traction system. *2009 IEEE Bucharest PowerTech*. Bucharest, pp. 1–6. doi: 10.1109/ptc.2009.5282111.
13. R. Mathew, F. Flinders, W. Oghana (1995) Locomotive "Total System" Simulation Using Simulink. *International Conference on Electric Railways in a United Europe*. Amsterdam, pp. 202–206. doi: 10.1049/cp:19950207.
14. Brenna, M., Foiadelli, F., Leone, C., & Casiraghi, F. M. (2019) Modeling and Simulation of Railway Network in Compliance with Technical Specifications for Interoperability. *2019 AEIT International Annual Conference*. Florence, , pp. 1-6. doi: 10.23919 / AEIT.2019.8893360.
15. Bykov E. I., Panin B. V., Pupynin V. N. (1987) Tyagovye seti metropolitenov [Subway traction networks]. Moskva, Transport, 256 p.

Сидоренко Анатолий Николаевич, аспирант

(аспирант кафедры «Электроэнергетика, электротехника та электромеханика» Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

В работе представлена математическая модель системы электрической тяги с учетом вариации параметров ее объектов в соответствии с перекрестными связями, пространственной ориентации подвижного состава и субъективных факторов. Предложен подход математического моделирования электрического тягового подвижного состава, как объекта формирования энергообменных процессов тяговой сети. Проведено верификацию результатов моделирования с данными эксплуатационной работы реального объекта и его паспортными данными.

Ключевые слова: математическая модель, тяговая сеть, пространственно-ориентированная схема, электропоезд, схема замещения.

Sidorenko Anatolii postgraduate student

(Postgraduate student department “Electric Power Engineering, Electrotechnics and Electromechanics” of the Ukrainian State University of Railway Transport)

MODELING OF TRACTION-ENERGY PROCESSES IN THE ELECTRIC TRACTION SYSTEM

The paper presents a mathematical model of a subway electric traction system, taking into account the variation of the parameters of the system objects according to their cross-connections, spatial orientation and subjective factors. The peculiarities of mathematical modeling of the subway traction network with decentralized bilateral power supply of the contact rail from two traction substations are outlined, its substitution scheme is shown. A mathematical model of the subway traction network with decentralized two-sided feed of the contact rail from two traction substations has been developed. An approach to mathematical modeling of electric traction rolling stock as an object of formation of energy exchange processes in an electric traction system is proposed. The mathematical model is based on the presentation of its traction and braking characteristics in the form of tabular functions using interpolation to find the intermediate values of traction and braking force, as a function of not only the linear speed of movement but also other values. To confirm the correctness of the proposed mathematical fashion for the study of traction and energy processes in the system of electric traction, its simulation was performed. The simulation model was developed and simulated using Matlab software using the Simulink simulation graphical environment. As a traction moving unit was considered a subway car model 81-7036, was formed a conditional profile of movement with characteristic elements for the subway, namely the profile of movement with three interstation sections of equal length (1700 m) with different elements (platform, slope, lift). The result was a comparative evaluation of the simulation results obtained with the data package obtained during the operation of the real object and the correspondence of the obtained results with the passport data of the real object and the experimental data of his work. Attention is drawn to the need to take into account the variation of the electrical parameters of the traction network during rolling stock rolling stock.

Keywords: mathematical model, traction network, space-oriented scheme, electric trains, substitution schem.

УДК 629.424.1

А.П. Фалендиш, д.т.н., професор

(професор, завідувач кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту Українського державного університету залізничного транспорту)

В.О. Гатченко, к.т.н., доцент

(доцент кафедри тягового рухомого складу залізниць Державного університету інфраструктури та технологій)

С.В. Возненко, к.т.н., доцент

(доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту)

О.В. Клецька

(асистент кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту Українського державного університету залізничного транспорту)

М.А. Барибін

(аспірант кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту Українського державного університету залізничного транспорту)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ У ТЯГОВИХ РОЗРАХУНКАХ

У статті розглянуті питання визначення раціональних підходів до проведення тягових розрахунків та застосування автоматизованої системи комп'ютерного моделювання. Встановлені основні значення та методика розрахунку для конкретних умов експлуатації, що дадуть змогу раціонально використовувати енергетичні ресурси.

Ключові слова: автоматична система, тягові розрахунки, мережеві технології, математичне моделювання, рухомий склад.

Вступ. Реформування залізничного транспорту безпосередньо пов'язано з розробкою та реалізацією комплексу заходів направлених на підвищення провізної здатності та зменшенні витрат паливно-енергетичних ресурсів на тягу поїздів. Математичне моделювання проходження поїзда по заданій дільниці обслуговування дозволяє знайти приховані резерви в пропускній здатності залізниці, ефективному використанні потужності локомотива та раціональних витратах ресурсів. Накопичений досвід минулих поколінь в питанні тяги та визначення основних параметрів руху потребує переосмислення, адже застарілі методики не дозволяють повною мірою оцінити зовнішні та внутрішні фактори в процесі руху. Що в свою чергу не дозволяє виробити правильні рекомендації для локомотивних бригад та диспетчерського апарату.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Одним з основних напрямів підвищення точності отримання результатів, зменшення витрат часу на обчислення є ряд засобів, пов'язаних з моделюванням. Багато фахівців присвятили свої роботи питанню визначення раціональної математичної моделі тягових розрахунків та їх відповідності експлуатаційним показникам. Дослідження Міхеєва В.А. [1] визначили основні підходи до встановлення оптимальної структури

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-11

моделювання процесів на основі статистичних даних та аналізу знаходження основних параметрів руху поїзда. При цьому вплив профілю колії повною мірою не враховувався. Серед останніх праць слід відмітити роботи Осипова С.І. [2], в яких сформульовані основні напрями та методики тягових розрахунків і математичного прогнозування. Юань додає до свого методу нелінійний модельний прогнозний контроль [4]. Сонг розробляє відмовостійку стратегію адаптивного управління з віртуальним підходом [7]. Гао використовує самоструктуру нейронних мереж у відмовостійкому управлінні для високошвидкісних поїздів [14]. Але важливим недоліком [4, 7, 14] є вузька направленість створених моделей для конкретних умов експлуатації та невідповідності типів рухомого складу (РС) наявному парку залізниць пострадянського простору.

Одним з основних напрямів підвищення надійності результатів є моделювання на основі ліанеризованих рівнянь наближення віртуальної копії до кривих реального об'єкта [3-15]. Останніми спеціалізованими програмними комплексами на ринку тягових розрахунків є «ІСКРА-ПТР», «ЕРА», «ВЕКТРУМ» та «MoveRW». В них проведено аналіз методів оптимізації динамічних систем, розрахункових схем і математичних моделей теорії тяги і динаміки поїзда, а також можливості математично обґрунтовані, але основними їх недоліками є висока вартість та технічні вимоги до електронно-обчислювальної техніки, а також слабка точність впливу колії на рухомий склад. У процесі експлуатації постійно відбувається зміна параметрів, що характеризують якість функціонування рухомого складу. Зниження експлуатаційних характеристик пов'язане з погіршенням технічного стану окремих елементів обладнання. Це пов'язано з посиленням процесів зношування деталей механічного устаткування та старіння ізоляції електричних машин, що призводить до зниження ресурсу складальних одиниць і деталей і, як наслідок, підвищення сил опору, зниження гальмівних та тягових зусиль, що призводить до збільшення витрат на тягу поїздів. Проте виробники зазначених програмних комплексів не випускають оновлення свого програмного продукту, які б враховували постійно мінливі умови експлуатації.

Таким чином, в розглянутих роботах проведено суттєве дослідження щодо визначення оптимальної математичної моделі за окремими критеріями. Але на жаль, в даних роботах не розглядаються автоматизовані системи тягових розрахунків з урахуванням особливостей впливу профілю колії на поїзд в будь-якій точці шляху. Для оцінки впливу кожного фактора необхідно проведення активного багатфакторного експерименту.

Мета і задачі дослідження. Запропонувати вирази для більш точного розрахунку, створити математичну модель визначення основних тягових параметрів: часу, швидкості, нагріву обмоток тягових електродвигунів та витрати палива з метою раціоналізації та підвищення точності. Втілити її у формі програмного продукту на мові програмування «Visual C#» та зменшити час на виконання розрахунків службою локомотивного господарства. Запропонувати можливість встановлення її на локомотиви, мінімізуючи фактор «молодого машиніста» з метою визначення раціональних режимів ведення поїзда та зниження ресурсів на тягу. Графічно побудувати криві часу, швидкості, струму та температури залежно від шляху на плечі обслуговування з метою практичної апробації.

Матеріали та методи дослідження. Головною ідеєю методу математичного моделювання процесів, які протікають в РС, є співставлення реального об'єкта з створеною віртуальною копією поїзда. При цьому модель повинна найбільш повно описувати існуючий виріб таким чином, щоб при зміні впливу різних чинників на діагностичний об'єкт супроводжувана реакція повністю відповідала обраній віртуальній копії. При виконанні тягових розрахунків пропонується використовувати існуючі норми проектування залізниць, а саме: вважати що додатковий опір руху, при переході з одного елемента профіля на інший, змінюється не миттєво, а по деякій скругленій траєкторії [11]. Основний принцип виконання таких змін додаткового опору наведений на рис. 1.

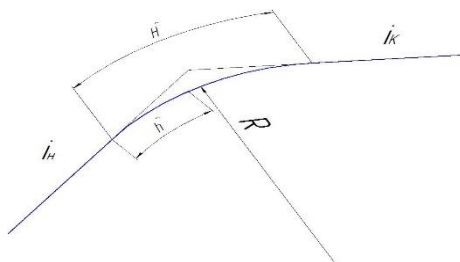


Рис. 1. Скруглення переходу між сусідніми схилами повздовжнього профілю

Розрахунок величини еквівалентного схилу на кривій радіуса R , при знаходженні візка на відстані h скруглення довжиною H пропонується розраховувати за виразом:

$$w_i = i_H + (i_K - i_H) \cdot \frac{h}{H}, \quad (1)$$

де i_H – величина схилу початкового елемента, ‰;
 i_K – величина схилу кінцевого елемента, ‰;
 h – відстань на якій знаходиться колісна пара чи візок, м;
 H – довжина дуги скруглення, м.

Оскільки РС при знаходженні на схилі, через фізику процесу, має нерівномірність навантаження візків пропонується враховувати цю величину на кожен окремий візок залежно від його завантаження. Пропонується таке математичне вираження величини еквівалентного схилу окремо взятого візка. Концептуальна ідея такого методу подана на рис. 2. Загальний вид рівняння першого візка при додатній величині схилу, чи другого візка при від'ємному значенні визначається за виразом:

$$w_{iz} = m_i \cdot w_i \cdot \cos \frac{|w_i|}{1000}, \quad (2)$$

де m_i – маса, що приходить на візок, т;
 w_i – величина еквівалентного схилу елемента, ‰.

Тоді загальний вид рівняння другого візка при додатній величині схилу, чи першого візка при від'ємному значенні пропонується розраховувати за виразом:

$$w_{iz} = m_i \cdot w_i \cdot (2 - \cos \frac{|w_i|}{1000}), \quad (3)$$

де m_i – маса, що приходить на візок, т;
 w_i – величина еквівалентного схилу елемента, ‰.

Слід врахувати також і те, що поїзд має певну довжину і може знаходитися одночасно на декількох елементах профілю, графічний вид якого наведено на рис. 3.

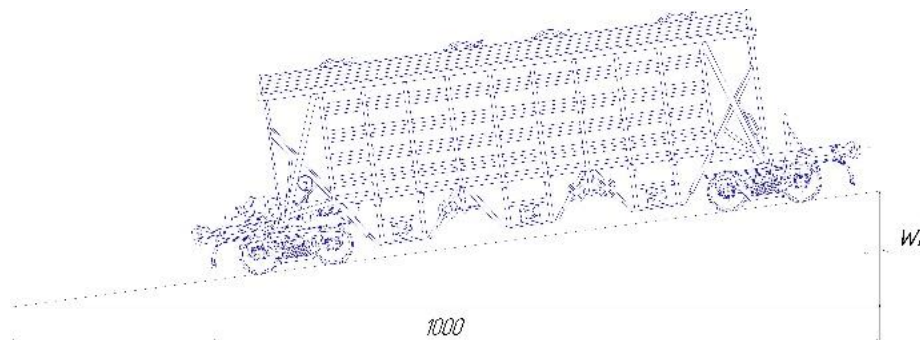


Рис. 2. Розташування вагона на еквівалентному схилі та його вплив на завантаження візків

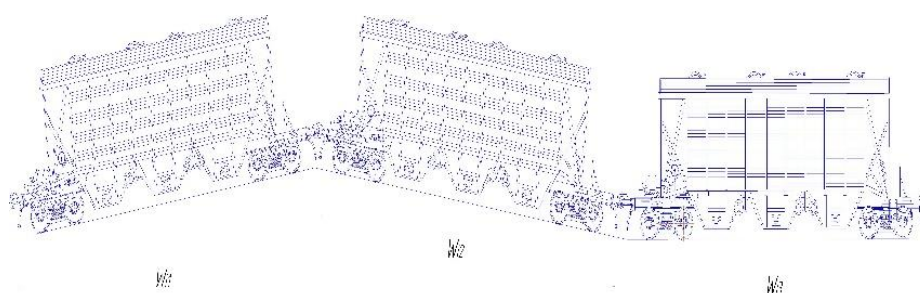


Рис. 3. Графічне зображення реального поїзда на повздовжньому перерізі профілю

Обчислення загального додаткового опору поїзда від профілю шляху пропонується визначати за допомогою виразу:

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n w_{iz_i}}{m_c + m_l}, \quad (4)$$

де m_c – маса складу, т;
 m_l – маса локомотива, т;
 n – кількість візків в поїзді, од.

Основною метою тягових розрахунків є знаходження швидкості в будь-якій точці шляху та часу, необхідному на проходження заданого профілю колії. Для вирішення рівняння руху поїзда будемо вважати незмінною прискорюючу силу в будь-якому інтервалі швидкості. З метою ліанеризації математичної моделі проміжок часу необхідно приймати якнайменшим. Тоді запропоноване припущення має вид рівноприскореного руху, для якого справедливий вираз:

$$V_2 = V_1 + a \cdot \Delta t, \quad (5)$$

де V_2, V_1 – відповідно швидкість кінцева та початкова, км/год;
 a – прискорення руху, км/год²;
 Δt – проміжок часу протягом якого спостерігається зміна швидкості ($\Delta t \rightarrow 0 \cup \Delta t \neq 0$), год.

Згідно 2 [2] прискорення руху має вираз:

$$a = \xi \cdot (f_K - w - b_T) , \quad (6)$$

де ξ – коефіцієнт питомого прискорення, $\xi = 120 \frac{\kappa\text{м}/\text{год}^2}{H / \kappa H}$;

f_K – питома сила тяги, Н/кН;

w – питомі сили опору руху, Н/кН;

b_T – питомі гальмівні сили, Н/кН.

Тоді вираз (5) буде мати вид:

$$V_2 = V_1 + \Delta t \cdot \xi \cdot (f_K - w - b_T) , \quad (7)$$

Шлях, який поїзд пройде за час Δt в інтервалі швидкостей (V_2, V_1) , буде розраховуватись за виразом:

$$\Delta S = \Delta t \cdot \frac{V_2 + V_1}{2} , \quad (8)$$

Підставивши (7) в (8) отримаємо вираз виду:

$$\Delta S = \Delta t \cdot (V_1 + \frac{\Delta t \cdot \xi \cdot (f_K - w - b_T)}{2}) , \quad (9)$$

Розрахунок параметрів таких як: основний опір рухомого складу, гальмівні сили, визначення температури нагріву та витрати палива на розрахунковій дільниці буде проводитись згідно з [2-3, 10-11]. Вичерпна інформація про локомотив та вагони (розрахункову масу та швидкість, конструкційну швидкість, характеристики сил основного та додаткового опору руху в режимі тяги та вибігу, розрахунковий коефіцієнт зчеплення, тягові характеристики по позиціях контролера машиніста для діапазону швидкостей, норми допустимого перевищення температури обмоток тягових електродвигунів, характеристики витрати палива на холостому ходу та залежно від позицій, струмові та теплові характеристики генератора та тягових електродвигунів, характеристики основного питомого опору руху для різних типів вагонів по стиковій та безстиковій колії, питомий опір при рушанні з місця, характеристики розрахункового коефіцієнта тертя різних типів колодок об колесо, нормативи регулювального гальмування, норми часу підготовки гальм до дії, порядок проведення опробування гальм на ефективність, вплив аеродинаміки та температури навколишнього середовища на опір руху) взята з [10].

Реалізація математичної моделі втілена на мові програмування «Visual C#». Спрощений алгоритм тягових розрахунків наведений на рис. 4.

Для розрахунку прийняте реальне плече обслуговування Харків-Сортувальний – Белгород Південної залізниці (Локомотивне депо ТЧ-10 Харків-Сортувальний). В складі локомотива ЧМЕ3-1238 та 20 вагонів (5 завантажених напіввагонів з підшипниками кочення, вага брутто 93 тонни; 15 порожніх зерновозів з підшипниками кочення, вага брутто 22 тонни) з відправленням по станції «Харків-Сортувальний» і прибуттям на кінцеву станцію «Казаха Лопань» та раціональним режимом ведення поїзда, що наведено в діалоговому вікні зображеному на рис. 5.

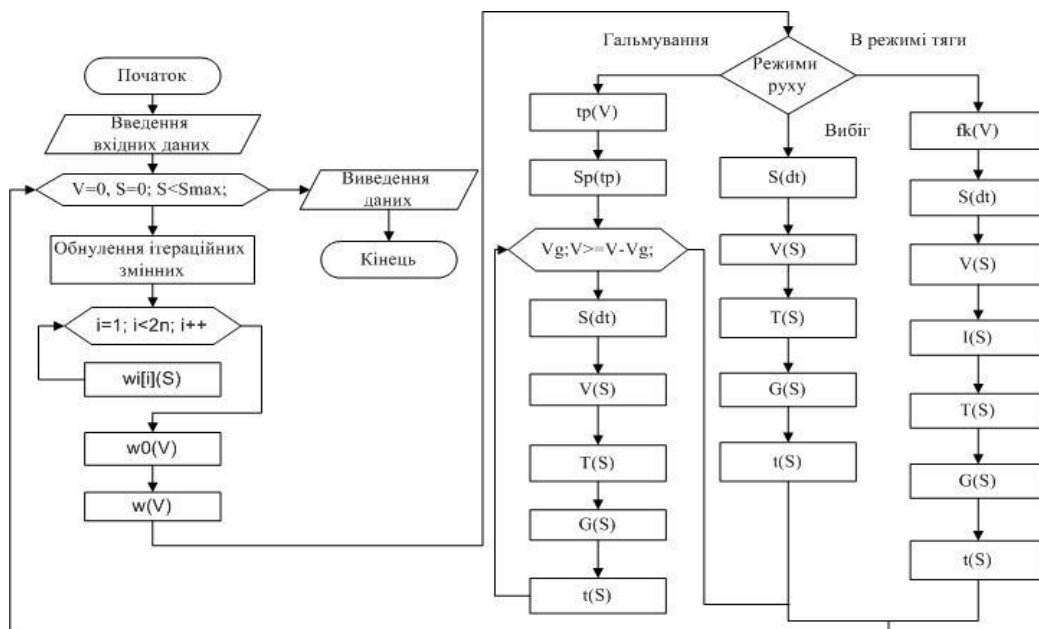


Рис. 4. Спрощений алгоритм тягових розрахунків

Номер РС	Тип РС	Вага РС
1	ЧМЕЗ	123
2	4-х вісний напіввагон на підшипниках кочення	93
3	4-х вісний напіввагон на підшипниках кочення	93
4	4-х вісний напіввагон на підшипниках кочення	93
5	4-х вісний напіввагон на підшипниках кочення	93
6	4-х вісний напіввагон на підшипниках кочення	93
7	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22
8	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22
9	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22
10	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22
11	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22
12	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22
13	4-х вісний зерновоз на підшипниках кочення	22

Рис. 5. Інтерактивне контекстне меню введення необхідних даних для тягових розрахунків

Під час проведення випробування моделі була встановлена температура оточуючого середовища в 15 °С, а температура тягових електродвигунів – 20 °С. З метою зменшення часу на проведення тягових розрахунків, освідомлення локомотивної бригади, обговорення отриманої інформації та вкладки в час на відправлення поїзда була встановлено дослідним шляхом величина інтерполяції часу в 5 с. Розрахунок тягових параметрів в табличній формі наведений на рис. 6.

Вирішення рівняння руху поїзда

Температура навколишнього середовища, град. 15 Інтервал інтерполяції (dt), с 5

Температура ТЕД, град. 20

	Шлях, м	Час, хв	Швидкість км/год	Режим ведення	Витрата палива, кг	Температура ТЕД, град.	Сила струму ТЕД, А
▶	0.322322406543...	0.024	1.611612032743...	Тяга	0.03432	20.07283916083...	866.666666666...
	1.243658815666...	0.048	2.995070012846...	Тяга	0.03432	20.13594385587...	780.71402492037
	2.755740375599...	0.072	4.565337786818...	Тяга	0.042212456891...	20.206009731835	842.8584784159...
	4.918917711737...	0.096	6.250548893870...	Тяга	0.051151362137...	20.27982398210...	876.6459936100...
	7.703136016623...	0.12	7.670542630561...	Тяга	0.051960263469...	20.34364831674...	790.6942896230...
	11.06242338714...	0.144	9.125894222043...	Тяга	0.070760664450...	20.41163089823...	826.5227022934...
	14.95957285280...	0.168	10.35985310625...	Тяга	0.071010153295...	20.47383392432...	772.4667860383...
	19.38911648752...	0.192	11.7878506732...	Тяга	0.08832	20.53973894004...	810.7396987288...
	24.35564988742...	0.216	13.04480193220...	Тяга	0.08832	20.59976481771...	748.9248358381...
	29.79485261157...	0.24	14.15121168851...	Тяга	0.08832	20.65458211310...	694.5623164320...
	35.65011577595...	0.264	15.12510413341...	Тяга	0.08832	20.70584614741...	646.7100944719...
	41.87333192184...	0.288	15.990976596023	Тяга	0.08832	20.75394420071...	607.0809035535...
	48.434108938126	0.312	16.81290848537...	Тяга	0.08832	20.80069798675...	586.8772127594...
	55.31531477502...	0.336	17.59312069912...	Тяга	0.08832	20.84633333901...	567.6988020078...
	62.50067552791...	0.36	18.33368306529...	Тяга	0.088320000000...	20.89318934747...	589.8461533090...
	69.97535302584...	0.384	19.03970442436...	Тяга	0.088319999999...	20.952950110178	748.3245900342...
	77.72663741645...	0.408	19.716717528706	Тяга	0.088320000000...	21.01100839188...	730.6740560575...
	85.74316256015...	0.432	20.36590818979...	Тяга	0.088320000000...	21.06736072368...	713.7487284490...
	94.01509711040...	0.456	20.99377756143...	Тяга	0.08832	21.12229307705...	700.2632733452...

Загальний час, хв 47.08 Витрата палива, кг 98.09 Максимальна температура ТЕД, град. 43.08

Рис. 6. Вікно відображення тягових розрахунків

Графічне відображення проведених розрахунків кривих часу, швидкості, температури та струму тягових електродвигунів наведено на рис. 7 та 8 відповідно.

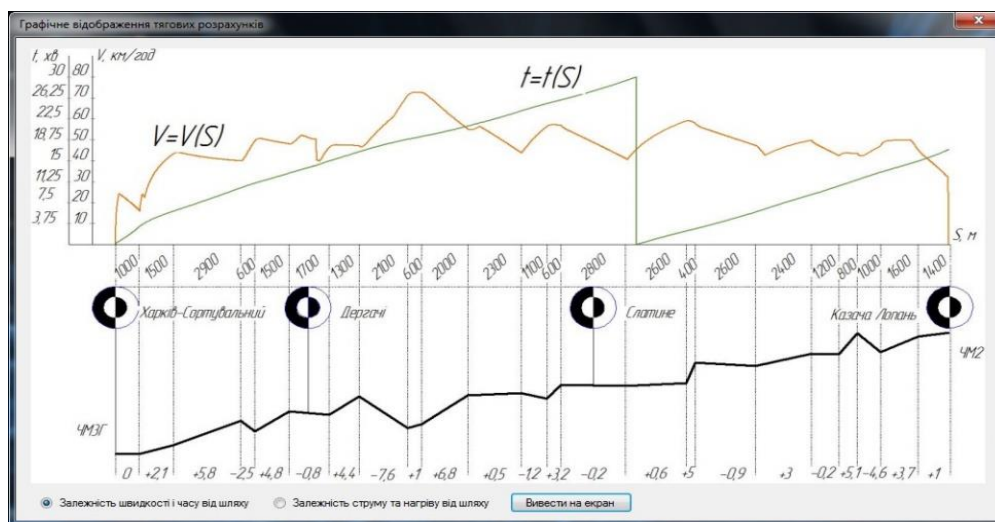


Рис. 7. Графічне відображення кривих часу та швидкості з тягових розрахунків

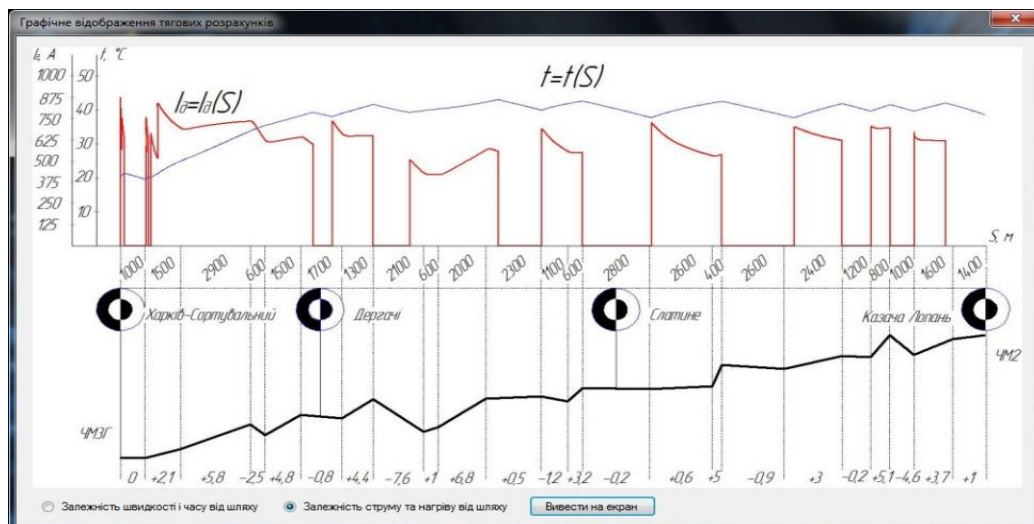


Рис. 8. Графічне відображення кривих струму та температури тягових електродвигунів з тягових розрахунків

На рис. 9 наведено дані з тягових розрахунків конвертовані в формат «.excel» для їх можливої подальшої обробки та детального ознайомлення з метою аналізу і пропонування методів підвищення точності математичної моделі.

№	А	В	С	Д	Е	Г	Н	І	К	М	О
2051	35921,85	46,98848	22,20694	Тормож.	0,00065	38,69584	0				
2052	35923,41	46,9928	21,20694	Тормож.	0,000647	38,69008	0				
2053	35924,9	46,99709	20,20694	Тормож.	0,000645	38,68435	0				
2054	35926,3	47,00137	19,20694	Тормож.	0,000642	38,67864	0				
2055	35927,63	47,00563	18,20694	Тормож.	0,000639	38,67296	0				
2056	35928,88	47,00987	17,20694	Тормож.	0,000636	38,66731	0				
2057	35930,06	47,01409	16,20694	Тормож.	0,000633	38,66168	0				
2058	35931,16	47,01829	15,20694	Тормож.	0,00063	38,65608	0				
2059	35932,18	47,02247	14,20694	Тормож.	0,000627	38,65051	0				
2060	35933,13	47,02663	13,20694	Тормож.	0,000624	38,64496	0				
2061	35934,01	47,03077	12,20694	Тормож.	0,000621	38,63945	0				
2062	35934,81	47,03489	11,20694	Тормож.	0,000618	38,63396	0				
2063	35935,54	47,03899	10,20694	Тормож.	0,000614	38,6285	0				
2064	35936,2	47,04306	9,206945	Тормож.	0,000611	38,62308	0				
2065	35936,79	47,04711	8,206945	Тормож.	0,000608	38,61768	0				
2066	35937,31	47,05114	7,206945	Тормож.	0,000605	38,61231	0				
2067	35937,76	47,05515	6,206945	Тормож.	0,000601	38,60697	0				
2068	35938,13	47,05914	5,206945	Тормож.	0,000598	38,60167	0				
2069	35938,45	47,0631	4,206945	Тормож.	0,000594	38,59639	0				
2070	35938,69	47,06704	3,206945	Тормож.	0,000591	38,59115	0				
2071	35938,87	47,07095	2,206945	Тормож.	0,000587	38,58594	0				
2072	35938,98	47,07484	1,206945	Тормож.	0,000584	38,58077	0				
2073	35939,02	47,07871	0,206945	Тормож.	0,00058	38,57562	0				
2074	35939	47,08255	0	Тормож.	0,000576	38,57052	0				

Рис. 9. Вікно конвертування тягових розрахунків в формат «.excel»

Використання запропонованих методів математичного моделювання та аналого-цифрових пристроїв реєстрації основних параметрів руху дозволить підвищити точність, зменшити час та витрату паливно-енергетичних ресурсів на тягу поїздів. Проте це потребує діагностичного обладнання та масової практичної апробації на виробництві.

Висновки. В результаті аналізу проведеної роботи визначено виконання поставленої мети дослідження та в ході розрахунку було встановлено необхідність виведення даних у форматі «*.excel», що було реалізовано. Сформована необхідність застосування засобів комп'ютерного

моделювання. Розроблена математична модель розрахунку основних тягових параметрів (швидкості, часу, витрати енергоресурсів, нагрівання обмоток тягових електродвигунів), реалізація якої втілена на мові програмування «Visual C#». Запропоновані вирази для більш точного тягового розрахунку. Зроблені обчислення заданого плеча обслуговування та графічно побудовані криві часу, швидкості, струму та температури в залежності від шляху. В подальшому доцільно впровадити математичну модель та програмний продукт в локомотивне господарство з метою встановлення раціональних режимів ведення поїзда, зниження ресурсів на тягу та масової практичної апробації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Михеев В.А. Оценка эксплуатационной экономичности дизельных локомотивов на заданом участке обслуживания // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2015., №1 (41). С.91-96.
2. Осипов С.И., Осипов С.С. Основы тяги поездов. Учебник для студентов техникумов и колледжей жеззнодорожного транспорта Москва: УМК МПС России, 2010. 592 с.
3. Водяников Ю.Я., Свистун С.М. Макеева Е.Г. Методология пересчета тормозной эффективности одиночного вагона на тормозную эффективность поезда // *Залізничний транспорт*, 2014. № 2 С. 27-37.
4. Yuan L., Zhao H., Chen H., Ren B. Nonlinear MPC-based slip control for electric vehicles with vehicle safety constraints // *Mechatronics*. Volume 38, December 2016, pp. 1-15.
5. Фалендиш А.П., Сумцов А.Л., Артеменко О.В. Програмный комплекс выбора системы технической эксплуатации маневрового тепловоза // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2016., №1. С.54-61.
6. Черемисин В.Т. Роль информационных технологий в обеспечении надежности локомотива. // *Локомотив*. 2017, № 9 с. 2-4.
7. Song H., Schnieder E. Evaluating Fault Tree by means of Colored Petri nets to analyze the railway system dependability // *Safety Science* Volume 110, December 2018, pp 313-323.
8. Navas M.A., Sancho C., Carpio J. Reliability analysis in railway repairable systems // *International Journal of Quality and Reliability Management*. 2017, №34 (8). pp 1373-1398.
9. Михеев В.А., Сопишук А.Н. Оценка тяговой характеристики тепловозов по результатам стационарных испытаний // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2016., №2(2). С.46-48.
10. Приказ №867р. Правила тяговых расчетов для поездной работы. Утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 г. М.: - 510 с.
11. ДБН В.2.3-19-2008. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування. - Введ. 26.01.2008. Київ.: МінРегіонБуд України, 2008. 12 с.
12. Наказ №204-Ц. Положення про інспекцію з контролю ефективності використання енергоресурсів Укрзалізничі. Введ. 2014-05-16. Київ., 2014. 10 с.
13. Safna F., SunnyR. Artificial Neural Network Based Data Mining // *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. Volume 5(4), June 2015, pp 240-245.
14. Gao R.Z., Wang Y.J., Lai J.F., Gao H. Neuro-adaptive faulttolerant control of high speed trains under traction-braking failures using self-structuring neural networks // *Information Sciences*. Volume 367, May 2016, pp. 449-462.
15. Uyulan C., Gokasan M., Bogosyan S. Readhesion control strategy based on the optimal slip velocity seeking method // *Journal of Modern Transportation* Volume 26(1), April 2018, , pp. 36-48.

REFERENCES

1. Mikhayev V.A. (2015). *Otsenka ekspluatatsionnoy ekonomichnosti dizel'nykh lokomotivov na zadanom uchastke obsluzhivaniya* [Estimation of the diesel locomotives operational efficiency at the given service area.]. *Vesnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii - Vestnik of the Siberian State Automobile and Road Academy*. №1(41), 91-96 [in Russian].
2. Osipov S.I., & Osipov S.S. (2010) *Osnovy tyagi poyezdov* [Principles of traction]. Moscow: UMC MPS of Russia [in Russian]
3. Vodiannikov Yu.Ya.; Svistun S.M., & Makeeva E.G. (2014) *Metodologiya perescheta tormoznoy yefektivnosti odinochnogo vagona na tormoznyuyu effektivnost' poyezda* [Methodology of the single car braking efficiency recalculation for the train braking efficiency] *Zaliznichniy transport – Railway transport*. 2, 27-37 [in Ukraine].
4. Yuan L., Zhao H., Chen H., Ren B. (2016). *Nonlinear MPC-based slip control for electric vehicles with vehicle safety constraints*. *Mechatronics*. Volume 38, 1-15 [in China].
5. Falendish A.P., Sumtsov A.L., & Artemenko O.V. (2016). *Prohramnyy kompleks vyboru systemy tekhnichnoyi ekspluatatsiyi manevrovoho teplovozu* [Program complex for the system and technical operation of a shunting diesel locomotive]. *Informatsiyno-keruyuchi systemy na zaliznychnomu transporti - Information system-test system on a railway transport*, 1, 54-61 [in Ukraine].
6. Cheremisin V.T. (2017). *Rol informatsionnykh tehnologiy v obespechenii nadezhnosti lokomotiva* [The role of information technology in ensuring the reliability of the locomotive]. *Locomotiv - Locomotive*, 9, 2-4 [in Russian].

7. Songs H., Schnieder E. (2018). *Evaluating the Fence Tree to analyze the railway system dependability*. Safety Science Volume 110, 313-323 [in United Kingdom].
8. Navas M.A., Sancho C., Carpio J. (2017). *Reliability analysis in railway repairable systems*. International Journal of Quality and Reliability Management, 34, 8, 1373-1398 [in United Kingdom].
9. Mikheev V.A., & Sopizhuk A.N. (2016) *Otsenka tyagovoy kharakteristiki teplovozov po rezul'tatam statsionarnykh ispytaniy* // [Estimation of the locomotive traction characteristic by the stationary tests results]. Aktual'nyy problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk - Actual problem of the humanities and natural sciences, 2(2), 46-48 [in Russia].
10. *Pravila tyagovykh raschetov dlya poyezdnoy raboty*. [Rules for traction calculations for train work]. (2016). Order 867 from 12.05.2016. Moscow: JSC Russian Railways [in Russia].
11. *Sporudy transportu. Zaliznytsi koliyi 1520 mm. Normy proektuvannya* [Transport facilities. Track gauge 1520 mm. Design rules]. (2008). DBN B.2.3-19-2008 from 26.01.2008. Kyiv: MinRegionBud [in Ukraine].
12. *Polozhennya pro inspektsiyu z kontrolyu efektyvnosti vykorystannya enerhoresursiv Ukrzaliznytsi* [Regulations on inspection of energy efficiency control of Ukrzaliznytsia]. (2014). Order 204-C from 16.05.2014 Kiev: Joint-Stock Company Ukrzaliznytsia [in Ukraine].
13. Safna F., SunnyR. (2015) *Artificial Neural Network Based Data Mining*. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. Volume №5(4), 240-245 [in United Kingdom].
14. Gao R.Z., Wang Y.J., Lai J.F., Gao H. (2016) *Neuro-adaptive faulttolerant control of high speed trains under traction-braking failures using self-structuring neural networks*. Information Sciences. Volume 367, 449-462 [in China].
15. Uyulan C., Gokasan M., Bogosyan S. (2018) *Readhesion control strategy based on the optimal slip velocity seeking method*. Journal of Modern Transportation. Volume 26(1), 36-48 [in United Kingdom].

А.П. Фалендыш, д.т.н., профессор

(профессор, заведующий кафедры теплотехники, тепловых двигателей и энергетического менеджмента Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)

В.А. Гатченко, к.т.н., доцент

(доцент кафедры тягового подвижного состава железных дорог Государственного университета инфраструктуры и технологий)

С.В. Возненко, к.т.н., доцент

(доцент кафедры пути и путевого хозяйства Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)

О.В. Клецка

(ассистент кафедры теплотехники, тепловых двигателей и энергетического менеджмента Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)

М.А. Барыбин

(аспирант кафедры теплотехники, тепловых двигателей и энергетического менеджмента Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ В ТЯГОВЫХ РАСЧЁТАХ

В статье рассмотрены вопросы определения рациональных подходов к проведению тяговых расчетов и применения автоматизированной системы компьютерного моделирования. Установлены основные значения и методика расчета для конкретных условий эксплуатации, которые позволят рационально использовать энергетические ресурсы.

Ключевые слова: автоматическая система, тяговые расчеты, сетевые технологии, математическое моделирование, локомотив.

A. Falendish, Ph.D., Professor

(Professor, Head of the Department of Thermal Engineering, Heat Engines and Energy Management of the Ukrainian State University of Railway Transport)

V. Hatchenko, Ph.D., Associate Professor

(Associate Professor, Department of Traction Rolling Stock Railways of the State University of Infrastructure and Technologies)

S. Voznenko, Ph.D., Associate Professor

(Associate Professor, Department of Track and Track Management of Ukrainian State University of Railway Transport)

O. Kletska

(Assistant Professor, Department of Thermal Engineering, Heat Engines and Energy Management, Ukrainian State University of Railway Transport)

M. Barybin

(Postgraduate student of the Department of Thermal Engineering, Heat Engines and Energy Management of the Ukrainian State University of Railway Transport)

MATHEMATICAL MODELING OF THE BASIC PARAMETERS IN THE PULLING CALCULATIONS

The article deals with the definition of rational approaches to carrying out traction calculations and the use of automated computer simulation. The basic values and calculation method for specific operating conditions have been established, which will allow to use economic resources rationally. The necessity of introducing analogue-digital devices under difficult economic conditions is proved. The mathematical model of traction calculations is offered. The necessity of using computer simulation tools is formed. Based on the proposed methods, you will be able to accurately determine train movement parameters, as well as improve accuracy and reduce time. Methods of mathematical modeling of the basic parameters of motion are offered that will allow to improve accuracy, reduce time and consumption of fuel and energy resources for train traction. The calculation part of the automated system is based on the developed methodology for determining the rational parameters of motion for specific operating conditions.

Keywords: automatic system, traction calculations, network technologies, mathematical modeling, locomotive.

УДК 004.65, 004.02, 004.9

Ольга Ткаченко, к.ф.-м.н.,
(доцент кафедри інформаційних технологій, Державний університет інфраструктури та технологій)
Олександр Ткаченко, к.ф.-м.н.,
(доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, Національний авіаційний університет)
Костянтин Ткаченко, к.е.н.,
(старший викладач кафедри інформаційних технологій, Державний університет інфраструктури та технологій)

ВИКОРИСТАННЯ ОНТОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ В ЦИФРОВІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТУ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Розглянуто проблеми та перспективи застосування онтологій у цифровізації транспорту. Для вирішення проблем цифровізації транспорту важливе значення мають онтології, формалізовані онтологічні та семантичні мови для забезпечення процесів проектування і експлуатації транспортних систем. Розглянуто світовий досвід по цифровізації транспорту на основі формальних онтологічних моделей, описані онтології, побудовані на базі SysML.

Ключові слова: цифрова економіка, цифровізація транспорту, семантичні моделі, онтологічні моделі, інженерні онтології.

Вступ, аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. В наш час інформаційні технології широко використовуються в архітектурі, інженерії та будівництві: складні CAD-системи [1], 3D-моделі будівель і споруд [2] і т. д. Ця методологія стала відома як інформаційне моделювання будівель (BIM, Building Information Modeling) [3].

Розвиток і вдосконалення транспорту потребує, зокрема, збільшення вантажо- та пасажиропотоків, що обумовлює боротьбу за ці потоки між різними видами транспорту і створення нової концепції розвитку транспортних систем, яка ґрунтується на використанні моделей транспортних об'єктів і процесів. Тому особливо важливим і актуальним є використання BIM для узгодженого управління інформацією/знаннями про об'єкти транспортної інфраструктури протягом усього їх життєвого циклу, особливо на етапі експлуатації. Використання BIM, в тому числі й онтологічного моделювання [3], сприятиме цифровізації транспорту.

Мета і завдання дослідження – визначення та аналіз проблем цифровізації транспорту та шляхів їх вирішення. Інструментарієм досягнення поставленої мети та вирішення поставлених завдань мають стати онтологічні моделі.

Матеріали та методи дослідження. Семантична модель – це модель, в яку включена семантична інформація, що описує зміст її конкретних елементів чи зразків. Наприклад, в [4, 5], моделі IFC (Industry Foundation Classes) [6] є семантичними. На транспорті використовують різні моделі, зокрема моделі з великою кількістю даних, що обумовлює необхідність управління розподіленими даними на базі деякої моделі, наприклад, BIM (див. рис. 1 [7]).

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-12

За допомогою семантичних веб-технологій інформація моделі IFC на основі EXPRESS перетворюється в семантично розширену модель об'єктів і процесів, яку можна описати онтологічною мовою OWL [8]. IfcOWL (версія OWL моделі IFC) використовує семантичні веб-технології для моделей BIM. Перевагами семантичних веб-технологій та IFC OWL є: можливість зв'язувати різні типи даних і додатків однієї й тієї ж концепції з елементами, запитами на дані, публікацією даних, обґрунтуваннями і специфікаціями даних.

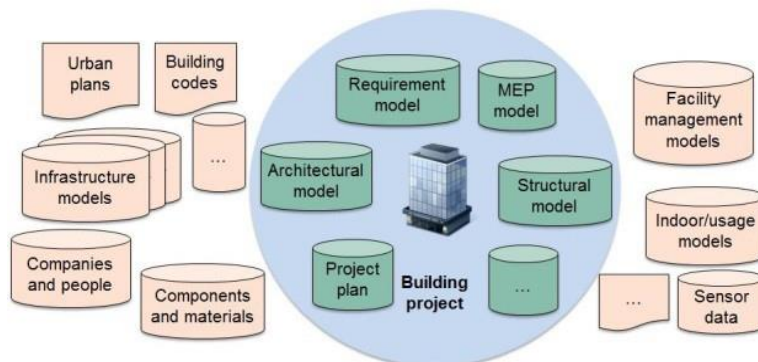


Рис. 1. Управління розподіленими даними у BIM

Рис. 2 [7] ілюструє різницю в підходах до управління даними. Підхід «Old School» заснований на технологіях STEP, XML, а онтологічний підхід «New School» є більш гнучким і динамічним і ґрунтується на семантичній мережі.

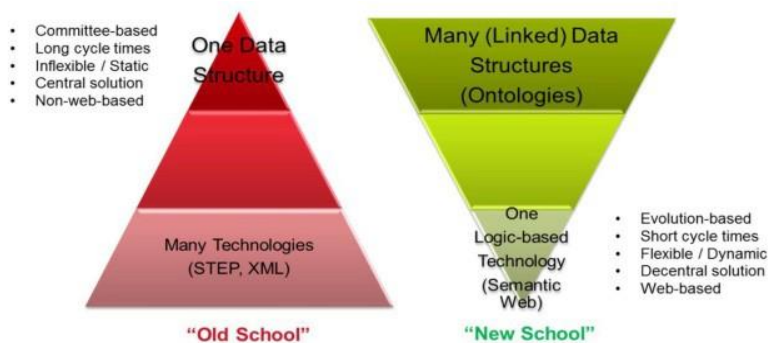


Рис. 2. Зв'язок між традиційними і онтологічними методами

Враховуючи особливості різних профілів OWL, існують різні варіанти побудови відносин з IFC. Онтологія IFC OWL використовується як для розв'язання задач так званого «універсального» проектування (з максимально можливою інформацією), так і для «унікального» («індивідуального») проектування при вирішенні конкретних завдань у вигляді спеціальних прикладних додатків.

Для стандартизації правил трансформації розвиток IFC OWL існує спеціальний орган стандартизації. BuildingSMART [8], що відповідає за створення і підтримання онтології IFC OWL в проектах, які пов'язані з розширенням BIM на весь життєвий цикл, OWL розглядається і застосовується як інтегратор всіх необхідних онтологій і єдиний механізм створення Web-додатків.

EULYNX [9].використовує формальні онтологічні методи в багатьох галузях, але не дуже поширений серед менеджерів транспортної інфраструктури. Впровадження розподіленої системи безпеки на транспорті є важливим та інноваційним.

Онтології цифровізації транспорту. Дослідження щодо використання онтологій на залізничному транспорті у Великобританії показали, що: «... ефективність інформаційних систем (IC) в галузі гальмується застарілими системами, що не можуть використовувати нові технології і заохочувати користувачів розробляти системи для подолання існуючих проблем» [5].

Побудована на основі онтологій транспортна система (відповідна їй IC) є комбінацію взаємодіючих елементів (продуктів, процесів, користувачів, властивостей, послуг, функцій тощо), підсистем або комплексів підсистем, які виконують конкретні завдання. Наприклад, проект повторної сигналізації на транспорті ERTMS є прикладом розвитку системи безпеки, що реалізована згідно з «V-моделлю» [10], яка використовується і в EULYNX [9].

Онтологія транспорту має загальні частини, зокрема: транспортна інфраструктура, рухомі засоби, кадровий персонал тощо. Розвиток цифровізації транспорту все більше залучає інженерні, програмні та BIM-онтології. Можливість працювати з обмеженим набором формалізованих понять і великим набором формалізованих відносин між ними дозволяє накопичувати знання та використовувати їх на практиці для отримання кращих результатів.

Підсистеми моделюються в онтологіях, використовуючи різні обчислювальні моделі: кінцеві автомати, системи дискретних подій, моделі потоків даних, сигнальні моделі, семантичні мережі тощо. Взаємодія трьох обчислювальних моделей у визначених точках онтологічної моделі подана на рис. 3 [10].

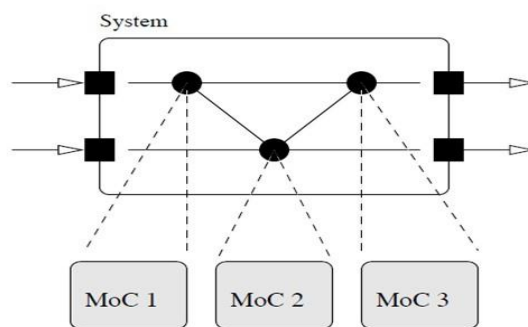


Рис. 3. Взаємодія обчислювальних моделей у визначених точках онтологічної моделі

Онтології інфраструктур транспорту. З розвитком онтологій з'явилася можливість створення систем управління знаннями. Наприклад, онтологічна BIM надає унікальне джерело інформації, бо генерує і управляє даними, створеними протягом життєвого циклу інфраструктурної транспортної будівлі. Онтології інфраструктур транспорту тісно пов'язані з IFC buildibgSmart та їх розширеннями. Стандарт інфраструктури IFC Rail [6], наприклад, не включає залізничні мости і тунелі (це в онтології окремий домен), вокзали і депо (за класифікацією buildibgSmart це домен інфраструктурної транспортної будівлі).

Сучасні симуляційні системи інфраструктурних транспортних будівель використовують знання про будівлю та її домени. Це пояснює необхідність формальних інформаційних моделей і структур знань, які застосовуються у базах знань щодо інфраструктурних транспортних будівель і споруд.

Сучасні стратегії управління інфраструктурою транспорту часто приймають рішення лише на основі кількісних (числових) показників та їх значень, ігноруючи семантичні знання щодо інфраструктурних об'єктів та багато важливої інформації (наприклад, інформацію про пасажиропотік, геометрію будівлі для енергопостачання вокзалу).

Технології Semantic Web [8] діють як абстракції в поданні семантичних знань щодо інфраструктурних транспортних об'єктів (будівель). Тут онтології є частиною семантичних моделей, які представляють концепції кожного домена, разом з їх властивостями та взаємозв'язками. Правила, засновані на висновках (результатах процедури виведення нових знань), надають механізми для отримання нових знань на основі тих, що зберігаються в онтологіях.

Інженерні онтології транспорту на основі моделей (MBSE) [11] передбачають створення і використання моделей доменів як засобу обміну інформацією між інженерами, сприяють підвищенню ймовірності «отримати правильне рішення», бо вся інформація підключена до єдиної моделі даних [5, 6].

Організація інженерних процесів в MBSE сприяє:

1. Виявленню проблем цифровізації транспорту.
2. Побудові моделі прийняття рішень щодо транспорту та його цифровізації.
3. Використанню SysML [4, 5] як інформаційно-керуючої структури в специфічних інженерних доменах.

4. Скороченню часу розробки системи за рахунок багаторівневої онтологічної моделі.

Перевагами онтологій, що побудовані на базі SysML, є:

- візуалізація опису транспортної системи для більш кращого її розуміння та інтерпретації;
- допомога в управлінні транспортною системою через відображення взаємозв'язків між різними компонентами та процесами на всіх етапах життєвого циклу системи (від збору вимог і дизайну до тестування і перевірки).

Система блокування є важливою частиною сигналізації на транспорті (зокрема, на залізничі вона забезпечує безпечний рух потягів). Система блокування породжує проблеми для інженерних онтологій (наприклад, через складний характер інженерного проектування процесів блокування). RailML [12] усуває багато з цих проблем (зокрема, взаємоблокування) та автоматизує розробку протоколів тестування. Використання RailML при інженерному проектуванні сприяє зниженню витрат, наприклад, у Siemens залежно від комплексу проектів собівартість знижувалася на 21%-35%. RailML потребує значних обсягів даних, тому цей підхід на складних проектах працює не так ефективно, як на простих [12].

Метою застосування онтологічних моделей є створення цифрового інструментарію для поліпшення основних показників транспорту. В цьому напрямі працює Shift2Rail [13] – європейська ініціатива з пошуку досліджень, інновацій та управлінських рішень на транспорті (зокрема, залізничному), прискорюючи інтеграцію передових технологій в інноваційні рішення для залізничних продуктів. Shift2Rail підвищує конкурентоспроможність європейської залізничної системи, відповідаючи потребам ЄС і скорочуючи витрати на життєвий цикл, та спрямована на збільшення пропускної здатності європейської залізничної системи, підвищення її надійності та якості обслуговування. У Shift2Rail значна увага приділяється EULYNX, що надає стандартні специфікації для транспорту.

Концепція EULYNX полягає в тому, що модель є основним контейнером вимог. Рішеннями EULYNX, зокрема, є:

Система виявлення потягів (TDS) для визначення зайнятості ділянки залізниці, щоб забезпечити безпеку руху потягів. Методами TDS є:

- *Трек ланцюга*, що використовується на залізницях Нідерландів. Коли потяг входить на ділянку, він замикає струм в рейці, знеструмлюючи реле і повідомляючи, що ділянка зайнята.
- *Axle Counter* використовує пристрої, розташовані на початку і в кінці кожної ділянки для визначення напрямку руху потягу.

Блокування в системі сигналізації – система запобігання конфліктам під час руху потягів. Блокування пов'язане з системами виявлення потягів на маршруті, сигналами та іншими підсистемами.

EULYNX розроблений на базі DB Netz AG NeuPro [14]. NeuPro забезпечує створення стандартизованої специфікації інтерфейсу і в Німеччині до NeuPro додається більше функціональних можливостей [8]. Для кожної підсистеми збираються всі функції, що пов'язані з інтерфейсом. Після їх схвалення створюються специфікації вимог, які містять моделі SysML [4, 5], які враховують вимоги користувачів і вимоги до системи. Моделювання в EULYNX як процес MBSE використовується для:

- опису придатних для тестування вимог до підсистем;
- підтримки досягнення узгодженості, недвозначності і повноти вимог;
- раннього тестування і обробки помилок функціональних вимог;
- автоматичного генерування тестів зі специфікації вимог.

Моделювання відіграє важливу роль в проекті, тому в EULYNX сформовано кластер Моделювання і Тестування, який відповідає за створення документів процесу моделювання. Для кожної підсистеми зі списків функцій створюється специфікація вимог та такі типи документів: визначення інтерфейсу для кожного типу інтерфейсу, специфікації інтерфейсу і специфікації вимог.

Специфікація інтерфейсу EULYNX визначає прикладний рівень (PDI) з інтерфейсу протоколу. Зв'язок між підсистемою блокування та іншими підсистемами представлено у вигляді команд/ повідомлень. Цей документ містить технічні вимоги, опис кожної команди/ повідомлення, що відправляється через інтерфейс між підсистемою блокування і конкретною підсистемою. EULYNX визначає та описує: *пов'язані підсистеми; обмін інформацією між підсистемами через інтерфейс; поведінку підсистем, що відносяться до інтерфейсу; стан підсистем та їх інтерфейсів; набір дій (прецедентів)*, включаючи ініціалізацію, роботу і управління, за допомогою яких підсистеми взаємодіють між собою; *набір сценаріїв* – послідовності дій, які призводять до успіху чи невдачі.

DB Netz відіграє важливу роль в EULYNX, маючи перевагою легку адаптацію до процесу EULYNX, змінюючи свій робочий процес відповідно до EULYNX.

В рамках кластера Моделювання і Тестування формується рішення про те, які моделі повинні створюватися, відображаються зміни в онтологічних моделях тощо. Спочатку створюються моделі та отримується зворотний зв'язок від замовників моделі після завершення моделювання для подальшої модифікації моделі. Аналіз та тестування моделі (моделей) відбувається в кластері.

Встановлені в EULYNX довгострокові стабільні інтерфейси сприяють оновленню та модифікації моделей на рівні відповідних модулів. Онтологічне моделювання стає базою цифровізації транспорту (в тому числі й залізниці), яка сприятиме кращому захисту інвестицій та інноваціям. Онтологічна модель для інтеграції BIM та даних є основою цифровізації транспорту.

Розробники моделей мають вирішувати проблеми прогнозування затримок транспортних засобів та перевезень, обслуговування інфраструктури транспортної системи (зокрема, залізничної), планування розкладів тощо. Існує багато алгоритмів, моделей та технологій вирішення цих проблем, наприклад:

- нейромережеві технології сприяють передбаченню збоїв у транспортній мережі з точністю 97%;
- методи машинного навчання сприяють цифровізації та інтелектуалізації процесів обслуговування на транспорті;
- алгоритми генерації та різні мережеві моделі сприяють вирішенню проблем оптимізації розкладу;
- мови моделювання і мережі Петрі сприяють оптимізації систем управління потягом; – байєсовські мережеві моделі поліпшують стратегії обслуговування транспортної інфраструктури (в тому числі й залізничної).

Рішення щодо цифровізації транспорту є платформами [15], наприклад:

- Хегох (MAP) використовує аналітику даних для управління і прогнозування пасажиропотоків.
- SPATIOWL використовує технологію штучного інтелекту для прогнозування затримки потягів в японській залізничній мережі.
- MDS Siemens використовує методи машинного навчання для прогнозування затримок рухомого складу та підвищення пунктуальності.
- Насон (TPS) використовує алгоритми створення і адаптації оптимальних графіків потягів.
- Qognify використовує прогнозування тенденцій швидкого поширення інформації для управління інцидентами.

Висновки. Онтологічні моделі допомагають побудувати ефективну цифрову кооперацію і забезпечити цифрову безперервність через онтологію стандартів. EULYNX використовується при необхідності розробки стандартів цифровізованого транспорту.

Онтологічні моделі охоплюють процеси, які відбуваються на транспорті, та відіграють все більш вирішальну роль. Такі моделі є основою цифровізації транспорту. За допомогою онтологічних моделей можна, зокрема, надавати та візуалізовувати детальну інформацію

команди/повідомлення, якими обмінюються підсистеми; час та умови ініціалізації підсистем; стан підсистем; проблеми і помилки функціонування транспортної системи чи окремих її підсистем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Top 10 Best CAD Software For All Levels. URL: <https://www.3dnatives.com/en/top10-cad-software-180320194/> (дата звернення 29.04.2020).
2. Створення і візуалізація 3d моделі місцевості, створення тривимірних моделей будівель та промислових об'єктів. URL: <https://mirnychyj.com.ua/lazerne-3d-skanuvannya/stvorenniya-i-vizualizaciya-3d-modeli-misc/> (дата звернення 27.03.2020).
3. BuildingSMART open BIM. URL: <https://www.tekla.com/ru/content/buildingsmart-open-bim> (дата звернення 29.03.2020).
4. Kupriyanovsky V., Pokusaev O., Volokitin Y., Namiot D., Petrunina I., Zazhigalkin A. Formalized ontologies and services for high-speed and digital railways //International Journal of Open Information Technologies, 2018. Vol. 6. № 6. P. 69-86.
5. Delgoshaei P. Semantic models and reasoning for building system operations: focus on knowledge-based control. Maryland College Park, USA, 2017.
6. IFC Rail – The International Standard Progress Report. URL: <https://www.bim-events.de/ifc-rail-the-international-standard-progress-report/> (дата звернення 03.04.2020).
7. M.H. van de Riet. Semantic model enrichment for bim-enabled risk-based operation and maintenance. A case study approach with Industry Foundation Classes. Eindhoven University of Technology, Arcadis Nederland, 2016. 216 p.
8. Лаврищева, Е.М., Карпов, Л.Е., Томилин, А.Н. Семантические ресурсы для разработки онтологии научной и инженерной предметных областей. URL: <https://keldysh.ru/abrau/2016/16.pdf> (дата звернення 29.04.2020).
9. EULYNX: a route to standardization. Global Railway Review. URL: <https://www.eulynx.eu> (дата звернення 29.03.2020).
10. M. Jansen van Galen. Energy Efficient Train Control in the Netherlands Analysis of effects on a large scale network with distributed delays. Civil Engineering and Management specialization Transport Engineering and Management University of Twente. 2016.
11. MBSE – Systems Engineering Yhinking Wiki. URL: <http://sewiki.ru/MBSE> (дата звернення 07.04.2020).
12. Bosshaart Mark. Lean Engineering Design of Rail Interlocking Systems with RailML //Thesis Report Master TIL. Siemens NL & Delft University of Technology (October 1th 2016), Germany. 2016.
13. Shift2Rail: driving innovation on railways. URL: https://ec.europa.eu/research/press/jti/factsheet_s2r-web.pdf (дата звернення 08.04.2020).
14. Machbarkeitsstudie zum Projekt Zukunft Bahn (ETCS/NeuPro). URL: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/machbarkeitsstudie-zukunft-bahn.pdf?__blob=publicationFile (дата звернення 08.04.2020).
15. Data architectures and advanced analytics for transport operations modelling (S276). RAIL SAFETY AND STANDARDS BOARD LTD, 2017.

REFERENCES

1. Top 10 Best CAD Software For All Levels. (2020). Retrieved from <https://www.3dnatives.com/en/top10-cad-software-180320194/> (Accessed 29 April 2020). (in English).
2. Stvorenniya i vizualizatsiya 3d modeli mistsevoosti, stvorenniya tryvymirnykh modeley budivel' ta promyslovykh ob'yektiv [Creating and visualizing a 3D terrain model, creating 3D models of buildings and industrial sites]. (2020). Retrieved from <https://mirnychyj.com.ua/lazerne-3d-skanuvannya/stvorenniya-i-vizualizaciya-3d-modeli-misc/> (Accessed 27 March 2020).
3. BuildingSMART open BIM. (2020). Retrieved from <https://www.tekla.com/ru/content/buildingsmart-open-bim> (Accessed 29 March 2020). (in English).
4. Kupriyanovsky V., Pokusaev O., Volokitin Y., Namiot D., Petrunina I., Zazhigalkin A. (2018). Formalized ontologies and services for high-speed and digital railways. International Journal of Open Information Technologies, 6, № 6, 69-86. (in English).
5. Delgoshaei P. (2017). Semantic models and reasoning for building system operations: focus on knowledge-based control. Maryland College Park, USA. (in English).
6. IFC Rail – The International Standard Progress Report. (2020). Retrieved from <https://www.bim-events.de/ifc-railthe-international-standard-progress-report/> (Accessed 03 April 2020). (in English).
7. M.H. van de Riet. (2016). Semantic model enrichment for bim-enabled risk-based operation and maintenance. A case study approach with Industry Foundation Classes. Eindhoven University of Technology, Arcadis Nederland. 216 p. (in English).
8. Lavrishcheva, Ye.M., Karpov, L.Ye., Tomilin, A.N. (2016). Semanticheskiye resursy dlya razrabotki ontologii

nauchnoy i inzhenernoy predmetnykh oblastey. [Semantic resources for the development of the ontology of scientific and engineering subject areas]. Retrieved from <https://keldysh.ru/abrau/2016/16.pdf> (Accessed 29 April 2020).

9. EULYNX: a route to standardization. *Global Railway Review*. (2020). Retrieved from <https://www.eulynx.eu> (Accessed 29 March 2020). (in English).

10. M. Jansen van Galen. (2016). *Energy Efficient Train Control in the Netherlands Analysis of effects on a large scale network with distributed delays*. Civil Engineering and Management specialization Transport Engineering and Management University of Twente. (in English).

11. MBSE – Systems Engineering Yhinking Wiki. (2020). Retrieved from <http://sewiki.ru/MBSE> (Accessed 07 April 2020). (in English).

12. Bosschaart Mark. (2016). *Lean Engineering Design of Rail Interlocking Systems with RailML*. Thesis Report Master TIL. Siemens NL & Delft University of Technology (October 1st 2016), Germany. (in English).

13. Shift2Rail: driving innovation on railways. (2020). Retrieved from https://ec.europa.eu/research/press/jti/factsheet_s2r-web.pdf (Accessed 08 April 2020). (in English).

14. Machbarkeitsstudie zum Projekt Zukunft Bahn (ETCS/NeuPro). (2020). Retrieved from https://www.bmvi.de/shareddocs/de/Anlage/E/machbarkeitsstudie-zukunft-bahn.pdf?__blob=publicationFile (Accessed 08 April 2020). (in German).

15. Data architectures and advanced analytics for transport operations modelling (S276). (2017). RAIL SAFETY AND STANDARDS BOARD LTD. (in English).

Ольга Ткаченко, к.ф.-м.н.,
(доцент кафедры информационных технологий, Государственный университет
инфраструктуры и технологий)
Александр Ткаченко, к.ф.-м.н.,
(доцент кафедры инженерии программного обеспечения, Национальный авиационный
университет)
Константин Ткаченко, к.э.н.,
(старший преподаватель кафедры информационных технологий, Государственный
университет инфраструктуры и технологий)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ЦИФРОВИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Рассмотрены проблемы и перспективы применения онтологий в цифровизации транспорта. Для решения проблем цифровизации транспорта важное значение имеют онтологии, формализованные онтологические и семантические языки для обеспечения процессов проектирования и эксплуатации транспортных систем. Рассмотрен мировой опыт по цифровизации транспорта на основе формальных онтологических моделей, описаны онтологии, построенные на базе SysML.

Ключевые слова: цифровая экономика, цифровизация транспорта, семантические модели, онтологические модели, инженерные онтологии.

Olha Tkachenko, Ph.D. in Physical and Mathematical Sciences,
(Associate Professor, Department of Information Technologies, State University of
Infrastructure and Technologies)
Oleksandr Tkachenko, Ph.D. in Physical and Mathematical Sciences,
(Associate Professor, Department of Software Engineering, National Aviation University)
Kostiantyn Tkachenko, Ph.D. in Economics,
(Senior Lecturer, Department of Information Technologies, State University of Infrastructure
and Technologies)

USE OF ONTOLOGICAL MODELS IN DIGITALIZATION OF TRANSPORT: PROBLEMS AND PROSPECTS

The article deals with current problems and prospects of digitalization of transport (transport systems). It is suggested to use modeling of processes and objects of transport systems to solve the

problems under consideration. Ontology models are considered as models used for the digitization of transport. The article deals with the problems and prospects of using ontologies in the digitization of transport (transport systems, in particular rail systems and its infrastructure: buildings, bridges, etc.). To solve the problems of digitization of transport, ontologies, formalized ontological and semantic languages are essential for ensuring the design and operation of transport systems. Ontological models embrace the processes that take place in transport and play an increasingly crucial role. The article discusses, in particular, how ontological models can provide and visualize detailed information about commands (control messages) exchanged by subsystems of transport systems. The article examines the global experience in digitalisation of transport based on the use of formal ontological models, describes ontologies built on SysML, which are common in transport security systems (in particular, for various types of rail signaling systems).

Keywords: digital economy, transport digitalization, semantic models, ontological models, engineering ontologies.

УДК 629.46-592:(51-74)

Александр Сафронов, к.т.н.
(директор, ГП «Украинский научно-исследовательский институт
вагоностроения»)

**РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОРМОЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ ПО ПРАВИЛАМ ГОСТ 34434-2018
С ПРИМЕНЕНИЕМ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ФОРМУЛ
(четырёхосные полувагоны, крытые вагоны, платформы, думпкары)**

Предложены универсальные формулы для определения действительного коэффициента силы нажатия композиционных колодок и тормозного пути грузового поезда. Коэффициенты уравнений получены методом компьютерного моделирования. Методика позволяет выполнять многовариантные исследования по выбору оптимальных параметров тормозной системы грузовых вагонов, отвечающих заданным требованиям тормозной эффективности. Погрешность расчетных исследований по универсальным формулам не превышает 0,5 % по сравнению с расчетными исследованиями по новым правилам. Приведены примеры расчетов.

Ключевые слова: действительный тормозной коэффициент, тормозной путь, скорость, осевая нагрузка, степенная зависимость, коэффициенты, передаточное число.

Введение. До принятия ГОСТ 34434-2018, проектирование и расчет тормозных систем грузовых вагонов осуществлялся в соответствии с методиками и правилами [1], [2], [3], [4], в которых также изложены основные регламентирующие показатели по обеспечению тормозной эффективности грузовых вагонов с осевой нагрузкой до 23,5 тс включительно. Тормозная эффективность грузовых вагонов с композиционными и чугунными тормозными колодками оценивалась по минимально допускаемым величинам расчетного коэффициента силы нажатия тормозных колодок, а также по расчетным силам нажатия композиционных колодок на ось в пересчете на чугунные [1], [2], [5]. Кроме того, максимальные допустимые скорости движения грузовых поездов ограничивались единым наименьшим тормозным нажатием композиционных колодок в пересчете на чугунные на каждые 100 тс веса [6]. Параметры тормоза выбирались, в зависимости от типа грузового вагона, в соответствии с инструкцией [7]. Для ориентировочного определения тормозного пути грузовых поездов, в зависимости от величины расчетных коэффициентов, использовались таблицы и номограммы [2], [5].

Анализ последних исследований и постановка проблемы. Дальнейшее развитие грузового вагоностроения по пути создания грузовых вагонов с повышенными осевыми нагрузками до 25–30 тс и с допустимыми скоростями движения до 160 км/ч включительно обусловило принятие ГОСТ 34434 - 2018, в котором изложены новые правила расчета тормозов и требования к тормозной эффективности грузовых поездов [8].

Основная особенность требований к тормозной эффективности [8] состоит в том, что в критерии тормозной эффективности впервые введены максимальные допускаемые тормозные пути грузового поезда на площадке в зависимости от скорости в начале торможения, причем допустимая скорость грузового поезда увеличена до 160 км/ч включительно.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-13

Коме того, допустимые значения тормозных путей являются едиными для всего диапазона осевых нагрузок (230 – 294,3) кН (табл. 1).

Таблица 1. Максимальные допустимые значения тормозных путей грузовых поездов при максимальной загрузке (230,5-245,3-264,9-294,3 кН/ось)

V, км/ч	до 90 включ.	св. 90 до 100 включ.	св. 100 до 120 включ.	св. 120 до 140 включ.	св. 140 до 160 включ.
S, м	1060	1040	1200	1340	1720

Изложенные в [8] правила тормозных расчетов грузовых вагонов, имеют принципиальные отличия от правил расчета [1 – 4]. Основные отличия состоят в том, что тормозной путь грузового поезда рассчитывается по действительным силам нажатия тормозных колодок и действительным коэффициентам трения с учетом аналитической зависимости изменения действительной силы нажатия тормозных колодок от времени торможения.

Вопросам расчетных исследований конструкций грузовых вагонов, уделяется немало внимания [9-13], однако большинство работ нацелены на решение проблем прочности и проектирования несущих конструкций, при этом вопросам тормозной эффективности подвижного состава, которая также влияет на безопасность движения, необходимо уделить внимания, тем более, в связи с принятием новых нормативных документов [8].

Таким образом, целью расчетных исследований тормозов грузовых вагонов по новым правилам, является подтверждение соответствия тормозной системы нормативным требованиям, основными из которых являются максимальные допустимые значения тормозных путей грузового поезда на площадке. Однако, следует отметить, что тормозные пути грузового поезда представляют оценочную характеристику критерия, который обеспечивает нормативные значения тормозных путей. Таким критерием является действительный коэффициент силы нажатия композиционных колодок.

Цель и задачи исследования. Важнейшая составная часть проектирования тормозной системы грузового вагона заключается в выборе параметров тормоза, при которых обеспечивается тормозная эффективность [8].

Однако, отсутствие нормативных значений действительных коэффициентов в новых правилах [8] не позволяют осуществлять и определять оптимальные характеристики тормоза по заранее принятым условиям тормозной эффективности (тормозному пути), что вызывает неопределенность в решении указанной задачи.

Неопределенность состоит в том, что выбор характеристик тормозной системы грузового вагона приходится осуществлять методом перебора большого количества вариантов.

В этой связи, целью работы является разработка инструментария для определения действительного коэффициента силы нажатия тормозных колодок на колеса, удовлетворяющего заданной тормозной эффективности грузового поезда.

Материалы и методы исследования. Известно, что тормозной путь и определяющие его величину параметры (расчетные коэффициенты, удельные тормозные силы, коэффициенты трения, коэффициенты сцепления колеса с рельсом и др.) находятся в обратной зависимости гиперболического типа [14], что позволяет функциональную зависимость между указанными параметрами представить в виде степенной зависимости:

$$A = c \cdot B^d, \quad (1)$$

где коэффициенты c и d подлежащие определению.

Формула (1) может быть представлена в упрощенном виде:

$$A = \exp(\ln c + d \cdot \ln B) \quad (2)$$

На основании формулы (1), зависимость между действительным коэффициентом и величиной тормозного пути при фиксированной скорости в начале торможения определится математическим выражением:

$$\delta_o(V_0) = c(V_0) \cdot S(V_0)^{d(V_0)}. \quad (3)$$

Аналогичная формула используется для определения тормозного пути по действительному коэффициенту:

$$S(V_0)_{\text{эксн}} = c(V_0) \cdot \delta_o(V_0)^{d(V_0)}, \quad (4)$$

где V_0 – скорость в начале торможения, км/ч;

δ_o – действительный коэффициент силы нажатия тормозных колодок на колеса;

S – тормозной путь, м;

$c(V_0)$ и $d(V_0)$ – коэффициенты уравнений.

Коэффициенты $c(V_0)$ и $d(V_0)$ определяются статистическим методом [14] путем компьютерного моделирования [15]:

$$c_k = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln(\delta_i(V_k)) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_k)))^2 - \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k)) \cdot \ln(\delta_i(V_k)) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k))}{n \cdot (\sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k)))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_k)))^2} \right) \quad (5)$$

$$d_k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k)) \cdot \ln(\delta_i(V_k)) - \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k)) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(\delta_i(V_k))}{n \cdot (\sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_k)))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_k)))^2} \quad (6)$$

где $S(V_k)$ и $\delta_i(V_k)$ – тормозной путь и действительный коэффициент при скорости V_k .

Значения коэффициентов в формулах (5) и (6) приведены в таблице 2.

Таблица 2. Значения коэффициентов уравнений (5) и (6) для определения действительного коэффициента силы нажатия колодок на колеса и тормозного пути

V_0 , км/ч	$\delta_o(V_0) = c(V_0) \cdot S(V_0)^{d(V_0)}$		V_0 , км/ч	$S(V_0)_{\text{эксн}} = c(V_0) \cdot \delta_o(V_0)^{d(V_0)}$	
	$c(V_0)$	$d(V_0)$		$c(V_0)$	$d(V_0)$
1	2	3	4	5	6
Осевая нагрузка 230,5 кН (23,5 тс)					
90	66556,7	-1,5579	90	1246,7	-0,63997
100	149113,1	-1,6283	100	1498,7	-0,60801
120	624339,9	-1,7496	120	2053,8	-0,57204

Продолжение таблицы 2

Осевая нагрузка 245,3 кН (25 тс)					
90	78657,7	-1,5798	90	1253,9	-0,6289
100	182576,3	-1,6548	100	1511,9	-0,6044
120	612987,6	-1,7438	120	2061,5	-0,5623
Осевая нагрузка 264,9 кН (27 тс)					
90	61709,6	-1,5422	90	1275,8	-0,6447
100	209969,7	-1,6715	100	1520,2	-0,5902
120	916865,9	-1,7964	120	2076,8	-0,5529
Осевая нагрузка 294,3 кН (30 тс)					
90	75973,8	-1,5681	90	1295,8	-0,6381
100	317759,9	-1,7260	100	1540,0	-0,5788
120	1528367,4	-1,8623	120	2102,8	-0,5417

Рекомендуется расчетные исследования выполнять в среде EXCEL, используя формулу «СТЕПЕНИ», что позволяет автоматизировать процесс вычисления характеристик. На рис. 1 приведены критериальные значения действительных коэффициентов, при которых тормозные пути грузового поезда соответствуют минимальным допустимым значениям [8], а в таблице 2 – требования к тормозной эффективности в зависимости от осевых нагрузок вагонов.

monograf 90 - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

Буфер обмена Шрифт Выравнивание Число

Вставить Ссылки Ж К У Ф Цвет Заполнение Стили

Условное форматирование Форматировать как таблицу Ячейки

Вставить Удалить Сортировка Найти и выделить Редактирование

N13

1 $\delta_d(V_0) = c(V_0) \cdot S(V_0)^{d(V_0)}$ $S(V_0)_{эксп} = c(V_0) \cdot \delta_d(V_0)^{d(V_0)}$

2 V, км/ч [S] c(V) d(v) δ_d V, км/ч δ_d c(V) d(v) S [S] Δ

3 Осевая нагрузка 230,5 кН (23,5 тс)

4 90 1060 66556,7 -1,5579 1,289 90 1,289 1246,7 -0,6400 1059,8 1060 0,015%

5 100 1040 149113,1 -1,6283 1,823 100 1,823 1498,7 -0,6080 1040,1 1040 0,011%

6 120 1200 624339,9 -1,7496 2,558 120 2,558 2053,8 -0,5720 1200,0 1200 0,001%

7 Осевая нагрузка 245,3 кН (25 тс)

8 90 1060 78657,7 -1,5798 1,307 90 1,307 1253,9 -0,6289 1059,6 1060 0,042%

9 100 1040 182576,3 -1,6548 1,857 100 1,857 1511,9 -0,6044 1040,0 1040 0,000%

10 120 1200 612987,6 -1,7438 2,617 120 2,617 2061,5 -0,5623 1200,1 1200 0,011%

11 Осевая нагрузка 264,9 кН (27 тс)

12 90 1060 61709,6 -1,5422 1,333 90 1,333 1275,8 -0,6447 1060,1 1060 0,012%

13 100 1040 209969,7 -1,6715 1,902 100 1,902 1520,2 -0,5902 1040,0 1040 0,005%

14 120 1200 916865,9 -1,7964 2,697 120 2,697 2076,8 -0,5529 1200,0 1200 0,003%

15 Осевая нагрузка 294,3 кН (30 тс)

16 90 1060 75973,8 -1,5681 1,370 90 1,370 1295,8 -0,6381 1060,0 1060 0,002%

17 100 1040 317759,9 -1,7260 1,971 100 1,971 1540,0 -0,5788 1040,0 1040 0,001%

18 120 1200 1528367,4 -1,8623 2,817 120 2,817 2102,8 -0,5417 1200,0 1200 0,004%

Готово 23 27 25 30 Лист1 Лист2 Лист3 Лист4

пуск Бесплатный адм. Найти файл технологий и т... Статья универсал... расчеты monograf 90

Рис. 1. Расчетные исследования по универсальным формулам с применением таблиц EXCEL

**Таблиця 3. Критериальні значення дійсних коефіцієнтів сили нажаття
тормозних колодок для швидкостей руху до 120 км/ч включительно, отримані
по універсальним формулам**

Параметр		Швидкість в початку гальмування, км/ч		
		до 90 включ.	св. 90 до 100 включ.	св. 100 до 120 включ.
Тормозний шлях вантажного поїзда, м, не більше		1060	1040	1200
Дійсний коефіцієнт сили нажаття, кН/т	230,5 кН	1,289	1,823	2,558
	245,3 кН	1,307	1,857	2,617
	264,9 кН	1,333	1,902	2,697
	264,9 кН	1,370	1,971	2,817

Приклад 1. Для ілюстрації, в якості першого прикладу, розглядається задача по визначенню дійсного коефіцієнта сили нажаття композиційних колодок для вантажного поїзда при наступних умовах: тормозний шлях поїзда – 950 м; швидкість в початку гальмування 90 км/ч; осева навантаження 245,3 кН.

Для її розв'язання задачі, по таблиці 2 визначаються коефіцієнти рівняння (3) для заданих умов: $c(90) = 78657,7$; $d(90) = -1,5798$, а по формулі (2) – дійсний коефіцієнт сили нажаття:

$$\delta_d = \exp(\ln(78657,7) + (-1,5798) \cdot \ln(950)) = 1,554 \text{ кН/т.}$$

Використання універсальних формул також дозволяє визначати тормозні шляхи вантажного поїзда по дійсному коефіцієнту.

Коефіцієнти рівняння вибираються з другої половини таблиці 2:

$$c(90) = 1253,9425; d(90) = (-0,62893);$$

$$S = \exp(\ln(1253,9) + (-0,6289) \cdot \ln(1,554)) = 950,3 \text{ м.}$$

Приклад 2. Для порівняльного аналізу був виконаний розрахунок тормозного шляху вантажного поїзда по методикі [8]. Розрахунковим дослідженням піддавався полувагон з осевою навантаження 245,3 кН для швидкості в початку гальмування 100 км/ч.

Результати розрахуку показали, що при дійсному коефіцієнті сили нажаття композиційних колодок 1,903 кН/т, тормозний шлях вантажного поїзда в навантаженому стані склав 1022,4 м. (рис. 2).

Параметры вагона	
1	Модель вагона
2	Интегральный шаг времени торможения
3	Начальная скорость для грузового поезда, км/ч
4	Начальная скорость для порожнего поезда, км/ч
5	Параметры вагона
6	Сила тяжести вагона, тс
7	Сила тяжести груза, тс
8	Число тормозных колодок на вагоне
9	Число тормозных колодок колесной пары
10	Число тормозных цилиндров
11	Параметры тормозного цилиндра
12	Диаметр поршня, м
13	Жесткость пружины, кН/м
14	Усилие предварительного сжатия пружины, кН
15	КПД тормозного цилиндра
16	Давление в тормозном цилиндре, кПа
17	Порожний
18	Передаточное отношение рычажной передачи
19	Выход шток тормозного цилиндра, м
20	Порожний
21	Параметры авторегулятора
22	Усилие предварительного сжатия, кН
23	Жесткость пружины, кН/м
24	Величина сжатия при торможении, м
25	Передаточное отношение (композиционные колодки)
26	Передаточное отношение (чугунные колодки)
27	КПД рычажной передачи

Вычисленные по новым правилам	
Усилие сжатия отпущенной пружины тн, кН	1,033
Усилие пружины авторегулятора, кН	0,513
Действительная сила нажатия на колодку, кН	8,746
Расчетная сила нажатия на колодку, кН	9,459
Расчетный тормозной коэффициент, тс/т	0,309
Действительный тормозной коэффициент, кН/т	2,799
Приведенный тормозной коэффициент, тс/т	0,285
Осевая нагрузка	6,25

Результаты расчета			
q, кН	Kδ, кН	δδ, кН/т	S, м
груз.	245,3	23,78319	1,903
порож.	61,31	8,746291	2,799

Рис. 2. Расчетные исследования тормозного пути грузового поезда по новым правилам [8]

Расчет тормозного пути по универсальным формулам показал следующий результат:

$$S = \exp(\ln(1511,9) + (-0,6044) \cdot \ln(1,903)) = 1024,9 \text{ м}$$

Разница между значениями тормозных путей составила $(1024,9 - 1022,4) = 2,5 \text{ м}$, или в процентном соотношении 0,24 %.

Действительный коэффициент, полученный по универсальным формулам для расчетного значения тормозного пути 1022,4 м, показал значение 1,910 кН/м, при этом разница составила: $1,910 - 1,903 = 0,007$ (0,41 %).

$$\delta_d = \exp(\ln(182576,3) + (-1,6548) \cdot \ln(1022,4)) = 1,910 \text{ кН/т.}$$

Сравнительный анализ свидетельствует, что определение тормозных путей и действительных коэффициентов по универсальным формулам не превышает 0,5 % по сравнению с расчетными исследованиями.

Выбор параметров тормозной системы грузового вагона по заданным критериям тормозной эффективности грузового поезда. Основные параметры тормоза грузового вагона регламентируются правилами расчета [8], за исключением передаточного числа рычажной тормозной передачи.

Поэтому, основной задачей исследования, является определение такого значения передаточного числа, при котором тормозной путь соответствует заданным значениям тормозного пути грузового поезда.

Так как тормозной путь грузового поезда определяется по действительному коэффициенту силы нажатия, то первым этапом для решения указанной задачи является определение величины действительного коэффициента по методике изложенной выше.

Второй этап состоит непосредственно в определении передаточного числа тормозной рычажной передачи по действительному коэффициенту силы нажатия тормозных колодок.

Для определения передаточного числа тормозной рычажной передачи используется формула для определения действительной силы нажатия тормозной колодки на колесо (K_δ) [8]:

$$K_{\delta} = \frac{\kappa}{m} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p_{\text{ц}} \cdot \eta_{\text{ц}} - (P_{\text{ц}} + \mathcal{K}_{\text{нр}} \cdot l_{\text{ум}}) - (P_{\text{р}} + \mathcal{K}_{\text{р}} \cdot l_{\text{р}}) \cdot n_{\text{р}} \right) \cdot n \cdot \eta_{\text{рп}} \quad (7)$$

где d – эффективная площадь тормозного цилиндра, м²;

$p_{\text{ц}}$ – расчетное давление в тормозном цилиндре, кПа;

$P_{\text{ц}}$ – сила предварительного сжатия внутренней отпускной пружины тормозного цилиндра, кН;

$\mathcal{K}_{\text{нр}}$ – жесткость отпускной пружины тормозного цилиндра, кН/м;

$l_{\text{ум}}$ – выход штока тормозного цилиндра, м

$P_{\text{р}}$ – предварительное сжатие пружины автоматического регулятора тормозной рычажной передачи

$\mathcal{K}_{\text{р}}$ – жесткость пружины автоматического регулятора тормозной рычажной передачи, кН;

$l_{\text{р}}$ – величина сжатия пружины автоматического регулятора тормозной рычажной передачи при торможении м;

$n_{\text{р}}$ – передаточное число привода автоматического регулятора тормозной рычажной передачи

n – передаточное число рычажной передачи:

$\eta_{\text{рп}}$ – к.п.д. рычажной передачи, $\eta_{\text{рп}} = 0,95$;

$\eta_{\text{ц}}$ – к.п.д. тормозного цилиндра, $\eta_{\text{ц}} = 98$;

m – число тормозных колодок;

K – число тормозных цилиндров.

Действительный коэффициент зависит от действительной силы нажатия композиционных колодок на колесо, определяется по формуле [8]:

$$\delta_{\delta} = \frac{K_{\delta} \cdot m}{Q_{\delta p}}, \quad (8)$$

где $Q_{\delta p}$ – масса вагона, т,

Преобразуя формулу (7) с учетом формул и (8), получим окончательное уравнение для определения передаточного числа:

$$n = \frac{\delta_{\delta} \cdot Q_{\delta p}}{\kappa \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p_{\text{ц}} \cdot \eta_{\text{ц}} - (P_{\text{ц}} + \mathcal{K}_{\text{нр}} \cdot l_{\text{ум}}) - (P_{\text{р}} + \mathcal{K}_{\text{р}} \cdot l_{\text{р}}) \cdot n_{\text{р}} \right) \cdot \eta_{\text{рп}}} \quad (9)$$

Формулу (9) можно упростить, если разбить ее на отдельные фрагменты:

$$n = \frac{SK}{\kappa \cdot (KC - KO - KR) \cdot \eta_{\text{рп}}}, \quad (10)$$

где $SK = \delta_{\delta} \cdot Q_{\delta p}$ – суммарная сила нажатия тормозных колодок;

$$KC = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p_{\text{ц}} \cdot \eta_{\text{ц}} - \text{сила, действующая на поршень тормозного цилиндра нажатия}$$

тормозных колодок;

$KO = P_{\text{ц}} + \mathcal{K}_{\text{пр}} \cdot l_{\text{итт}}$ – противодействующая сила отпускной пружины тормозного цилиндра при торможении;

$KR = (P_{\text{р}} + \mathcal{K}_{\text{р}} \cdot l_{\text{р}}) \cdot n_{\text{р}}$ – противодействующая сила автоматического регулятора при торможении, приведенная к штоку тормозного цилиндра.

Пример 3. Алгоритм определения передаточного числа рычажной передачи тормоза выполняется на примере грузового вагона с осевой нагрузкой 230,5 кН для следующих условий: тормозной путь грузового поезда – 900 м; скорость в начале торможения – 90 км/ч.

Регламентированные параметры тормозной системы, выбираемые из таблиц [8], приведены в таблице 4:

Таблица 4. Регламентированные параметры тормоза [8]

Модель вагона	Полувагон
Брутто вагона, т	94
Начальная скорость для груженого поезда, км/ч	100
Число тормозных колодок на вагоне	8
Число тормозных колодок колесной паре	2
Число тормозных цилиндров	2
Параметры тормозного цилиндра	
Диаметр поршня, м	0,254
Жесткость пружины, кН/м	2,300
Усилие предварительного сжатия пружины, кН	0,883
КПД тормозного цилиндра	0,980
Давление в тормозном цилиндре, кПа	300
Выход штока тормозного цилиндра, м - груженный	0,065
Параметры авторегулятора	
Усилие предварительного сжатия, кН	0,883
Жесткость пружины, кН/м	20,8
Величина сжатия при торможении, м	0,010
Передаточное отношение (композиционные колодки)	0,470
КПД рычажной передачи	0,950

Первый этап: состоит в определении действительного коэффициента силы нажатия композиционных колодок для заданных условий по универсальным формулам:

$$\delta_{\text{д}} = \exp(\ln(66556,6719) + (-1,5579) \cdot \ln(900)) = 1,663 \text{ кН/т.}$$

На втором этапе определяется передаточное число рычажной передачи по формуле 9:

$$n = \frac{1,663 \cdot 64}{2 \cdot \left(\frac{3,1416 \cdot 0,254^2}{4} \cdot 300 \cdot 0,98 - (0,883 + 2,3 \cdot 0,065) - (0,883 + 20,8 \cdot 0,01) \cdot 0,47 \right) \cdot 0,95} = 6,16$$

Расчет показал, что при заданных условиях, передаточное число рычажной передачи составляет 6,16. Расчет тормозного пути грузового поезда по методике [8] при передаточном отношении 6,16 составил 902 м (рис. 3), при этом разница двух расчетов не превысила 0,22 % (902 – 900) = 2 м.

Вычисленные по новым правилам		Композиционные	
Порожний	Грузовой	Порожний	Грузовой
Усилие сжатия отпущенной пружины, тН	1,033	1,033	
Усилие пружины авторегулятора, кН	0,513	0,513	
Действительная сила нажатия на колодку, кН	7,184	19,534	
Расчетная сила нажатия на колодку, кН	7,924	18,741	
Расчетный тормозной коэффициент, тс/т	0,275	0,163	
Действительный тормозной коэффициент, кН/т	2,445	1,662	
Приведенный тормозной коэффициент, тс/т	0,249	0,169	
Осевая нагрузка	5,88	23,50	

Результаты расчета			
q, Кн	Kδ, кН	δδ, кН/т	S, м
груз.	220,5	19,534	1,662
порож.	5,875	7,184	2,445

Рис. 3. Расчетные исследования тормозного пути грузового поезда по новым правилам [8] при передаточном отношении тормозной рычажной передачи 6,16

Выбор передаточного числа рычажной передачи грузового, а также определение действительного коэффициента или тормозного пути можно полностью автоматизировать с применением программного комплекса EXCEL. Для этого достаточно скопировать в рабочий лист EXCEL таблицу 2 и занести в соответствующую ячейку электронной таблицы величину тормозного пути грузового поезда или действительного коэффициента. Для определения искомой величины используется формула степени: =ЕСЛИ(D6>0;E6*СТЕПЕНЬ(D6;F6);0), пример которой приведен на рис. 4.

=ЕСЛИ(D6>0;E6*СТЕПЕНЬ(D6;F6);0)

V, км/ч	[S]	c(V)	d(v)	δδ	V, км/ч	δδ	c(V)	d(v)	S
90	900	66556,7	-1,5579	1,663	90	1,663	1246,7	-0,6400	900,3
100		149113,1	-1,6283	0,000	100		1498,7	-0,6080	0,0
120		624339,9	-1,7496	0,000	120		2053,8	-0,5720	0,0

Осевая нагрузка 23,5 тс

Осевая нагрузка 25 тс

Рис. 4. Фрагмент листа рабочей книги EXCEL

Автоматизация определения передаточного числа рычажной передачи, при заданном значении тормозного пути грузового поезда, показана на рис. 5.

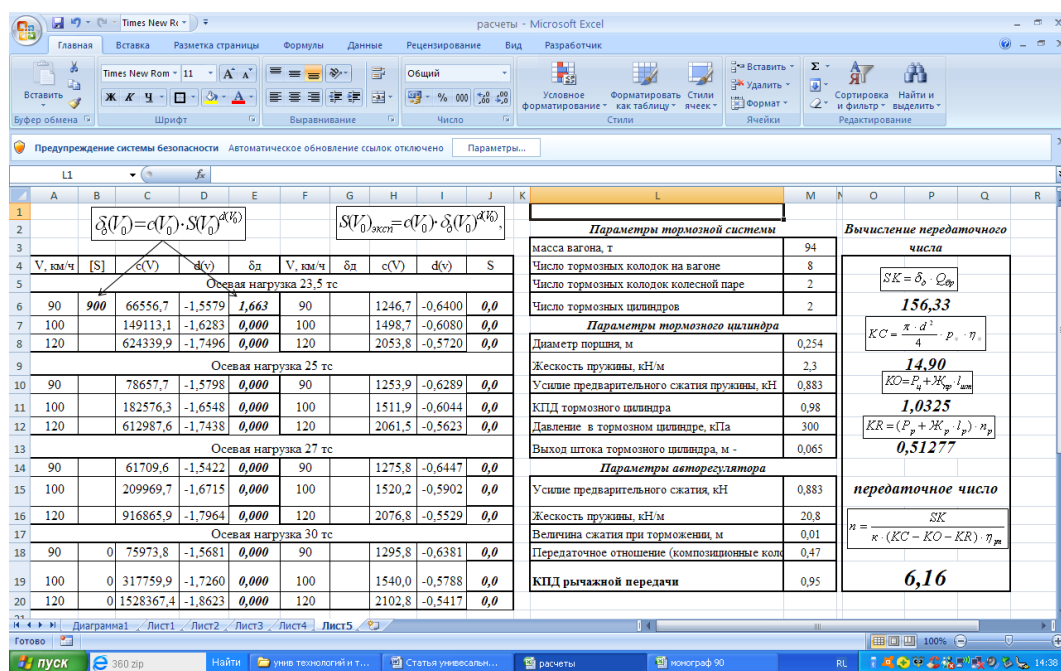


Рис. 5. Автоматизация определения передаточного числа тормозной рычажной передачи с использованием EXCEL

В случае, если осевая нагрузка отличается от нормированного значения (230,5-245,3-264,9-294,3 кН/ось), то определение действительного коэффициента по заданному тормозному пути производится по универсальным формулам при нормированной осевой нагрузке, а действительный коэффициент корректируется по формуле:

$$\delta_0(\tilde{q}_0) = \frac{\delta_0(|q_0|) \cdot |q_0|}{\tilde{q}_0}, \quad (11)$$

Где $\delta_0(|q_0|)$ – действительный коэффициент силы нажатия тормозных колодок при нормированном значении осевой нагрузки;

$|q_0|$ – нормированное значение осевой нагрузки;

$\tilde{q}_0$ – фактическое значение осевой нагрузки.

Для корректировки тормозного пути используется формула:

$$S(\tilde{q}_0) = \frac{S(|q_0|) \cdot \tilde{q}_0}{|q_0|}, \quad (12)$$

где $S(|q_0|)$ – тормозной путь, полученный по универсальной формуле при действительном коэффициенте при нормированной осевой нагрузке;

$S(\tilde{q}_0)$ тормозной путь при фактической осевой нагрузке.

Пример 4. Для иллюстрации метода, используются исходные данные и результаты расчета примера 1:

Начальные условия: тормозной путь поезда 950 м; скорость в начале торможения 90 км/ч; осевая нагрузка 245,3 кН.

действительный коэффициент силы нажатия - 1,554 кН/т;
 тормозной путь грузового поезда - 950,3 м;
 Фактическая осевая нагрузка принимается равной 225,63 кН.
 Используя формулы (11) и (12), получим:

$$\delta_d(225,3) = 1,554 \cdot 245,3 / 225,63 = 1,689;$$

$$S(225,3) = 950,3 \cdot 225,63 / 245,3 = 874,1.$$

По результатам расчета, по методике [8], тормозной путь составил 889 м (рис. 6), при этом погрешность составила 1,69 %.

Файл

Главная

Вставка

Разметка страницы

Формулы

Данные

Рецензирование

Вид

Разработка

Calibri | 11 | A |

Общий

Условное форматирование

Форматировать как таблицу

Стили

Стили ячеек

Вставить

Удалить

Формат

Сортировка и фильтр

Найти и выделить

Редактирование

Предупреждение системы безопасности

Автоматическое обновление ссылок отключено

Параметры...

G23

fx

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Модель вагона		полувагон												
2	интервальный шаг времени торможения		0.1												
3	Начальная скорость для груженого поезда, км/ч		90												
4	Начальная скорость для порожнего поезда, км/ч		90												
5	Параметры вагона														
6	Сила тяжести вагона, тс		23												
7	Сила тяжести груза, тс		69												
8	Число тормозных колодок на вагоне		8,000												
9	Число тормозных колодок колесной пары		2,000												
10	Число тормозных цилиндров		2,000												
11	Параметры тормозного цилиндра														
12	Диаметр поршня, м		0.254												
13	Жесткость пружины, кН/м		2,300												
14	Усилие предварительного сжатия пружины, кН		0.883												
15	КПД тормозного иншера		0.980												
16	Давление в тормозном цилиндре, кПа		груженный 300												
17			порожний 130												
18	Передаточное отношение рычажной передачи		6.130												
19	Выход штока тормозного иншера, м		груженный 0.065												
20			порожний 0.065												
21	Параметры авторегулятора														
22	Усилие предварительного сжатия, кН		0.883												
23	Жесткость пружины, кН/м		20.8												
24	Величина сжатия при торможении, м		0.010												
25	Передаточное отношение (композиционные колодки)		0.470												
26	Передаточное отношение (свучные колодки)		0.560												
27	КПД выжыкал пезавлст		0.930												

Готово

Пуск

Пусин

Найти

унив. техно...

3 Microsoft...

расчеты

монограф 90

расчеты по...

Беззвучны...

RL

Рис. 6. Расчет тормозного пути грузового поезда при осевой нагрузке 225,63 кН

Выводы. Предложенная методика, с применением универсальных формул, позволяет выполнять многовариантные расчеты по выбору рациональных параметров тормозной системы грузовых вагонов для заданных требований тормозной эффективности грузового поезда. Погрешность расчетных исследований по универсальным формулам по сравнению с расчетными исследованиями по методике [8] не превышает 0,5 %. Использование программного комплекса EXCEL позволяет автоматизировать процесс расчетных исследований тормозной эффективности грузового поезда по новым правилам.

ЛІТЕРАТУРА

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных), ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996 г.
2. Гребенюк П.Т., Долганов А.Н., Скворцова А.И. Тяговые расчеты : Справочник под ред. П. Т. Гребенюка. Москва: Транспорт, 1987. 272 с.
3. В.Г. Иноземцев, П.Т.Гребенюк. Нормы и методы расчета автотормозов : Москва: Транспорт, 1971. 57 с.
4. Гребенюк П. Т. Правила тормозных расчетов: Москва: «Интекст», 2004. 112 с.

5. ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України. Київ: Транспорт України, 2002. 143 с.
6. №ЦВ-0011. НОРМАТИВИ по гальмам.
7. ЦВ-ЦЛ-0013 Інструкція з ремонту гальмівного обладнання вагонів. Київ: 2005. 160 с.
8. ГОСТ 34434-2018. ТОРМОЗНЫЕ СИСТЕМЫ ГРУЗОВЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ. Технические требования и правила расчета. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС), принят 30 октября 2018 г. (протокол № 113-П), Москва: «Стандартинформ», 2018.
9. Fomin O., Kulbovsky I., Sorochinska E., Saprionova S., Bambura O. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). P. 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>
10. V. Tkachenko, S. Saprionova, I. Kulbovskiy, O. Fomin. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791
11. Fomin, O.V., Gostra A.V. Variations describe the structural designs of freight cars. *Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series .Transport systems and technologies*. 2015. №26-27. - P.137-147.
12. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building. *East European journal of advanced technologies*. 2012. № 3/7(57). P. 32-35 p.
13. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів. *Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського»*. Кременчук. 2013. Вип. 6(83). С. 87-91.
14. Львовский Э.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: К.:Высшая школа, 1988. 239 с.
15. Сафронов А. М., Водяников Ю.Я., Макеева Е.Г. Тормозная эффективность грузовых вагонов. Методология расчетных и экспериментальных исследований с использованием математических моделей и компьютерного моделирования: монография. Кременчук: ГП «УкрНИИВ», 2018. 173 с.

REFERENCES

1. Norms for calculating and designing cars IPU 1520 mm MPS railways (non-self-driving) GosNIIV-VNIIZhT. Moscow, 1996 rev. and add.
2. Grebenyuk, P. T., Dolganov, A. N., Skvortsov, A. I. (1987) Traction calculation: A handbook ed. PT Grebenyuk. Moscow: TransportPubl. p. 272. [in Russian].
3. Inozemtsev, V.G., Grebenyuk, P.T. (1971) Norms and methods of calculation of automatic brakes. Moscow: TransportPubl. p.57. [in Russian].
4. Grebenyuk, P.T. (2004) Rules brake calculations. Moscow: Intekst. p.112. [in Russian].
5. The CT-CV-CL-0015 (2002) Instruksiya of ekspluatatsii Galmier Rukh warehouse on zaliznitsyah Ukraine. Kiev: Transport of Ukraine. p.143.
6. №TSV-0011. Regulations on Galmier;
7. CV-CL-0013 (2005) Instruksiya of repair galmivnogo obladnannya vagoniv. Kiev:Transport of Ukraine. p.160.
8. ГОСТ 34434-2018 (2018) BRAKING SYSTEMS Cargo rail WAGO-NOV. Specification and calculation rules. Interstate Council for standardization-tion, Metrology and Certification (EASC). Moscow: Standartinform. [in Russian].
9. Fomin, O., Kulbovsky, I., Sorochinska, E., Saprionova, S., Bambura, O. (2017). Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>
10. V. Tkachenko, S. Saprionova, I. Kulbovskiy, O. Fomin. (2017). Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791
11. Fomin, O.V. (2015) Variacijne opisannya konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars]. *Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies"*. 26-27, P. 137-147.
12. Fomin, A. V. (2012). The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building. *East European journal of advanced technologies*. 3/7(57), P. 32-35.
13. Fomin O.V. (2013). Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv [Theoretical foundations of the software complex for the determination and use of mathematical models of freight wagons]. *Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'kohonatsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrogradskoho»*. 6(83). P. 87-91.
14. Lvovsky, E. N. (1988) Statistical methods for constructing empirical formulas: Height-Shaya School. p. 239. [in Russian].
15. Safronov, A. M., Vodyannikov, Y. YA., Makeeva, E. G. (2018) Brake efficiency of freight vago-new. The methodology of calculation and experimental studies using mathematics-matic models and computer simulations: a monograph. Kremenчук: DP “UkrNIIV”. p. 173. [in Russian].

Олександр Сафонов, к.т.н.

(директор, ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»)

РОЗРАХУНКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЛЬМІВНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ ПО ПРАВИЛАХ ГОСТ 34434-2018 З ВИКОРИСТАННЯМ УНІВЕРСАЛЬНИХ ФОРМУЛ

(чотиривісні напіввагони, криті вагони, платформи, думпкари)

Відсутність нормативних значень дійсних коефіцієнтів в нових правилах ГОСТ 34434-2018 не дозволяють здійснювати і визначати оптимальні характеристики гальма по заздалегідь прийнятих умовах гальмівної ефективності (гальмівному шляху), що викликає невизначеність у вирішенні зазначеної задачі. Невизначеність полягає в тому, що вибір характеристик гальмової системи вантажного вагона доводиться здійснювати методом перебору великої кількості варіантів. У зв'язку з цим, в статті наведено інструментарій для визначення дійсного коефіцієнта сили натиснення гальмівних колодок на колеса, що задовольняють заданій гальмівній ефективності вантажного поїзда. Як інструментарій використовуються універсальні формули у вигляді ступеневої залежності між дійсним коефіцієнтом сили натискання гальмівних колодок і гальмівного шляху вантажного поїзда. Коефіцієнти універсальних формул отримані на основі комп'ютерного моделювання. На прикладах показано, що похибка використання універсальних формул при розрахункових дослідженнях не перевищує 0,5% в порівнянні з розрахованими за методикою ГОСТ 34434-2018. Наведені значення дійсних коефіцієнтів залежно від осьового навантаження вагона і швидкості, при яких гальмівні шляхи вантажного поїзда відповідають нормативним мінімальним допустимим значенням. Показано, що проведення розрахункових досліджень за універсальними формулами в середовищі EXCEL дозволяють повністю автоматизувати процес обчислень. Запропоновано методику визначення передаточного числа важільної передачі гальма вантажного вагона, при якій виконуються задана гальмівна ефективність. Запропонована методика дозволяє виконувати різноманітні дослідження з вибору раціональних параметрів гальмівної системи вантажних вагонів, що відповідають заданим вимогам гальмівної ефективності, і значною мірою полегшує розрахункові дослідження.

Ключові слова: Дійсний коефіцієнт, гальмівний шлях, швидкість, осьове навантаження, ступенева залежність, коефіцієнти, передаточне число.

Oleksandr Safronov, PhD in Technical Sciences

(Director of the SE "Ukrainian Research Railway Car Building Institute")

CALCULATED STUDIES FOR THE BRAKING EFFICIENCY OF FREIGHT TRAINS UNDER THE RULES OF GOST 34434-2018 WITH THE APPLICATION OF UNIVERSAL FORMULAS **(four-axle gondola cars, covered railroad cars, platforms, dump cars)**

Absence of normative values of the actual coefficients in new rules of GOST 34434-2018 does not allow implementing and determining the optimal characteristics of the brake according to the previously adopted conditions of braking efficiency (braking distance), which causes uncertainty in solving this problem. The uncertainty lies in the fact that the choice of the characteristics of the brake system of a freight car has to be carried out by enumerating a large number of variations. In this respect, the article provides tools for determining the actual coefficient of the press force of composite brake blocks on wheels, satisfying the given braking efficiency of the freight train. Universal formulas are used as tools in the form of power dependence between the actual coefficient of press force of brake blocks and the braking distance of a freight train. The coefficients of universal formulas are obtained on the basis of computer simulation. Numerous examples show that the error in the use of universal formulas in calculation studies does not exceed 0.5% compared to the calculated ones according to GOST 34434-2018 methodology. Values of actual coefficients are given depending on the axial load of the car and speed at which the braking

distances of the freight train correspond to the standard minimum permissible values. It is shown that performance of the calculation studies using universal formulas in the EXCEL environment allows automate the calculation process in full. A technique is proposed for determining the gear ratio of the brake lever mechanism of a freight car, at which a given braking efficiency is performed. The proposed technique allows you to perform multivariate studies on the selection of optimal parameters of the brake system of freight cars that meet the specified requirements for braking efficiency, and greatly facilitates the calculation studies.

Keywords: *actual coefficient, braking distance, speed, axial load, power dependence, coefficients, gear ratio.*

УДК 004.92

*Марія Удалова,
(магістрант, Державний університет інфраструктури та технологій)
Олена Шикла, д.ф.-м.н.
(завідувач кафедри інформаційних технологій, Державний університет
інфраструктури та технологій)*

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ ІЗ ЗАРЯДНОЮ СТАНЦІЄЮ НА ОСНОВІ РЕАЛІЗАЦІЇ OPEN CHARGE POINT PROTOCOL

Досліджено документацію OCPP-протоколу версії 1.6, зроблено порівняльний аналіз реалізації цього протоколу за допомогою SOAP та JSON. На основі Windows Forms створено та протестовано застосунок, в якому реалізоване моделювання взаємодії електромобіля із зарядною станцією на основі часткової реалізації Open Charge Point Protocol на мові програмування C# з використанням JSON-формату та WebSocket.

Ключові слова: *електромобіль, електрозаправка, Open Charge Point Protocol, C#, JSON-формат, WebSocket.*

Вступ. У наш час електромобілі стають все більш популярними, до того ж не тільки як особистий засіб пересування, а як і альтернатива громадському та обслуговуючому транспорту. Так, наприклад, компанія Volvo Trucks нещодавно представила свою другу електровантажівку FE Electric, яку пропонується використовувати як сміттєвоз. Взагалі, електромобілі є дуже перспективним сегментом ринку. Активне зростання їх кількості у багатьох країнах обумовлене державними пільгами для екологічного транспорту, розширенням модельного ряду електромоделей, а також зниженням вартості батарей. Британською газетою «The Guardian» було опубліковано результати дослідження шведської аналітичної групи «EV-Volumes», згідно яких кількість повністю електричних і гібридних автомобілів на дорогах світу становить понад 3 млн одиниць. Кількість електромоделей в Україні також дуже швидко зростає. В лютому 2020 року українці поставили на облік 623 легкових електромоделей, що на 67% більше, ніж в лютому минулого року. Такі дані опублікував «Укравтопром».

Звісно, електромоделям будь-якого призначення необхідно заправлятися електроенергією, і тут не обійтися без електрозаправок, а заправкам – без програмного забезпечення. Тривалий час не існувало єдиного комунікаційного протоколу між різними виробниками зарядних станцій, що ускладнювало процес зарядки електротранспорту власниками, а також гальмувало як розвиток компаній-власників мереж зарядних станцій, так і загалом популяризацію електричного транспорту в світі. Отже, актуальними проблемами є стандартизація та уніфікація протоколу зарядки, взаємозв'язок між обладнанням і передачею даних для зарядних пристроїв різних виробників.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Першим кроком у вирішенні цієї проблеми є запропонований альянсом «Open Charge Alliance» протокол Open Charge Point Protocol (далі OCPP). Протокол OCPP – спеціальний стандартизований протокол, який створено для можливості віддаленого управління заправками для електромоделей. Даний протокол є ініціативою нідерландської організації «E-Laad», мета якої полягає в створенні відкритого протоколу, що дозволяє серверам усіх компаній спілкуватися з клієнтами заправок незалежно від їх виробника.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-14

З часу створення альянсу «Open Charge Alliance» протокол OCPP зазнавав постійних змін. Так, перша версія протоколу (OCPP 1.0), яка була представлена у квітні 2015, лише віддалено схожа на останні версії. У квітні 2018 року була опублікована нова версія протоколу – OCPP v2.0. Зараз даний протокол стає все більш популярним і де-факто стандартом у 50 країнах (наочним підтвердженням є те, що він був застосований до більш ніж 40000 зарядних станцій). На відміну від власних протоколів зв'язку, OCPP є відкритим протоколом і не пов'язаний з будь-якими витратами на ліцензування. Він затверджений багатьма постачальниками точок доступу та постачальниками центральних систем. Дотримання OCPP тепер стає вимогою «must-have» серед інвесторів. Але реалізація цього протоколу до теперішнього часу знаходиться в закритому доступі. Тому актуальною є реалізація даного протоколу у відкритому доступі.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є моделювання процесу заправки електромобіля шляхом часткової реалізації Open Charge Point Protocol згідно з документацією OCPP v1.6. Для досягнення поставленої мети потрібно:

- дослідити документацію OCPP-протоколу версії 1.6, оцінити переваги та недоліки реалізації кожного з двох запропонованих авторами способів;
- згідно з вимогами до функціональної частини застосунку частково реалізувати OCPP-протокол на мові C# [1];
- за допомогою графічного редактора розробити дизайн застосунку-сервера та застосунку-клієнта [2];
- за допомогою технології Windows Forms [3] реалізувати кінцевий застосунок;
- протестувати готовий застосунок.

Матеріали та методи дослідження. В ході дослідження було проведено порівняльний аналіз двох реалізацій Open Charge Point Protocol v1.6, що знаходяться у відкритому доступі, та здійснено комп'ютерне моделювання взаємодії електромобіля із зарядною станцією на основі реалізації OCPP.

Існує дві реалізації OCPP-протоколу у відкритому доступі:

- Java-OCA-OCPP від «ChargeTimeEU» з ліцензійною політикою «open source under MIT License». Її недоліками є те, що вона, по-перше, знаходиться ще у розробці, а по-друге, на даний момент є тільки бібліотекою класів (реалізація саме керуючої програми відсутня). Вона написана на мові програмування JAVA.
- OCPP client-server від NewMotion з ліцензійною політикою «open source under the GPL version 3». Дана реалізація також є тільки бібліотекою класів (реалізація саме керуючої програми відсутня). Вона написана на мові програмування Scala.

Варто зазначити, що на сайтах компаній-власників мереж електрозаправок, наприклад Siemens, можна дізнатись про використання ними власних реалізацій управління електрозаправкою без використання OCPP протоколу. Але, звісно, при такому підході електрозаправку неможливо підключити в мережу електрозаправок, що підтримують OCPP. До того ж, недоліком власних реалізацій є відсутність відкритих стандартів.

Порівняння двох можливих принципово різних шляхів реалізації протоколу. Реалізація Open Charge Point Protocol v1.6 може бути виконана одним із двох шляхів:

- SOAP [4] (з використанням HTTP, оснований на Open Charge Point Protocol v1.5);
- JSON [5] (з використанням WebSockets [6]).

Задля запобігання плутанини в повідомленні про тип реалізації автори рекомендують використовувати окремі суфікси, а саме: J (OCPP-J) та S (OCPP-S) відповідно до перших літер: JSON або SOAP.

Розглянемо більш детально обидва варіанти: технології та засоби реалізації, переваги та недоліки.

Переваги та недоліки реалізації OCPP SOAP Specification. Прийнято вважати, що однією з головних переваг SOAP [7] є його гнучкість, завдяки якій можна використовувати різні транспортні протоколи. І хоча стандартні реалізації використовують HTTP [8], однак також можливо використовувати JMS, SMTP та інші реалізації. Автори специфікації радять

використовувати саме HTTP [9], оскільки інші реалізації є більш громіздкими, а також можуть обмежувати повну реалізацію протоколу. Тому чи не єдина перевага SOAP [10] не відіграє ніякої ролі в реалізації OCPP-протоколу.

Дуже вагомим недоліком реалізації OCPP-S є відсутність постійного зв'язку з сервером, а оскільки процес зарядки електромобіля – це і транзакції оплати за послуги, і тривалість оплаченої зарядки та інші етапи, що потребують збереження станів, то реалізація OCPP-S без врахування цієї інформації може призвести до втрати довіри клієнтів.

До того ж SOAP-повідомлення є досить об'ємними. Звідси можна визначити ще два недоліки: по-перше, швидкість передачі таких повідомлень є більша, ніж у випадку передачі повідомлення-стрічки; по-друге, процес обробки інформації також є більш проблематичним, враховуючи відсутність або недосконалість відповідних бібліотек.

Загалом, ця реалізація є набагато складніша та більш громіздка ніж OCPP-J. Але, оскільки ранні версії документації протоколу OCPP були написані відповідно для реалізації з використанням SOAP, то підтримка більш ранніх версій реалізації протоколу є чи не єдиною перевагою і сенсом реалізації OCPP-S.

Переваги та недоліки реалізації OCPP JSON Specification. Всі розглянуті недоліки реалізації OCPP SOAP Specification відсутні в реалізації OCPP JSON Specification. Наприклад, за рахунок своєї лаконічності в порівнянні з XML [11], формат JSON [12] може бути більш придатним для серіалізації складних структур, і загалом процес серіалізації є більш швидким. Завдяки протоколу WebSocket [13] існує постійний зв'язок із сервером. Тобто, ми отримуємо повідомлення про розрив з'єднання в момент роз'єднання, а не як при реалізації OCPP SOAP Specification, в момент останнього повідомлення (heartbeat) без відповіді.

Отже, для моделювання взаємодії електромобіля з зарядною станцією було вибрано OCPP JSON Specification.

Розробка функціональної частини застосунку. Для моделювання взаємодії електромобіля із зарядною станцією з використанням Open Charge Point Protocol було обрано такий сценарій. Мережа зарядних станцій працює таким чином: клієнт, маючи бажання зарядити свій електромобіль, підходить до оператора, який взявши плату, може дати дозвіл на зарядку. Звісно, більшість сучасних мереж електрозаправок використовує мобільні застосунки, але оскільки мета даної роботи є моделювання, то процесами ідентифікації, оплатою картою ми вирішили знехтувати.

На рис. 1 зображено діаграму прецедентів застосунку:

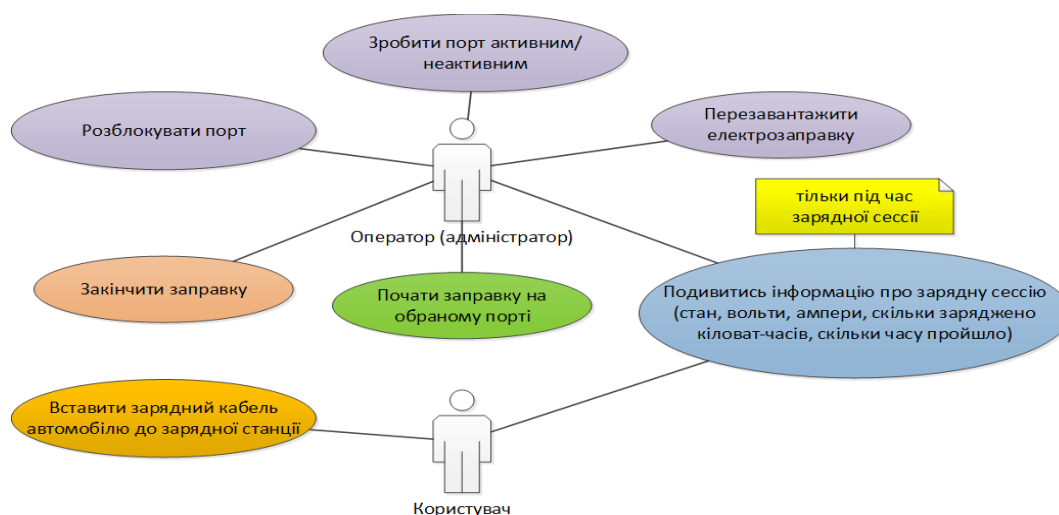


Рис. 1. Діаграма прецедентів

Визначення функціональних вимог зі сторони клієнта. На даному етапі роботи було визначено такі вимоги до функціоналу клієнта:

- 1) Намагатися підключитися до серверу з часовим інтервалом, прописаним в конфігураційному файлі.
- 2) Намагатися відновити підключення в разі розриву зв'язку (з тим же інтервалом).
- 3) Завершити сесію підключення до серверу.
- 4) Приймати та відповідати на запити таких типів:
 - RemoteStartTransaction (наказ почати заправку);
 - RemoteStopTransaction (наказ закінчити заправку);
 - ChangeAvailability (наказ зробити порт активним/неактивним);
 - UnlockConnector (наказ розблокувати порт);
 - Reset (наказ перезапустити електрозаправку).
- 5) Посилати та приймати відповіді на запити таких типів:
 - BootNotification (містить інформацію про електрозаправку);
 - MeterValues (містить інформацію про вольти та амperi поточної зарядної сесії);
 - StartTransaction (містить інформацію про те, що заправка почалася);
 - StatusNotification (містить інформацію про статус конектору);
 - StopTransaction (містить інформацію про те, що заправка закінчилася).

Визначення функціональних вимог зі сторони сервера. Аналогічно було визначено такі вимоги до функціоналу сервера:

- 1) Очікувати підключення клієнта з вказаним іменем на вказаному порті.
- 2) Завершити сесію підключення з клієнтом.
- 3) Приймати та відповідати на запити таких типів:
 - BootNotification (містить інформацію про електрозаправку);
 - MeterValues (містить інформацію про вольти та амperi поточної зарядної сесії);
 - StartTransaction (містить інформацію про те, що заправка почалася);
 - StatusNotification (містить інформацію про статус конектору);
 - StopTransaction (містить інформацію про те, що заправка закінчилася)
- 4) Посилати та приймати відповіді на запити таких типів:
 - RemoteStartTransaction (наказ почати заправку).
 - RemoteStopTransaction (наказ закінчити заправку).
 - ChangeAvailability (наказ зробити порт активним/неактивним).
 - UnlockConnector (наказ розблокувати порт).
 - Reset (наказ перезапустити електрозаправку).

Інструментальні засоби розробки програмного продукту. Для реалізації функціональної частини було обрано мову програмування C# [14], а також технології Windows Forms [15] та середовище розробки Visual Studio.

Базовим протоколом нижчого рівня є WebSocket [16] з використанням JSON-файлів.

Згідно з документацією OCPP повідомлення діляться на 3 типи (таблиця 1):

Таблиця 1. Типи повідомлень

Message Type	Message Type Number	Direction
CALL	2	Client-to-Server
CALLRESULT	3	Server-to- Client
CALLERROR	4	Server-to- Client

- 1) Повідомлення типа CALL має наступну структуру: [<MessageTypeId>, "<UniqueId>", "<Action>", {<Payload>}]
 - MessageTypeId – число яке вказує тип повідомлення;
 - UniqueId – це унікальний ідентифікатор, який буде використовуватися для перевірки відповідності запиту та відповіді на запит;
 - Action – чутливий до регістру рядок, назва дистанційної процедури або дії;
 - Payload – об'єкт JSON, який містить аргументи, що відносяться до дії.
- 2) Повідомлення типа CALLRESULT має наступну структуру: [<MessageTypeId>, "<UniqueId>", {<Payload>}]
 - MessageTypeId – теж що і в CALL;
 - UniqueId – це має бути точно той самий ідентифікатор, який знаходиться в запиті на виклик, щоб одержувач міг відповідати саме на цей запит;
 - Payload - теж що і в CALL;
- 3) Повідомлення типа CALLERROR має наступну структуру: [<MessageTypeId>, "<UniqueId>", "<errorCode>", "<errorDescription>", {<errorDetails>}]
 - MessageTypeId – теж що і в CALL;
 - UniqueId – теж що і в CALLRESULT;
 - ErrorCode – це поле повинно містити рядок із таблиці "ErrorCode".
 - ErrorDescription – потрібно заповнити, якщо це можливо, інакше – чистий порожній рядок;
 - ErrorDetails – об'єкт JSON описує деталі помилки невизначеним способом. Якщо немає помилок, то повинен бути заповнити порожній об'єкт "{}".

Візуалізація та моделювання процесу зарядки електромобіля. Візуальна частина роботи була зроблена з використанням технології Windows Presentation Foundation (WPF) [17] на мові програмування C# [18]. Технологія WPF [19] використовує декларативну мову розмітки XAML [20]. На рис. 2 зображено розроблений дизайн для застосунку зі сторони клієнта:

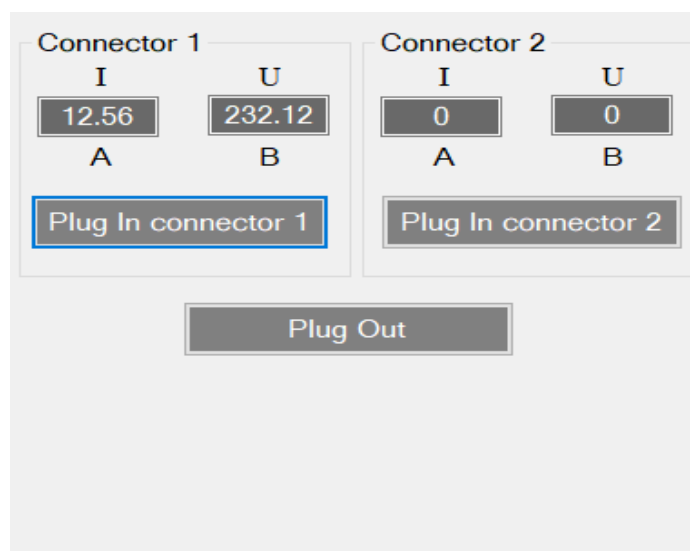


Рис. 2. Дизайн для застосунку-клієнта

На рис. 3 зображено розроблений дизайн для застосунку зі сторони сервера:

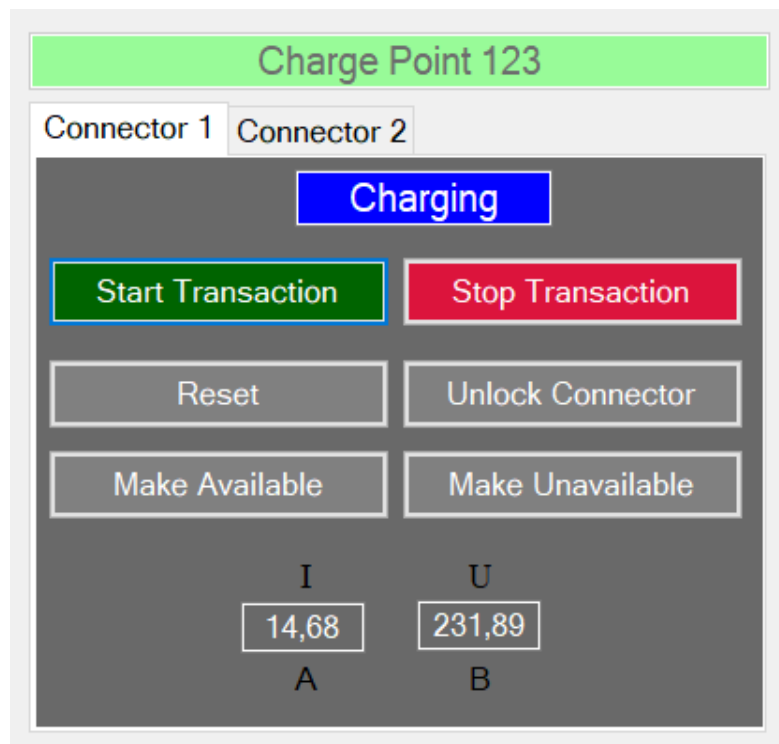


Рис. 3. Дизайн для застосунку-клієнта

За допомогою графічного редактору Adobe Photoshop було розроблено анімації з кадрів (приклади кадрів на рис. 4):



Рис. 4. Приклад кадра для створення анімації

При запуску застосунків сервера та клієнта клієнт автоматично підключається до серверу і після вдалого підключення посилає інформацію про електрозаправку та поточні статуси конекторів. При запуску анімації можна побачити, як машина під'їжджає до електрозаправки, статуси портів відображаються на клієнті та сервері (див. рис. 5).

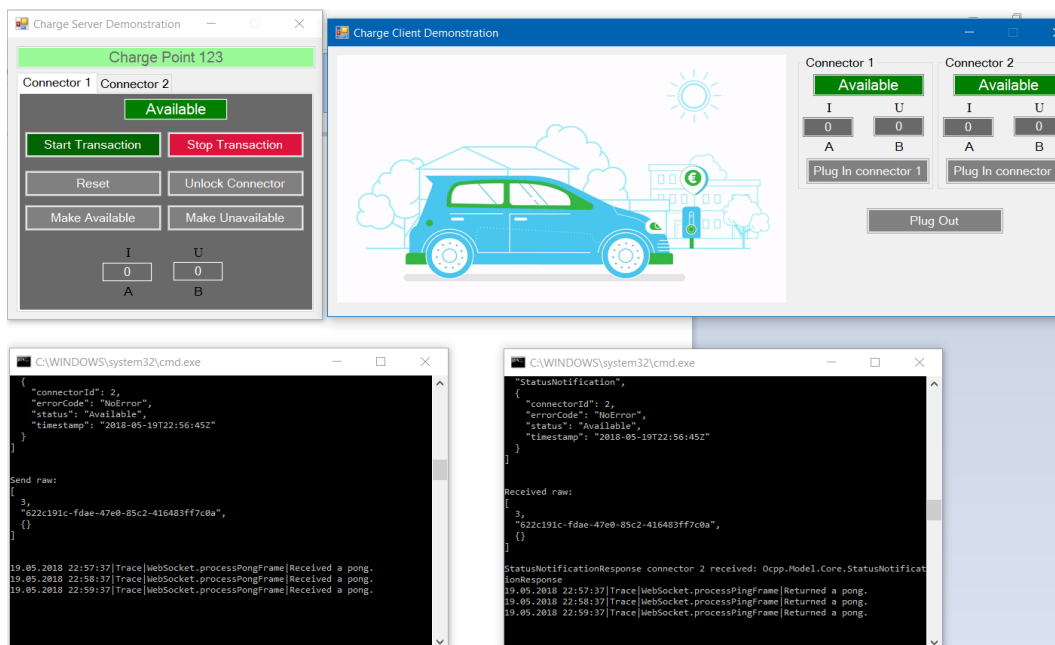


Рис. 5. Демонстрація сценарію застосунку

При натисканні кнопки Start Transaction на сервері на першому або другому конекторі сервер посилає клієнтові StartTransactionRequest, клієнт погоджується почати заправку та посилає статус порта Preparing – очікування вставки кабелю, статус відображається на клієнті та сервері (див. рис. 6).

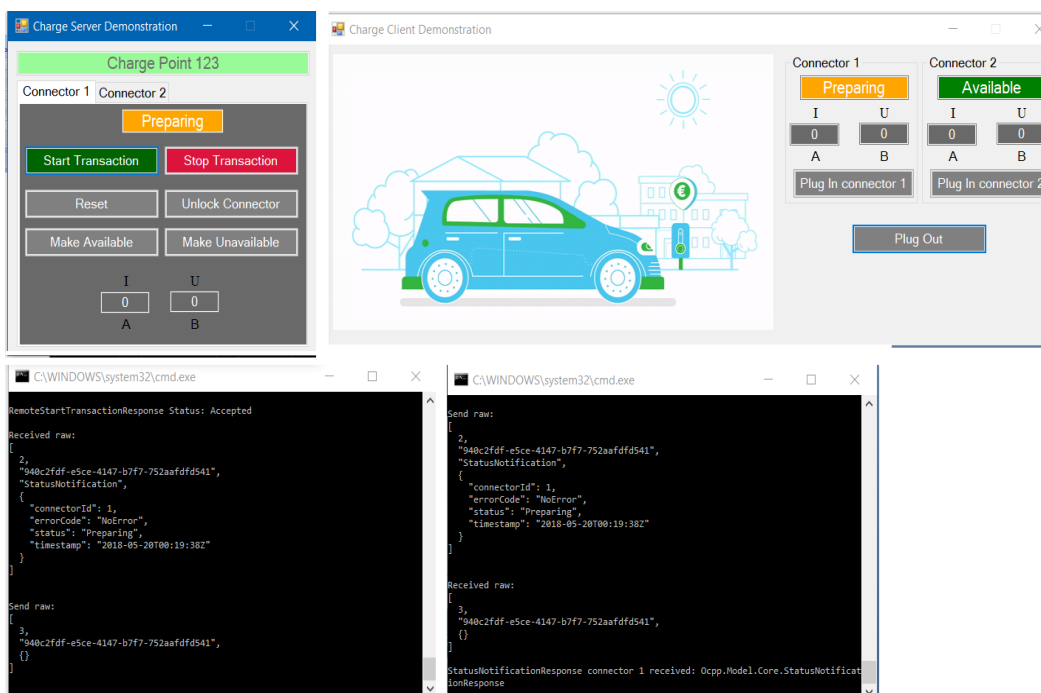


Рис. 6. Демонстрація сценарію застосунку

При натисканні кнопки «Plug In connector 1» починається процес заправки – клієнт посилає статус Charging та починає слати інформацію про вольти та ампері процесу заправки (MeterValues). Ця інформація відображається на клієнті та сервері (див. рис. 7).

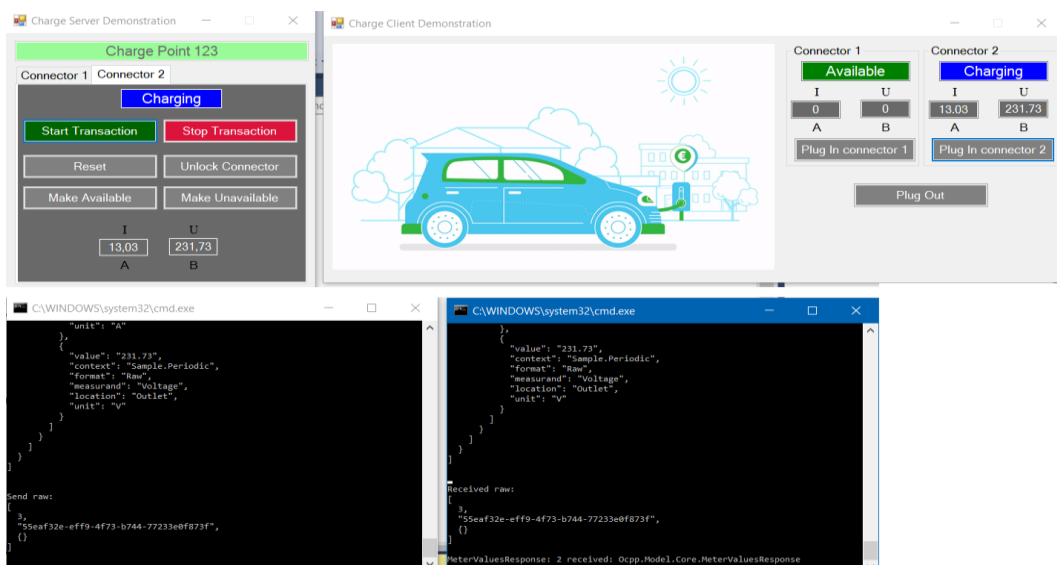


Рис. 7. Демонстрація сценарію застосунку

При натисканні кнопки Make Unavailable сервер посилає запит ChangeAvailability з параметром Inoperative, і якщо в цей момент на цьому конекторі не відбувається зарядка, то клієнт погоджується і робить конектор неактивним, в іншому разі запит ставиться до черги та конектор стає неактивним після кінця зарядної сесії (див. рис. 8).

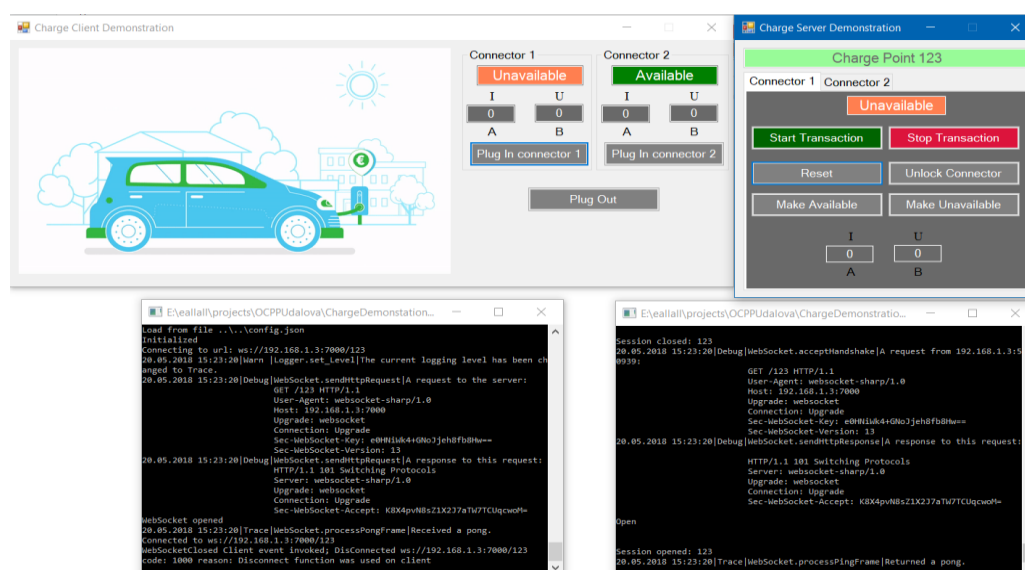


Рис. 8. Демонстрація сценарію застосунку

Після об'єднання функціональної та візуальної частини, було отримано працездатний застосунок, який демонструє моделювання взаємодії електромобіля із зарядною станцією. При розробці було враховано багато сценаріїв використання: зарядка електромобіля в позитивному сценарії (робочий сервер, доступний порт); обробка таких негативних сценаріїв використання, як неробочий сервер, або клієнт намагається почати зарядку на недоступному порті, або намагається відключитись в процесі незакінченої зарядки тощо. Готовий працездатний застосунок може бути використаний для наочної демонстрації роботи протоколу, а також для зарядки електромобіля від зарядної станції.

Висновки. В роботі досліджено документацію OCPP-протоколу версії 1.6, зроблено порівняльний аналіз реалізації цього протоколу за допомогою SOAP та JSON. З використанням Windows Forms створено та протестовано застосунок, в якому реалізоване моделювання взаємодії електромобіля з зарядною станцією на основі часткової реалізації Open Charge Point Protocol на мові програмування C# з використанням JSON-формату та WebSocket. Готовий працездатний застосунок може бути використаний для наочної демонстрації роботи протоколу, а також для зарядки електромобіля від зарядної станції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Turner R. C#: 3 books in 1 - The Ultimate Beginners, Intermediate and Expert Guide to Master C# Programming. Nelly B.L. International Consulting Ltd, 2020. 636 p.
2. Jin B. Designing Web APIs: Building APIs That Developers Love. O'Reilly Media, 2018. 232 p.
3. Feldman A. WPF in Action with Visual Studio 2008: Covers Visual Studio 2008, SP1 and .NET 3.5 SP1. Manning Publications, 2008. 650 p.
4. Snell J., Tidwell D., Kulchenko P. Programming Web Services with SOAP. O'Reilly & Associates, Inc, USA, 2001. 244 p.
5. Smith B. Beginning JSON. Apress, 2015. 326 p.
6. Lombardi A. WebSocket: Lightweight Client-Server Communications. O'Reilly Media, 2015. 144 p.
7. Nandan P. Mastering SoapUI. Packt Publishing, 2016. 240 p.
8. Allen K. What Every Web Developer Should Know About HTTP. OdeToCode LLC, 2012. 80 p.
9. Gourley D. Http: The Definitive Guide (Definitive Guides). O'Reilly Media, 2002. 656 p.
10. Newcomer E. Understanding Web Services: XML, WSDL, SOAP, and UDDI. AddisonWesley Professional, 2002. 368 p.
11. Ramchand V., Mukhi S. XML Web Services & Soap By Vikram Ramchand and Sonal Mukhi. BPB publications, 2002. 416 p.
12. Marrs T. Json at work. O'Reilly Media, Inc, USA, 2017. 376 p.
13. Blokdyk G. 5STARCooks. WebSocket Second Edition., 2018. 280 p.
14. Tudor S. C# Programming: The Practical Beginner's Guide To Learn C# Programming In One Day Step-By-Step, Amazon Digital Services LLC, 2019. 119 p.
15. Noyes B. Data Binding with Windows Forms 2.0: Programming Smart Client Data Applications with .NET (Microsoft Windows Development Series). Addison-Wesley Professional, 2006. 736 p.
16. Cadenhead T. Socket.IO Cookbook. Packt Publishing, 2015. 184 p.
17. Nathan A. WPF 4.5 Unleashed. Sams Publishing, 2013. 864 p.
18. Griffiths I. Programming C# 8.0: Build Cloud, Web, and Desktop Applications. O'Reilly Media, 2019. 802 p.
19. Sells C., Griffiths J. Programming WPF: Building Windows UI with Windows Presentation Foundation. O'Reilly Media, 2007. 874 p.
20. Nathan A. XAML Unleashed. Sams Publishing, 2014. 512 p.

REFERENCES

1. Ryan Turner. (2020). *C#: 3 books in 1 The Ultimate Beginners, Intermediate and Expert Guide to Master C# Programming*. Nelly B.L. International Consulting Ltd, 636. (in English).
2. Brenda Jin. (2018). *Designing Web APIs: Building APIs That Developers Love*. O'Reilly Media, 232. (in English).
3. Arlen Feldman. (2008). *WPF in Action with Visual Studio 2008: Covers Visual Studio 2008, SP1 and .NET 3.5 SP1*. Manning Publications, 650. (in English).
4. James Snell, Doug Tidwell, Pavel Kulchenko. (2001). *Programming Web Services with SOAP*. O'Reilly & Associates, Inc, USA, 244. (in English).
5. Ben Smith. (2015). *Beginning JSON*. Apress, 326. (in English).
6. Andrew Lombardi. (2015). *WebSocket: Lightweight Client-Server Communications*. O'Reilly Media, 144. (in English).

7. Pranai Nandan. (2016). *Mastering SoapUI*. Packt Publishing, 240. (in English).
8. K. Scott Allen. (2012). *What Every Web Developer Should Know About HTTP*. OdeToCode LLC, 80. (in English).
9. David Gourley. (2002). *Http: The Definitive Guide (Definitive Guides)*. O'Reilly Media, 656. (in English).
10. Eric Newcomer. (2002). *Understanding Web Services: XML, WSDL, SOAP, and UDDI*. AddisonWesley Professional, 368. (in English).
11. Vikram Ramchand & Sonal Mukhi. (2002). *XML Web Services & Soap By Vikram Ramchand and Sonal Mukhi*. BPB publications, 416. (in English).
12. Tom Marrs. (2017). *Json at work*. O'Reilly Media, Inc, USA. 376 p. (in English).
13. Gerardus Blokdyk. (2018). *5STARCooks. WebSocket Second Edition*, 280. (in English).
14. Steve Tudor. (2019). *C# Programming: The Practical Beginner's Guide To Learn C# Programming In One Day Step-By-Step*. Amazon Digital Services LLC, 119. (in English).
15. Brian Noyes. (2006). *Data Binding with Windows Forms 2.0: Programming Smart Client Data Applications with .NET (Microsoft Windows Development Series)*. Addison-Wesley Professional, 736. (in English).
16. Tyson Cadenhead. (2015). *Socket.IO Cookbook*. Packt Publishing, 184. (in English).
17. Adam Nathan. (2013). *WPF 4.5 Unleashed*. Sams Publishing, 864.
18. Ian Griffiths. (2019). *Programming C# 8.0: Build Cloud, Web, and Desktop Applications*. O'Reilly Media, 802. (in English).
19. Chris Sells & Ian Griffiths. (2007). *Programming WPF: Building Windows UI with Windows Presentation Foundation*. O'Reilly Media. 874. (in English).
20. Adam Nathan. (2014). *XAML Unleashed*. Sams Publishing, 512. (in English).

Мария Удалова,
(магистрант, Государственный университет инфраструктуры и технологий)
Елена Шикла, д.ф.-м.н.
(заведующая кафедрой информационных технологий, Государственный университет инфраструктуры и технологий)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ С ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИЕЙ НА ОСНОВЕ РЕАЛИЗАЦИИ OPEN CHARGE POINT PROTOCOL

Исследована документация OCPP-протокола версии 1.6, сделан сравнительный анализ реализации этого протокола с помощью SOAP и JSON. На основе Windows Forms создано и протестировано приложение, в котором реализовано моделирование взаимодействия электромобиля с зарядной станцией на основе частичной реализации Open Charge Point Protocol на языке программирования C # с использованием JSON-формата и WebSocket.

Ключевые слова: электромобиль, электрозаправки, Open Charge Point Protocol, C #, JSON-формат, WebSocket.

Mariia Udalovala,
(Magistrant, Department of Informatical technologies, State University of Infrastructure and Technologies)
Elena Shikula, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
(Department of Informatical technologies, State University of Infrastructure and Technologies)

THE SIMULATION OF INTERCONNECTION OF THE VEHICLE MODEL AND THE CHARGING STATION ON THE BASIS OF REALIZATION OPEN CHARGE POINT PROTOCOL

Documentation of the OCPP protocol version 1.6 was investigated. A comparative analysis of the implementation of this protocol using SOAP and JSON was carried out. It showed that it is advisable to select OCPP JSON Specification to model the interaction of an electric vehicle with a charging station.

Functional requirements for client-side and server-side software was identified. The Precedence Diagram was constructed. The C# programming language, Windows Forms technology and the Visual

Studio integrated development environment were chosen to implement the functional part. The basic protocol is Websocket using JSON files.

WPF technology uses a declarative XAML markup language. With these tools, an application design was created on both client and server sides. Frame animation was developed in the Adobe Photoshop graphics editor.

After combining the functional and visual parts, a workable application of the simulation of the interaction of the electric vehicle with the charging station was obtained. Many development scenarios were considered during the development: charging the electric vehicle in a positive scenario (working server, available port), processing such negative usage scenarios as a non-working server, or trying to start charging on an inaccessible port, or trying to disconnect in the unfinished charging process, etc. Ready-to-use application can be used to demonstrate the protocol and the charging process of an electric vehicle from a charging station.

Keywords: *electric car, charging station, Open Charge Point Protocol, C #, JSON format, WebSocket.*

УДК 681.518.5

*Ігор Валентинович Худяков,
(ст. викладач, Херсонська державна морська академія)
Роман Вікторович Симоненко, к.т.н.
(доцент, Національний транспортний університет)
Ігор Валерійович Грицук, д.т.н.,
(професор, Херсонська державна морська академія)
Василь Петрович Матейчик, д.т.н.
(професор, Національний транспортний університет) Володимир Петрович
Волков, д.т.н.
(професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет)
Тетяна Петрівна Білоусова, к.т.н.
(доцент, Херсонський національний технічний університет)
Микита Віталійович Володарець, к.т.н.,
(ст. викладач, Український державний університет залізничного транспорту)*

ОСОБЛИВОСТІ ДИСТАНЦІЙНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РЕЖИМІВ ПРАЦІ ТА ВІДПОЧИНКУ ВОДІЯ В СИСТЕМІ ІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

В статті розробляються сучасні методи і заходи, що дозволяють здійснювати дистанційний контроль режиму праці та відпочинку водія в системі інформаційного моніторингу технічного стану ТЗ. Виконано аналіз особливостей дистанційного визначення режимів праці та відпочинку водія в системі інформаційного моніторингу транспортних засобів в Україні. Розроблена структурно-логічна схема вирішення проблеми визначення технічного стану транспортних засобів і режиму праці та відпочинку водіїв в системі інформаційного моніторингу транспортних засобів.

Ключові слова: інформаційні системи моніторингу, транспортний засіб, режим праці та відпочинку водія.

Вступ. Сучасний стан розвитку інформаційно-комунікаційних технологій моніторингу руху транспортних засобів (ТЗ) дозволяє в умовах експлуатації забезпечувати розв'язання задач інформатизації робочих процесів завдяки стрімкому розвитку як інформаційних ресурсів, так і засобів комунікацій та інформаційних можливостей самих транспортних засобів [1, 2]. В основу інформаційних задач експлуатації транспорту покладена практична реалізація синергетичного об'єднання комп'ютерних ресурсів усіх учасників дорожнього руху в єдиному інформаційному просторі глобальної мережі Internet – від окремого транспортного засобу до корпоративного рівня транспортної організації.

Аналіз останніх досліджень. Більшість відомих систем моніторингу ТЗ, мають розвинений інтерфейс і дозволяють працювати з досить великими й складними мережами зв'язку і великими об'ємами даних [2 – 5]. Так, система моніторингу машин Caterpillar у своїй роботі використовує пристрої Product Link, що забезпечують двосторонній обмін інформацією між вбудованими системами спеціальної дорожньої техніки (СДТ) або ТЗ і комп'ютером власника СДТ через інтернет-портал Dealer Storefront [6, 7].

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-15

Відомо, що з 2006 р. використовується проект мобільної й спільної діяльності європейських мереж надзвичайної допомоги ТЗ – інтегрована система Mucarevent (ЄС) [6, 8]. Проект спрямований на розвиток конкуренції в сфері автосервісу й виходить із припущення, що бортова діагностична система OBD не завжди точно визначає можливі причини відмов автомобіля й тому потрібна додаткова інформація, у тому числі консультації експертів. Інтегрована система MRLN (США) [6, 9] використовується для військових транспортних засобів, наприклад, система дистанційної мережевої логістики експлуатації MRLN випробовувалася в 2005 р. у реальних умовах експлуатації для колісних транспортерів Stryker сухопутних військ США. MRLN дозволяє використовувати можливості інтерактивних електронних технічних засобів IETM (Interactive Electronic Technical Manuals) і електронної експлуатаційної системи EMS (Electronic Maintenance System), що прийняті і використовуються в збройних силах США.

В Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті (ХНАДУ) розроблена загальна експлуатаційна класифікація умов роботи ТЗ [2, 3], що базується на офіційних регламентуючих документах. Для її реалізації спільно з фахівцями Херсонської державної морської академії (ХДМА) і Національного транспортного університету (НТУ) розроблений ІПК «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»» для здійснення ідентифікації, моніторингу параметрів технічного стану, діагностування, ідентифікації умов експлуатації транспортних засобів в умовах ITS [4].

Компанія-виробник Mobileye [10] надає апаратно-програмний комплекс допомоги водієві, за допомогою використання даних з відеокамери і бортового комп'ютера (датчик швидкості, сигнали повороту, датчик гальма тощо). Відомі також компанії Bosch Mobility Solutions [11] і TRW Automotive [12], що розробляють рішення для підвищення безпеки пасажирів та інших учасників дорожнього руху у швидко зростаючому сегменті сучасних систем допомоги водієві.

В частині комплексного контролю експлуатації ТЗ основним недоліком перелічених систем і програм є відсутність можливості забезпечення одночасної оцінки дотримання режиму праці та відпочинку водія (РПВВ), фізичного стану водія, неможливості забезпечення взаємозв'язку між витратою палива ТЗ, параметрами технічного стану ТЗ та РПВВ, обмеженість функціональних можливостей складових компонентів, неможливості раціонального управління експлуатацією ТЗ з дистанційним урахуванням дорожніх і експлуатаційних умов в оперативному режимі [13] тощо. Для цього потрібна розробка теоретичного підґрунтя і дослідження існуючих засобів моніторингу експлуатації транспортних засобів в частині їх практичного застосування.

Постановка задачі. Розробка теоретичних засад, сучасних методів та заходів дозволить забезпечити підґрунтя для розробки системи для здійснення дистанційної ідентифікації і контролю РПВВ в системі інформаційного моніторингу технічного стану ТЗ. Для цього потрібно виконати теоретичний аналіз і експериментальне дослідження можливостей систем моніторингу сучасних вантажних ТЗ в Україні. Формування структурної схеми проведення системного дослідження та формування інформаційної системи дозволить одночасно ураховувати умови експлуатації, особливості конструкції й оснащення ТЗ, режими їх експлуатації, РПВВ, фізичного стану водія та забезпечення їх системної взаємодії в умовах експлуатації.

Основний матеріал. Одним із можливих перспективних варіантів систем моніторингу ТЗ в умовах експлуатації є використання, розробленої ХДМА спільно з НТУ і ХНАДУ інформаційної моделі ІПК управління безпекою і працездатністю ТЗ («Motor Vehicle Safety and Performance Management» (в подальшому - MVSPM)) [13]. Система має особливість, що полягає в одночасному моніторингу безпосередньо параметрів ТЗ, забезпечує дистанційну перевірку РПВВ, фізичний стан водія, екологічні показники ТЗ, порушення швидкісного режиму, тощо сучасним ІПК у процесі визначення параметрів технічного стану ТЗ засобами ITS.

Для виконання аналізу можливостей систем моніторингу сучасних вантажних ТЗ в Україні на основі ТЗ Mercedes-Benz Actros 1841LS, реєстраційний номер AA5113TA, під час рейсу за маршрутом Амстердам (Нідерланди) – Нижньопотів (Україна) був експериментально проведений моніторинг параметрів технічного стану ТЗ і РПВВ. На протязі руху ТЗ на відстані 3027,66 км проводилась фіксація основних експлуатаційних параметрів ТЗ та РПВВ існуючими в Україні методами і засобами спостереження в реальному часі.

Основні результати моніторингу ТЗ Mercedes-Benz Actros 1841LS подані в табл. 1 і на рис. 1.

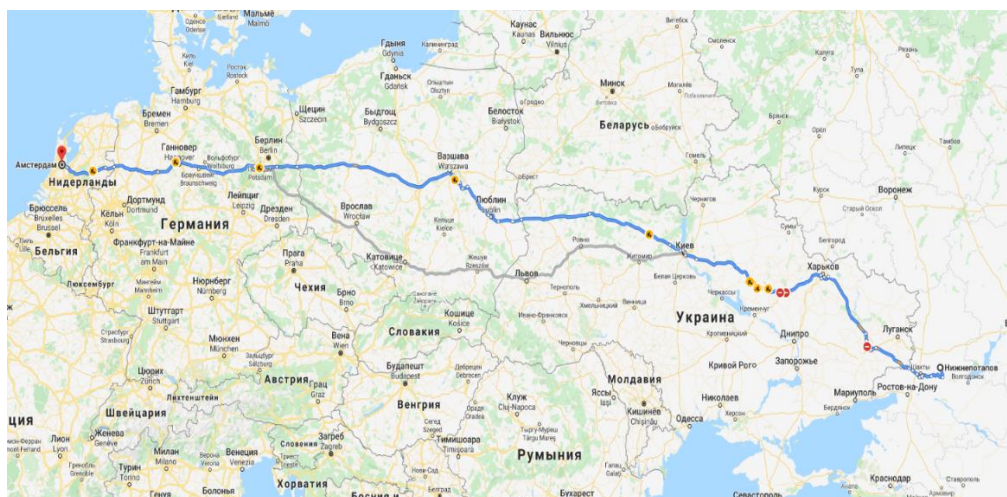


Рис. 1. Трекінг ТЗ на мапі спостереження час рейсу ТЗ за маршрутом Амстердам (Нідерланди) – Нижнєпотапів (Україна)

Таблиця 1. Моніторинг основних параметрів експлуатації ТЗ час рейсу за маршрутом Амстердам (Нідерланди) – Нижнєпотапів (Україна)

Дата	Тривалість водіння	Тривалість відпочинку	Пробіг	Рівень палива, початок	Рівень палива, кінець	Різниця	Середня швидкість	Середня витрата палива
	годин	годин	км	літр	літр	літр	км/год	літр/100 км
10.12.19	0:03:00	23:57:00	0,540	897,00	1150,00	253,00		
11.12.19	11:09:00	12:51:00	721,350				65,01	29,4
12.12.19	8:10:00	15:50:00	567,880				70,1	29
13.12.19	3:39:00	20:21:00	255,890				75,48	28
14.12.19	0:00:00	23:59:59	0,000					
15.12.19	0:00:00	23:59:59	0,000					
16.12.19	0:11:00	23:49:00	4,940					
17.12.19	0:18:00	23:42:00	1,190					
18.12.19	7:55:00	16:05:00	541,560				71,72	28,6
19.12.19	15:20:00	8:40:00	911,485				59,96	31
20.12.19	0:10:00	23:50:00	6,105					
21.12.19	0:22:00	23:38:00	4,285					
22.12.19	0:15:00	23:45:00	7,300					
23.12.19	0:21:00	23:39:00	5,135	504,00	1150,00	646,00		
РАЗОМ:	47:53:00	288:07:00	3027,660			899,00	66,7	29,9

Реєстрація витрати палива проводилась додатковими технічними засобами, встановленими на ТЗ. Крім того проводилась реєстрація РПВВ вказаного ТЗ в умовах експлуатації. На рис. 2

показані основні результати моніторингу параметрів витрати палива і РПВВ під час дослідного спостереження.

В результаті проведеного теоретичного аналізу та отриманих результатів моніторингу параметрів технічного стану ТЗ [14], в частині витрати палива, швидкості та РПВВ, можливо впевнено говорити, що:

параметрам технічного стану ТЗ, окрім витрати палива і швидкості, в практиці експлуатації вантажних ТЗ в Україні, приділяють недостатньо уваги;

в автоматичному режимі, одночасно з параметрами технічного стану ТЗ не проводиться реєстрація РПВВ в реальному часі експлуатації ТЗ. Це робиться тільки після закінчення рейсу. Тобто спостерігати за зміною параметрів ТЗ при наявності точної інформації про РПВВ ТЗ неможливо;

у результаті моніторингу параметрів стану ТЗ параметри витрати палива мають зв'язок тільки із середньою швидкістю ТЗ, але виводяться на реєстрацію вони у вигляді середніх значень витрати палива, що на сьогоднішній час не достатньо. До інших параметрів стану ТЗ доступу власники ТЗ не мають. Моніторинг параметрів ТЗ здійснюється в недостатньому обсязі. Реєстрація параметрів РПВВ відбувається за допомогою приладів в кабіні ТЗ без можливості дистанційного моніторингу.

Таким чином, існуючі в Україні системи дистанційного моніторингу параметрів стану ТЗ і РПВВ на сьогоднішній день, не забезпечують можливості отримати системну інформацію в достатньому обсязі про зміну параметрів стану ТЗ відповідно до змін РПВВ, кваліфікації і досвіду водіїв.

Для вирішення вказаної задачі авторами пропонується провести дослідження, яке ставить за мету встановлення і розробку системних методів і засобів, дозволяючих проводити дистанційний моніторинг технічного стану вантажного ТЗ (автобуса) і РПВВ водіїв, з урахуванням умов їх експлуатації. На рис. 3 показана розроблена авторами структурно-логічна схема системного вирішення проблеми визначення технічного стану вантажного ТЗ (автобуса) і РПВВ водіїв засобами інформаційного моніторингу ТЗ. Система моніторингу охоплює основні задачі дослідження у частині формування інформаційної моделі РПВВ, технічного стану ТЗ, умов експлуатації ТЗ і можливості здійснення дистанційного оцінювання зміни РПВВ в залежності від стану ТЗ з урахуванням умов експлуатації.

Дослідження пропонується проводити в декілька етапів. На першому етапі проводиться аналіз стану проблеми, постановка мети і задач дослідження, на другому – розробка сучасних методів і засобів, що дозволяють здійснювати дистанційний контроль технічного стану і режимів роботи вантажного ТЗ (автобуса) і РПВВ з урахуванням умов експлуатації. На третьому та четвертому етапах планується обґрунтувати методику, механізми та засоби реалізації формування системи моніторингу ТЗ і РПВВ, а саме: обґрунтування вибору методики формування інформаційної моделі моніторингу технічного стану вантажного ТЗ (автобуса) в умовах експлуатації, яка буде складатися з розробки БІНК і розробки моделей баз даних інформаційної системи моніторингу технічного стану ТЗ; обґрунтування вибору методики формування інформаційної моделі моніторингу контролю РПВВ в умовах експлуатації. Обґрунтування вибору методики формування інформаційної моделі моніторингу умов експлуатації вантажного ТЗ (автобуса) в умовах експлуатації описано в [15]. На п'ятому етапі планується проведення теоретико-експериментальних досліджень в частині оцінювання контролю технічного стану ТЗ і РПВВ в умовах експлуатації, а також перевірка адекватності результатів. На заключному, шостому етапі, на основі теоретико-експериментальних досліджень елементів (складових) і підсистем інформаційної системи моніторингу і перевірки адекватності складових методики моніторингу проводимо встановлення залежностей показників технічного стану ТЗ і РПВВ з можливістю прогнозування і коректування основних експлуатаційних показників, розробку рекомендацій в частині організації контролю стану ТЗ і РПВВ, а також впровадження і оцінка результатів [16 – 18].

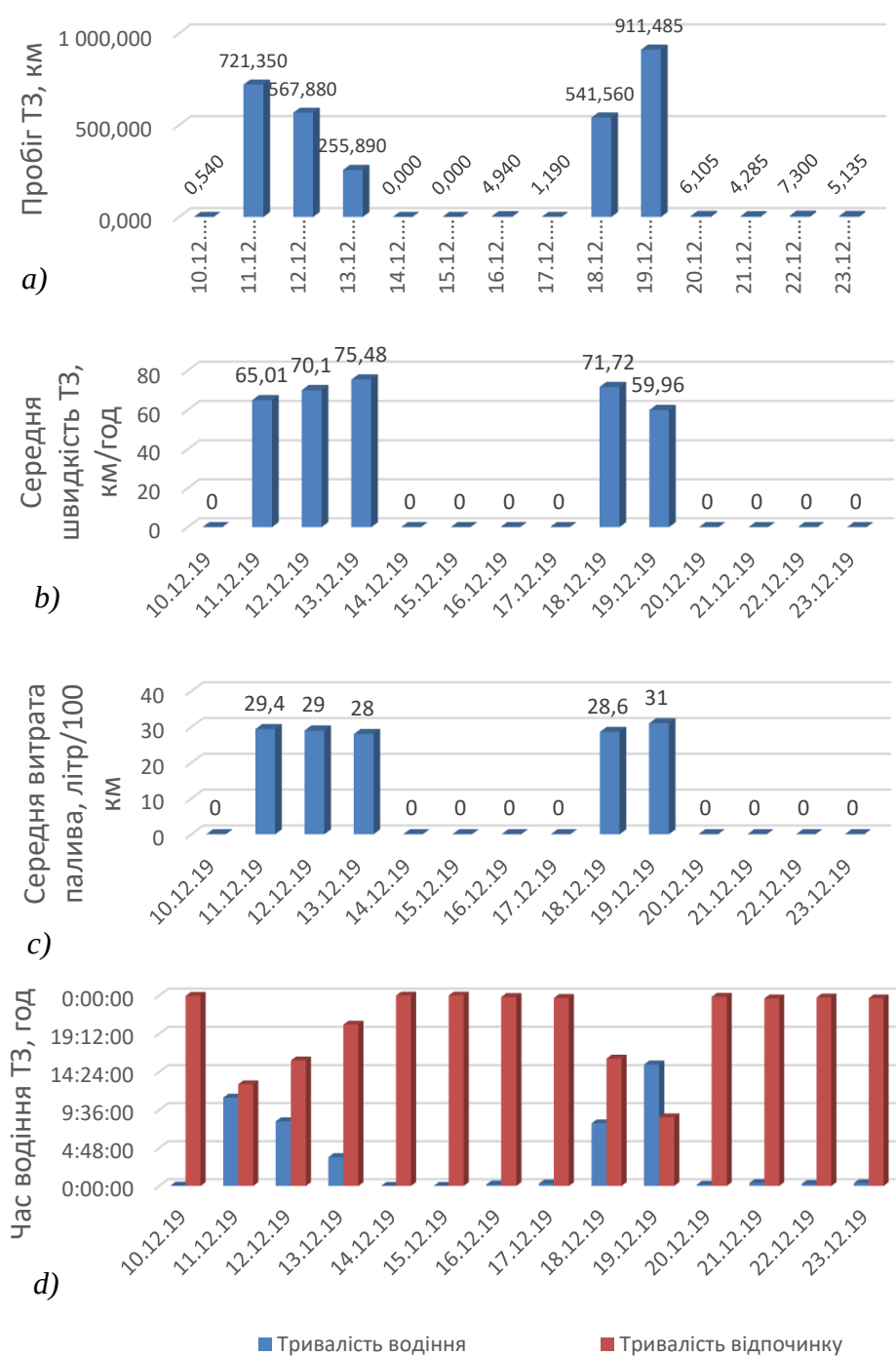


Рис. 2. Моніторинг основних параметрів експлуатації ТЗ

a) результати реєстрації пробігу ТЗ під час спостереження, b) середня швидкість, c) середня витрата палива, d) результати реєстрації основних режимів праці та відпочинку водія за період спостереження

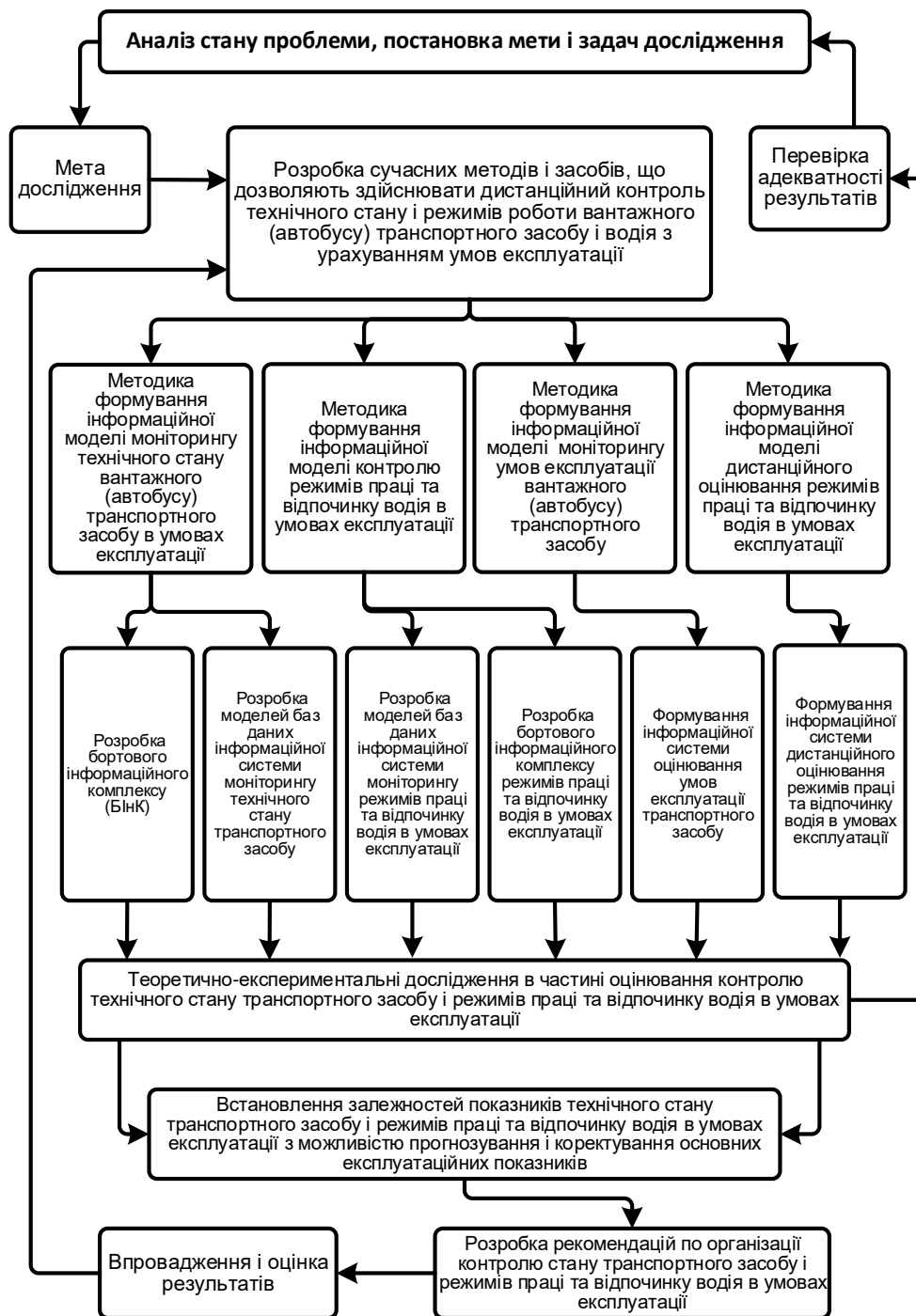


Рис. 3. Структурно-логічна схема вирішення проблеми системного забезпечення дистанційного інформаційного моніторингу технічного стану вантажного ТЗ (автобуса) і РПВВ засобами ITS

Після проведення, показаних на рис. 3, дій отримуємо можливість з мінімальними затратами часу та сил, з використанням накопиченого досвіду розробників, дистанційно оцінювати параметри стану вантажного ТЗ (автобуса) і РПВВ. Отримані результати нададуть можливість роботи і системної взаємодії служб планування, технічного обліку, експлуатації і, одночасно, можливість коректування диспетчерською службою наявного людського і технічного

потенціалу для отримання найбільш оптимальних режимів роботи ТЗ в напрямку витрати палива, швидкості руху ТЗ і стану та кваліфікації водіїв в умовах експлуатації.

При проведенні дослідження, на кожному етапі формування і визначення показників ефективності інформаційної системи моніторингу ТЗ, виконується вибір раціонального рішення для кожної з вказаних вище підсистем. Визначальними параметрами при цьому є ефективність роботи ТЗ, енергетичні, економічні і екологічні показники, безпека експлуатації ТЗ. Ефективність забезпечує виконання основної задачі розробки і встановлення інформаційної системи моніторингу ТЗ [16 – 18], характеризується певним співвідношенням між сумарним ефектом, що отримується від використання інформаційної системи моніторингу ТЗ та сумарними витратами на створення і використання засобів інформаційної системи моніторингу ТЗ, тобто вплив прийнятого дистанційного рішення на часові, енергетичні, економічні та екологічні показники роботи ТЗ в цілому [15].

Висновки. Виконаний аналіз особливостей дистанційного визначення режимів праці та відпочинку водія в системі інформаційного моніторингу транспортних засобів в Україні показав, що параметрам технічного стану ТЗ, окрім витрати палива і швидкості, в практиці експлуатації вантажних ТЗ в Україні, приділяється недостатньо уваги, а також, в автоматичному режимі, одночасно з параметрами технічного стану ТЗ не проводиться реєстрація РПВВ в реальному часі експлуатації ТЗ (тільки після закінчення рейсу), тобто спостерігати за зміною параметрів ТЗ при наявності точної інформації про РПВВ неможливо. Для формування теоретичного підґрунтя в частині дистанційної ідентифікації режимів праці та відпочинку водія в умовах експлуатації розроблена структурно-логічна схема вирішення проблеми визначення технічного стану ТЗ і РПВВ в системі інформаційного моніторингу ТЗ шляхом забезпечення одночасного урахування умов експлуатації, особливостей конструкції й оснащення ТЗ, режимів їх експлуатації, РПВВ і фізичного стану водія та забезпечення їх системної взаємодії в умовах експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волков В.П., Матейчик В.П., Комов П.Б., Комов О.Б., Грицук І.В. Організація технічної експлуатації автомобілів в умовах формування інтелектуальних транспортних систем // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. Х. : НТУ «ХПІ». 2013. № 29 (1002). С.138-144.
2. Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Шурко Г. К., Волков Ю.В. Особливості формування методики застосування класифікації умов експлуатації транспортних засобів в інформаційних умовах ITS // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Транспортне машинобудування. Х. : НТУ «ХПІ», 2017. № 14 (1236). С. 10 – 20.
3. Говорущенко Н.Я. Туренко А.Н. Системотехніка транспорту (на прикладі автомобільного транспорту) Харків: РІО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.
4. Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Володарець М.В. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. Монографія. Харків: Вид-во Панов А. М., 2018. 298 с.
5. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей Харків: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 2014. – 312 с.
6. Golovin S.F. (2008), "Technical service transport machinery and equipment", ["Techniceskij servis transportnich machin"], Moskva. Alfa M. INFRA - M, 2008, 288p.
7. (2014), "Remote Monitoring System / Zeppelin-Car", ["Sistema udalennogo monitoringa / Zeppelin-Car"], :http://www.zeppelin.ua/products/automatic_monitoring/ 21.02.2014.
8. (2014), "Automotive", ["SAE internationalTM"], <http://www.sae.org/automotive/> 21.02.2014.
9. Maintainer's Remote Logistics Network. MRLN Remote Diagnostics. Press Release: Ruggedized Command & Control Solutions (Division of L-3 Communications). San Diego, California. 2004. 3 p.
10. Mobileye. [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.mobile-eye.ru/> (дата звернення: 07.11.2017).
11. Bosch Mobility Solutions. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.bosch-mobility-solutions.com/en/> (дата звернення: 07.11.2017).
12. TRW Automotive. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.trw.com/> (дата звернення: 07.11.2017)
13. Худяков І.В., Симоненко Р.В., Манжелей В.С., Черненко В.В. Особливості формування та аналізу інформаційних структур системи моніторингу параметрів технічного стану транспортних засобів у взаємодії з тахографом // Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики: монографія Blatnický Miroslav, Dižo Ján, Gerlici Juraj та ін.; за наук. ред. проф. Грицука Ігоря. Херсон : ХДМА, 2019. С. 250-259.

14. Дмитриченко М.Ф., Матейчик В.П., Гришук О.К., Цюман М.П. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки: навч. посіб. К.: НТУ, 2014. С.168.
15. Волков В.П., Матейчик В.П., Никонов О.Я., и др. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем. монография под. ред. Волкова В.П. Донецк: Ноулидж, 2013. 400 с.
16. Волков В.П., Гришук І.В., Комов А.П., Волков Ю.В. Особливості моніторингу і визначення статусу несправностей транспортного засобу у складі бортового інформаційно-діагностичного комплексу // Вісник Національного транспортного університету. К.: НТУ, 2014. Випуск 30, 416 с., С. 51-62.
17. Матейчик В.П., Волков В.П., Комов П.Б., Гришук І.В., Комов А.П. Волков Ю.В. Особливості моніторингу стану транспортних засобів з використанням бортових діагностичних комплексів // Науковий журнал «Управління проектами, системний аналіз і логістика». К.: НТУ, 2014. Випуск 13, 370 с., с. 126-138.
18. Hahanov, V., Gharibi, W., Litvinova, E., Chumachenko, S. et al., "Cloud-Driven Traffic Monitoring and Control Based on Smart Virtual Infrastructure," SAE Technical Paper 2017-01-0092, 2017, <https://doi.org/10.4271/2017-01-0092>.

REFERENCES

1. Volkov V.P., Mateichik V.P., Komov P.B., Komov O.B., Gritsuk I.V. (2013). *Organizatsia texnichnoi ekspluatatsii avtomobiliv v umovax formuvannia intelektualnix transportnix system [Organization of technical operation of cars in conditions of formation of intelligent transport systems]* Visnyk Natsionalnoho texnichnogo universytetu [Bulletin of the National Technical University] № 29 (1002), p.138-144.
2. Volkov V.P., Gritsuk I.V., Gritsuk Y.V., Shurko G.K., Volkov Y.V. (2017). *Osoblivosti formuvannia metodiki zastosuvannia klasifikatsii umov ekspluatatsii transportnix zasobiv v informatcinix umovax ITS [Features of formation of methodology of application of classification of operating conditions of vehicles in ITS information conditions]* Visnyk Natsionalnoho texnichnogo universytetu [Bulletin of the National Technical University] № 14 (1236), p. 10–20.
3. Govoruschenko N., Turenko A.N. (1999) *Sistemetexnika transporta (na primere avtomobilnogo transporta) [System engineering of transport (on the example of automobile transport)]* Kharkov: RIO KhGADTU.
4. Volkov V.P., Gritsuk I.V., Gritsuk Y.V., Volodarets M.V. (2018) *Informatcini sistemi monitoring texnichnogo stany avtomobiliv [Information systems for monitoring the technical condition of cars]* Monograph Kharkov Panov Publishing House
5. Govoruschenko N. (2014) *Texnicheskai ekspluatatsia avtomobilei [Technical operation of cars]* High school. Publishing house at Kharkov. un-ones.
6. Golovin S.F. (2008), "Technical service transport machinery and equipment", ["Techniceskij servis transportnich machin"], Moskva. Alfa M. INFRA - M, 2008, 288p.
7. (2014), "Remote Monitoring System / Zeppelin - Cam", ["Sistema udalennogo monitoringa / Zeppelin - Cam"], :http://www.zeppelin.ua/products/automatic_monitoring/ 21.02.2014.
8. (2014), "Automotive", ["SAE internationalTM"], <http://www.sae.org/automotive/> 21.02.2014.
9. Maintainer's Remote Logistics Network. MRLN Remote Diagnostics. Press Release: Ruggedized Command & Control Solutions (Division of L-3 Communications). San Diego, California. 2004. 3 p.
10. Mobileye. [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.mobile-eye.ru/> (дата звернення: 07.11.2017).
11. Bosch Mobility Solutions. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.bosch-mobility-solutions.com/en/> (дата звернення: 07.11.2017).
12. TRW Automotive. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.trw.com/> (дата звернення: 07.11.2017)
13. Khudiakov I.V., Simonenko R.V., Mangelei V.S., Chernenko V.V. (2019) *Osoblivosti formuvannia ta analizu informatciinix struktur sistemi monitoring parametriv texnichnogo stany transportnix zasobiv u vzaemodii z takhografom [Features of formation and analysis of information structures of the system of monitoring the parameters of the technical condition of vehicles in cooperation with the tachograph]* Monograph Kherson State Maritime Academy p. 250-259.
14. Dmitrichenko M.F., Mateichik V.P., Gritsuk I.V., Tcuman M.P. (2014) *Metodi sistemnogo analizu vlastivostei avtomobilnoi texniki [Methods of systematic analysis of the properties of automotive technology]* NTU
15. Volkov V.P., Mateichik V.P., Nikonov O. (2013) *Integratsia texnicheskoi ekspluatatsii avtomobilei v strukturi i protcesi ITS [Integration of technical operation of cars in the structures and processes of ITS]* Monograph Donetsk Knowledge
16. Volkov V.P., Gritsuk I.V., Komov A.P., Volkov Y.V. (2014) *Osoblivosti monitoringu i viznachennia statusu nespravnosti transportnogo zasobu u skladі bortovogo informatciino-diaagnostichnogo kompleksu [Features of monitoring and determination of the fault status of the vehicle within the on-board information-diagnostic complex]* Visnyk Natsionalnoho transportnogo universytetu [Bulletin of the National Transport University] Vipusk 30, p. 51-62.
17. Mateichik V.P., Volkov V.P., Komov P.B., Gritsuk I.V., Komov A.P., Volkov Y.V. (2014) *Osoblivosti monitoring stany transportnix zasobiv z vikoristanniam bortovix diagnostichnix kompleksiv [Features of monitoring the condition of vehicles using on-board diagnostic systems]* Naukovi jurnal «Upravlinnia proektami, sistemni analiz i logistika» [Scientific journal "Project Management, System Analysis and Logistics"] Vipusk 13 p. 126-138
18. Hahanov, V., Gharibi, W., Litvinova, E., Chumachenko, S. et al., "Cloud-Driven Traffic Monitoring and Control Based on Smart Virtual Infrastructure," SAE Technical Paper 2017-01-0092, 2017, <https://doi.org/10.4271/2017-01-0092>.

Игорь Валентинович Худяков,
(ст. преподаватель, Херсонская государственная морская академия)
Роман Викторович Симоненко, к.т.н.
(доцент, Национальный транспортный университет)
Игорь Валерьевич Грицук, д.т.н.,
(профессор, Херсонская государственная морская академия)
Владимир Петрович Матейчик, д.т.н.
(профессор, Национальный транспортный университет)
Василий Петрович Волков, д.т.н.
(профессор, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет)
Татьяна Петровна Белоусова, к.т.н.
(доцент, Херсонский национальный технический университет)
Никита Витальевич Володарец, к.т.н.,
(ст. преподаватель, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

ОСОБЕННОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЖИМА ТРУДА И ОТДЫХА ВОДИТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В статье разрабатываются современные методы и мероприятия, позволяющие осуществлять дистанционный контроль режима труда и отдыха водителя в системе информационного мониторинга технического состояния ТС. Выполнен анализ особенностей дистанционного определения режимов труда и отдыха водителя в системе информационного мониторинга транспортных средств в Украине. Разработана структурно-логическая схема решения проблемы определения технического состояния транспортных средств и режима труда и отдыха водителей в системе информационного мониторинга транспортных средств.

Ключевые слова: информационные системы мониторинга, транспортное средство, режим труда и отдыха водителя.

Igor Khudiakov ,
(Senior Lecturer, Kherson State Maritime Academy)
Roman Simonenko,
(asociated professor, National Transport University)
Igor Grytsuk,
(Professor, Kherson State Maritime Academy)
Vasyl Mateichyk
(Professor, National Transport University)
Vladimir Volkov
(Professor, Kharkov National Automobile and Highway University)
Tetiana Bilousova
(asociated professor, Kherson National Technical University)
Mykyta Volodarets,
(Senior Lecturer, Ukrainian State University of Railway Transport)

PECULIARITIES OF REMOTE IDENTIFICATION OF LABOR MODE AND REST OF A DRIVER IN THE VEHICLE INFORMATION MONITORING SYSTEM

The existing systems of remote monitoring of the parameters of the condition of vehicles and modes of work and rest of drivers do not provide an opportunity to obtain system information in sufficient volume about the change of parameters of the condition of vehicles in accordance with the changes of modes of work and rest and qualifications and experience of drivers. To solve this problem, the

authors propose to conduct a study that aims to establish and develop systematic methods and tools that allow remote monitoring of the technical condition of the truck (bus) and the mode of work and rest of drivers, taking into account their operating conditions. As a result of the work, the analysis of features of remote determination of modes of work and rest of the driver in the system of information monitoring of vehicles in Ukraine was performed. A structural and logical scheme of solving the problem of determining the technical condition of vehicles and modes of work and rest of drivers in the system of information monitoring of vehicles has been developed. The developed scheme provides for the development of a system of information monitoring of the technical condition of vehicles and modes of work and rest of drivers in operating conditions at six consecutive stages of the study.

Keywords: *monitoring information systems, vehicle, driver's mode of work and rest.*

УДК656.078.12

Тетяна Ковтун, к.т.н.

(доцент, кафедра «Управління логістичними системами та проєктами», Одеський національний морський університет)

Тетяна Смокова, магістр

(асистент, кафедра «Управління логістичними системами та проєктами», Одеський національний морський університет)

Дмитро Ковтун, магістр

(логіст, компанія «EwalsCargo», Польща)

СТВОРЕННЯ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРІВ – ПЕРСПЕКТИВНИЙ ШЛЯХ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

Український ринок міжнародних вантажних перевезень має значний нереалізований потенціал, тому виникає необхідність виявлення механізмів підвищення ефективності функціонування транспортної системи України та її інтеграції в міжнародну транспортну систему. У статті подано аналітичний огляд транзитного потенціалу України та транспортно-логістичної системи країни в глобальному середовищі, розглянуто світовий досвід створення і функціонування транспортно-логістичних центрів як елементів транспортно-логістичної системи та приділено увагу особливостям функціонування логістичних центрів в розвинутих країнах. Визначено основні характеристики транспортно-логістичного центру, його місце в транспортно-логістичній системі та цілі функціонування.

Ключові слова: транспортно-логістична система, транзитний потенціал, транспортно-логістичні центри.

Вступ. Розташування на перехресті торговельних шляхів та наявність в Україні потужного транспортного комплексу потенційно дозволяє країні отримувати більше переваг від зростання глобалізації у різноманітних галузях світової економіки. Транспортна галузь є інтегратором взаємопов'язаних галузей, що створює єдину транспортно-логістичну систему, яка повинна відповідати вимогам суспільного виробництва та національної безпеки, мати розгалужену інфраструктуру для надання всього комплексу транспортно-логістичних послуг, забезпечувати зовнішньоекономічні зв'язки України. Інтеграція транспортних мереж і транспорту України в міжнародну транспортно-логістичну систему сприяє збільшенню обсягів перевезень та валютних надходжень, скороченню транспортно-логістичних витрат, наближенню до міжнародних стандартів перевезень пасажирів та вантажів.

Транспорт є однією з базових галузей економіки України, географічне розташування якої сприяє формуванню на її території транспортних коридорів і вузлів міжнародного значення, що в свою чергу, призводить до підвищення привабливості транспортної галузі для інвесторів. В таких умовах транспортна система стає основою для ефективного розвитку господарського комплексу країни [1].

В Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року стверджується, що транспортна система України має низький рівень розвитку транспортно-логістичних технологій та об'єктів мультимодальних перевезень, що знижує її конкурентоспроможність та обмежує вихід української продукції на світовий транспортний ринок [2].

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-16

Отже, одним з головних недоліків української транспортно-логістичної системи є низький рівень розвитку інтермодальних, мультимодальних перевезень, транспортної логістики. Для покращення ситуації, що склалася на сьогодні, актуальним є питання створення мережі мультимодальних транспортно-логістичних центрів, щоб забезпечити безперебійну роботу глобальних транспортних артерій – транспортних коридорів, що проходять через територію України.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Для досягнення поставлених стратегічних цілей розвитку транспортно-логістичної системи країни необхідно застосовувати результати теоретичних та практичних досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених.

Питанням інтеграційних процесів національної транспортно-логістичної системи до ЄС, формуванню транзитного потенціалу, проблемам та перспективам розвитку транспортно-логістичної системи України присвячені роботи [3-4].

Дослідженню транспортно-логістичних систем, їх ролі в розвитку економіки, а також концептуальним засадам функціонування, організації та проектування присвячені роботи [5-8]. На жаль, в вищеперелічених дослідженнях автори не приділяють достатню увагу ролі транспортно-логістичної інфраструктури, зокрема транспортно-логістичних центрів, в розвитку транспортної галузі країни.

Міжнародний досвід та історія створення об'єктів транспортно-логістичної інфраструктури висвітлюються в роботах [9-11], але в них не враховуються особливості розвитку транспортно-логістичної інфраструктури в Україні.

Питанням використання досвіду країн світу у створенні транспортно-логістичних центрів в Україні присвячені праці [12-14], але в них не обґрунтовується потреба створення транспортно-логістичних центрів в країні для підвищення її транзитного потенціалу.

Для розуміння поточного стану розвитку транспортно-логістичних центрів, а також пов'язаних з їх діяльністю проблем, як практичних, так і науково-методичних, проаналізовано світовий досвід функціонування даних об'єктів, який висвітлюється в роботах [15-19].

Питання структури та складу об'єктів транспортно-логістичної інфраструктури, у тому числі транспортно-логістичних центрів, розглядалися в роботах [20-21], але в них не розглядаються особливості транспортно-логістичних центрів як інтеграційних елементів транспортно-логістичної інфраструктури.

За мету дослідження обрано обґрунтування доцільності створення мережі транспортно-логістичних центрів в Україні. Відповідно до обраної мети, поставлені такі завдання дослідження:

1. Провести аналіз сучасного стану транспортно-логістичної системи України.
2. Розглянути світовий досвід створення і функціонування транспортно-логістичних центрів.
3. Визначити характеристики транспортно-логістичного центру, його місце в транспортно-логістичній системі та цілі функціонування.

Виклад основного матеріалу

1. Стан транспортно-логістичної системи України. Пріоритетним завданням для України є реалізація її транспортного потенціалу та створення транзитного транспортного мосту, що поєднуватиме країни Європи та Азії. Інтеграція транспортних мереж і транспорту України в міжнародну транспортну систему необхідна для залучення додаткових обсягів перевезень та валютних надходжень, скорочення транспортних витрат, наближення до міжнародних стандартів перевезень пасажирів та вантажів, покращення енергетичних та екологічних показників роботи транспорту і збільшення частки експортного потенціалу України на міжнародному ринку транспортних послуг шляхом значного підвищення конкурентоспроможності українських перевізників, підтримання оперативної готовності транспортної системи України до використання її в інтересах підвищення обороноздатності держави [22].

Транспортна система України має розгалужену залізничну мережу, мережу автомобільних шляхів, морські порти та річкові термінали, аеропорти та мережу авіаційних сполучень, громадського пасажирського транспорту, автобусних станцій, вантажних митних терміналів

тощо. Це створює необхідні передумови для задоволення потреб користувачів у наданні транспортних послуг. Так, у Чорноморському та Азовському басейнах, а також дельті Дунаю працюють 13 морських портів, сукупна потужність вантажообробки яких становить близько 230 млн. тонн на рік. Територією України простягається 1569,4 км судноплавних водних шляхів. Функціонує розвинута мережа поромного сполучення, морських контейнерних ліній, що з'єднують Україну з країнами-партнерами в Чорноморському регіоні. Національна мережа автомобільних доріг загального користування становить 163033 км. Експлуатаційна залізнична мережа України є однією з найбільших у Європі та сягає близько 20951,8 км, з яких 9926,4 км (47,4 %) електрифіковані. Україна є транзитним транспортним мостом, що поєднує країни Європи та Азії [2].

В статті 1 «Транспорт у системі суспільного виробництва» Закону України «Про транспорт» визначається: «Транспорт є однією з найважливіших галузей суспільного виробництва і покликаний задовольняти потреби населення та суспільного виробництва в перевезеннях» [23]. Тобто, транспортний комплекс виконує найважливішу соціально-інфраструктурну функцію щодо забезпечення інтеграції економічного простору.

Стан транспортної системи є одним з показників загального розвитку господарчого комплексу країни, оскільки транспорт, як інфраструктурна галузь, має розвиватися темпами, що випереджують інші галузі економіки, та сприяти швидкому економічному та соціальному зростанню в країні та її участі у міжнародному розділі праці. Транспортна галузь України повинна задовольняти потреби внутрішніх, експортно-імпортних перевезень, обсяги яких визначаються рівнем розвитку економіки країни.

Україна межує з сьома країнами, вона завжди була однією з основних транзитних держав на Європейському континенті, через яку проходили загальні транспортні шляхи в усі часи. За даними англійського інституту Rendall, транзитний потенціал України найвищий у Європі – 3,11 балів. На жаль транзитний потенціал України використовується лише на 60%. Доходи від транзиту і комплексу пов'язаних з ним послуг складають біля 6% ВВП. Через неефективне використання транзитного потенціалу Україна щорічно недоотримує близько 2,5 млрд. дол. США [3]. Експерти стверджують, що транзит товарів через територію України при сприятливих логістичних умовах може збільшитися в 20 разів і досягти 300 млрд. дол. США.

Концепцію створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні було затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 4 серпня 1997 року № 821 (остання редакція – від 25 серпня 2004 року) [22]. На даний час через територію України загалом проходять сім міжнародних транспортних коридорів [9]. Останнім часом активно розвивається проект «Один пояс, один шлях», ініційований керівництвом КНР, до якого Україна прагне приєднатися [9-11].

Поступова цілеспрямована інтеграція транспортного комплексу України до загальноєвропейської та світової транспортної системи шляхом розвитку міжнародних транспортних коридорів може забезпечити не лише додаткові надходження до бюджету, а й стимулювати інвестиційну активність, залучення іноземного капіталу, вдосконалення технологій транспортування, транспортної інфраструктури країни в цілому та економічний розвиток регіонів.

Для України європейська інтеграція виступає пріоритетом міжнародної політики. Хоча вектор наближення транспортної політики України до стандартів і норм Європейського Союзу було визначено ще з середини 2000-х років [4], однак станом на 2020 рік транспортна система країни і досі не відповідає стандартам і вимогам ЄС та відзначається суттєвим відставанням щодо інфраструктури та якості надання транспортно-логістичних послуг [24].

Зовнішні умови складаються на користь розвитку транспортної галузі України, але для успішного використання існуючих можливостей необхідно, щоб транспортний комплекс країни відповідав вимогам світової транспортної системи [25].

У 2019 році вантажообіг підприємств транспорту становив 338,9 млрд. ткм, або 102,1% від обсягу 2018 році. Підприємствами транспорту перевезено 674,5 млн. т. вантажів, що становить 108,0% від обсягів 2018 році (табл. 1).

Таблиця 1. Обсяги вантажних перевезень підприємств транспорту України в 2019 році

Вид транспорту	Вантажообіг		Перевезено вантажів	
	млн. ткм	у % до 2018	млн.т	у % до 2018
Транспорт, у тому числі:	338885,2	102,1	674,5	108,0
- залізничний	181844,7	97,6	312,9	97,1
- автомобільний	48831,5	114,7	242,7	129,7
- водний	3386,9	100,7	6,1	109,2
- трубопровідний	104528,1	105,3	112,7	103,0
- авіаційний	294,0	86,6	0,1	92,7

Джерело. Державної служби статистики України. URL: www.ukrstat.gov.ua

Враховуючи незначне збільшення вантажних потоків, а також той факт, що український ринок міжнародних вантажних перевезень має значний нереалізований потенціал, виникає необхідність виявлення механізмів підвищення ефективності функціонування транспортної системи України та її інтеграції в міжнародну транспортну систему. Застосування концептуальних засад логістики дозволить створити ефективну національну транспортно-логістичну систему, що сприятиме збільшенню реалізації зовнішньоторговельних зв'язків України, її територіальному розвитку, залученню транзиту та збільшенню обсягів валютних надходжень, оптимізації товаропотоків, інтенсифікації господарських зв'язків з країнами ЄС.

Сьогодні логістика, як один з ефективних інструментів планування організації та управління процесами руху матеріального та супутніх йому потоків, спрямована на отримання максимального прибутку всіма учасниками транспортно-розподільного процесу шляхом оптимізації їх логістичних витрат у певному просторі та часі [20].

В Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року стверджується, що транспортна система України має низький рівень розвитку транспортно-логістичних технологій та об'єктів мультимодальних перевезень, що знижує її конкурентоспроможність та обмежує вихід української продукції на світовий транспортний ринок. За рейтингом конкурентоспроможності Україна знаходиться на 85-му місці у світі, а за індексом логістичної ефективності – на 66-му [2].

Отже, одним з головних недоліків української транспортної системи є низький рівень розвитку інтермодальних, мультимодальних перевезень, транспортної логістики. Для покращення ситуації, що склалася на сьогодні, необхідно виконати ряд завдань, серед яких варто виділити такі, як:

- використання кращого світового досвіду для розвитку транспортного сектору України, підвищення якості та надійності надання транспортно-логістичних послуг з урахуванням зовнішньоекономічних і регіональних зв'язків України та на основі комплексного системного підходу до координації роботи всіх видів транспорту та Національної транспортної моделі;
- розвиток транспортної інфраструктури у відповідності до стандартів ЄС до 2030 року;
- підвищення ефективності внутрішніх логістичних операцій вантажного транспорту через усунення існуючих перешкод та вдосконалення відповідної інфраструктури, а також її поєднання з міжнародною та Транс'європейською транспортною мережею TEN-T;

– забезпечення комплексного вирішення питань, зокрема підготовка та реалізація відповідної концепції або програми (планів), розвитку мультимодальних перевезень та логістичних технологій, що передбачає:

формування нормативно-правової бази розвитку інтермодальних, мультимодальних перевезень, транспортної логістики;

розвиток мультимодальних транспортних технологій та інфраструктурних комплексів під різні види транспорту, у тому числі в комбінаціях «авіація – залізниця – авто», «вода – залізниця – авто» тощо;

створення мережі мультимодальних транспортно-логістичних кластерів та базових логістичних центрів, сухих портів [2].

Розвиток інтегрованої транспортно-логістичної системи країни як підсистеми економічної системи країни та складової частини міжнародних транспортно-логістичних систем дає змогу зайняти конкурентоспроможні позиції на міжнародних ринках логістичних послуг. Транспортно-логістична система включає множину взаємопов'язаних елементів у вигляді підприємств транспорту, логістики, транспортних мереж тощо, які утворюють єдине ціле та підпорядковані одній меті – задоволення потреб споживачів у транспортних і логістичних послугах [21].

Реальний стан та місце транспортно-логістичної системи країни в глобальному середовищі достатньо об'єктивно визначається «Індексом ефективності логістики» (LogisticsPerformanceIndex, LPI) [14], який визначається Світовим Банком (раз на два роки).

За рейтингом LPI у 2018 році Україна піднялась на 14 сходинок та зайняла 66 місце серед 160 країн (табл. 2).

Таблиця 2. Україна в рейтингу Всесвітнього банку – LogisticsPerformanceIndex (LPI)

	Загальний індексLPI (місце країни)	Субіндекс LPI (місце країни)					
		Митниця	Інфраструктура	Міжнародні перевезення	Логістична компетентність	Відстеження проходження вантажів	Своєчасність поставок
2010	2,57 (102)	2,02 (135)	2,44 (79)	2,79 (84)	2,59 (77)	2,49 (112)	3,06 (114)
2012	2,85 (66)	2,41 (88)	2,69 (70)	2,72 (83)	2,85 (61)	3,15 (50)	3,31 (68)
2014	2,98 (61)	2,69 (69)	2,65 (71)	2,95 (67)	2,84 (72)	3,20 (45)	3,51 (52)
2016	2,74 (80)	2,30 (116)	2,49 (84)	2,59 (95)	2,55 (95)	2,96 (61)	3,51 (54)
2018	2,83 (66)	2,49 (89)	2,22 (119)	2,83 (68)	2,84 (61)	3,11 (52)	3,42 (56)

Джерело: LogisticsPerformanceIndex. Country: Ukraine 2018. WorldBankofficialsite. URL: <http://lpi.worldbank.org/international/scorecard/radar/254/C/UKR/2018#chartarea> (дата звернення: 18.03.2020).

За напрямками досліджень: митні процедури (в ньому Україна набрала 2,49 бала), інфраструктура (2,22 бала), міжнародне транспортування вантажів (2,83 бала), логістична компетентність (2,84 бала), відстеження вантажів (3,11 бала) і своєчасність доставки (3,42

бала). При цьому чим вище бал, тим сильніші позиції країни у зазначеній категорії. На жаль, стан і розвиток інфраструктури та робота митниці в Україні оцінюються вкрай низько – 2,22 та 2,49 балів відповідно, що істотно гальмує розвиток транспортно-логістичної системи країни (рис.1).

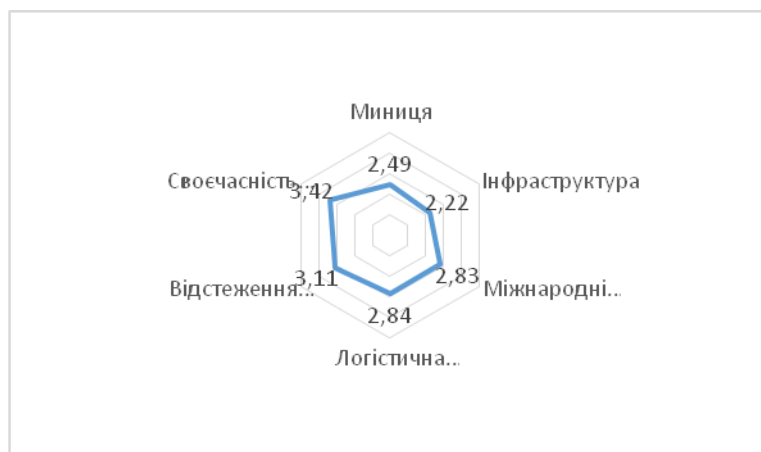


Рис. 1. Діаграма Індексу ефективності логістики в Україні

Отже, Україна відстає від передових Європейських країн майже по всіх напрямках. Для порівняння: в 2018 році перше місце зайняла Німеччина (4,20 бали), друге – Швеція (4,05 бали), третє – Бельгія (4,04 бали) тощо. Найбільше відставання спостерігається за показником – інфраструктура, що свідчить про відсутність сучасних об'єктів транспортно-логістичної інфраструктури, які здатні задовольнити сьогоденним вимогам надання транспортних та логістичних послуг клієнтам.

2. Світовий досвід розвитку транспортно-логістичних центрів

Досвід країн Західної Європи та Північної Америки свідчить, що розвиток логістики та транспортного сектору дає змогу зменшити загальнологістичні витрати майже на 12–35 %, транспортні витрати – на 7–20%, витрати на навантажувально-розвантажувальні роботи та збереження матеріального потоку – на 15–30 %, а також прискорити швидкість обігу матеріальних ресурсів на 20–40 % та скоротити їх запаси на 50–200 % [21]. Усе це свідчить про те, що одним із важливих факторів економічного зростання є формування інтегрованих транспортно-логістичних систем, що охоплюють окремі країни та регіони [12].

Щоб забезпечити безперебійну роботу глобальних транспортних артерій – транспортних коридорів, що проходять через територію України, країні необхідна мережа транспортно-логістичних центрів, створення яких позитивно вплине на розвиток прилеглих територій, збільшуючи їх інвестиційну привабливість. Але варто зазначити, що в світі не існує одностайності щодо трактування поняття «транспортно-логістичний центр», його функцій та класифікації. Згідно з дослідженням, проведеним Макмастерським університетом (Канада) на замовлення Міністерства транспорту Онтаріо [14], в світі виділяють більше 20 термінів, які за своєю суттю близькі та описують таке явище, як транспортно-логістичний центр [5].

На даний момент у країнах, що входять до Європейського Союзу, нараховується близько 240 транспортно-логістичних центрів, які займають площу близько 26 тис. га. Отже, на один транспортно-логістичний центр припадає близько 108 га. При цьому майже половина транспортно-логістичних центрів сконцентрована у чотирьох країнах: Німеччині, Іспанії, Франції та Італії [15].

Створення крупних логістичних центрів почалося у Європі приблизно в 80-х роках XX ст. Вперше ідеологія створення великого логістичного комплексу відноситься до 1960 року, коли у Франції (в районі Парижа) з ініціативи держави у співпраці з місцевими органами влади та приватними компаніями були створені два спеціалізовані логістичні центри «Garonor» та

«Sogaris». Основна причина створення центрів полягала в бажанні органів влади підвищити умови організації вантажопотоків в Парижі, які сильно погіршилися після війни [16].

У Західній Європі існує ряд прикладів успішних проєктів транспортно-логістичних розподільних центрів:

найбільший логістичний проєкт в Середземноморському басейні Франції – CLESUD (CentreLogistique de l'Europe du Sud) – Південно-Європейський логістичний центр;

термінальні комплекси GARONOR і SOGARIS близько Парижа;

логістичний центр у Вероні (Італія) – Quadrante Europa Freight Village є центром інтегрованих логістичних послуг з терміналом для обслуговування мультимодальних перевезень;

логістичний парк в передмісті Мілана (Італія) – CSG Logistic Park;

мережа мультимодальних вантажних терміналів у великих і середніх містах Німеччини, названих Гутерверке-центри (GVZ);

логістичний мультимодальний центр в Роттердамському порту (Нідерланди) – найбільшому в світі;

EuroPark – один з найбільших логістичних парків Польщі недалеко від Варшави;

логістичний центр Aviapolis поблизу Гельсінкі (Фінляндія).

Діяльність великих логістичних центрів робить значний вклад в економіку країн: в Голландії 40% доходів від транспортного комплексу, Франції – 31%, Німеччині – 25% [17].

Слід відзначити зростаючу значимість країн Східної Європи у створенні транспортно-логістичної системи Євросоюзу. Це пов'язують з розширенням Європейського Союзу та виходом на ринок транснаціональних компаній. Країни Східної Європи займають проміжне положення між Західною Європою і Росією, багато компаній-виробників переносять свої виробничі потужності в Східну Європу з метою розширення діяльності, логістичні провайдери теж мають слідувати цим тенденціям і освоювати нові ринки. Логістичний ринок у Східній Європі характеризується широкими регіональними відмінностями. У той час як Чехія, Словаччина, Словенія, Угорщина і Польща досягли непоганих успіхів, Румунія, Болгарія та Хорватія сильно відстають. Чим далі на схід, тим логістична інфраструктура слабша [18].

В Китаї логістичні центри являють собою вільну економічну зону, в якій частково проводяться науково-дослідницькі розробки. Зокрема, в китайській провінції Тайвань логістичний центр поділений на три зони. В індустріальній зоні розміщене виробництво текстильної, хімічної та інших галузей промисловості. В науковій індустріальній зоні проходить дослідження й розвиток, підтримка виробництва й навчання за високотехнологічними напрямками. А в спеціальній зоні проводяться такі операції над вантажами, як складування, транспортування та торгівля. В Японії логістичний центр (логістичний хаб) так, як і в Китаї створений за принципом вільної економічної зони [5].

В США транспортно-логістичні центри є результатом дій ринкових умов. Роль держави переважно обмежується створенням різних податкових та економічних стимулів. На додачу значні приватні інвестиції в транспортно-логістичні центри сприятимуть використанню прогресивних технологій та ефективному менеджменту даних центрів [6].

3. Визначення характеристик транспортно-логістичного центру, його місця в транспортно-логістичній системі та цілей функціонування

Широка різноманітність логістичних концепцій в зарубіжній літературі призвела до появи багатьох визначень, аналогічних поняттю «транспортно-логістичний центр», це:

вантажні села (freight villages) – в США, ЄС;

логістичні центри (centres de logistique), транспортні платформи (plates-formes logistiques / multimodales) – Франції;

інтерпорт (interporti) – в Італії;

центр руху товару (güterverkehrszentren (GVZ)) – в Німеччині;

логістичний парк (logistics park), вантажна платформа (platform freight terminal) – в деяких європейських і американських країнах;

координаційні вантажні центри (centro integrado de mercancías);

транспортні центри (centro de transporte), логістична площа (plaza logistica) – в Іспанії;

центр залізничного сполучення (railservice centre (RSC)) – в Голандії;
транспортний центр (transport centre) – в Данії [6].

Найбільш всеохоплюючим є трактування поняття «транспортно-логістичний центр», що враховує особливості його структури, управління та функціонування, сформоване Європлатформою (Європейською асоціацією транспортно-логістичних центрів, що об'єднує транспортно-логістичні асоціації європейських країн): **транспортно-логістичний центр** – це певна територія, на якій усі види діяльності, пов'язані з транспортуванням, логістикою та дистрибуцією товарів як для національного, так і міжнародного транзиту, здійснюються різними операторами. Ці оператори можуть бути власниками або орендарями будівель та об'єктів (складів, перевальних центрів, автостоянок тощо), що були побудовані на території центру. Крім того, відповідно до правил вільної конкуренції, транспортно-логістичний центр повинен надати доступ усім компаніям, що беруть участь у діяльності, згаданій вище, та бажають працювати на території центру. Також транспортно-логістичний центр повинен бути обладнаним об'єктами громадської інфраструктури для виконання зазначених вище операцій. За можливості на території центру мають надаватися державні послуги для користувачів транспортно-логістичного центру. Із метою стимулювання інтермодальних перевезень транспортно-логістичний центр повинен мати доступ до якнайбільшої кількості видів транспорту (автомобільного, залізничного, морського, річкового, повітряного та трубопровідного). Зрештою, вкрайважливо, щоб управління транспортно-логістичним центром здійснювалась з єдиного центру, до складу якого можуть входити представники як і держави, так і приватного сектору [7].

Транспортно-логістичні центри як об'єкти транспортно-логістичної інфраструктури виникли завдяки поширенню логістичної інтеграції і стали невід'ємною складовою транспортно-логістичних систем, що надають можливість реалізації логістичної інтеграції (рис. 2).



Рис. 2. Транспортно-логістичний центр як елемент транспортно-логістичних систем вищого ступеня ієрархії

Транспортно-логістичні центри являють собою функціональні елементи транспортно-логістичної системи та є ланками логістичного ланцюжка з доставки вантажів від постачальників до споживачів. Вони також є стиковими пунктами, у яких здійснюється координація та взаємодія різних видів транспорту, відбувається концентрація вантажопотоків, та їх наступний розподіл.

В межах завдань транспортно-логістичного центру концентрується вся діяльність, що відноситься до транспортування, логістики та товаророзподілу тощо з метою організації як національних, так і міжнародних перевезень, яка здійснюється різними операторами на комерційній основі.

Відповідно до [8] основних цілей функціонування транспортно-логістичних центрів є:

забезпечення координації та взаємодії видів транспорту та інших учасників транспортно-логістичного процесу;

забезпечення високої якості транспортно-логістичного сервісу;

забезпечення збереження товарів і вантажів на шляху, безпеки транспортування, переробки та зберігання;

інформаційно-аналітичний супровід по всьому шляху проходження товарів і вантажів;

забезпечення управління наскрізними товарно-матеріальні потоками;

зниження загальних транспортно-логістичних витрат за рахунок впровадження передових технологій, заснованих на принципах логістики.

забезпечення максимального синергетичного ефекту на основі логістичної координації і узгодження економічних інтересів учасників транспортно-логістичного центру і партнерів по бізнесу.

В 1996 році Україна приєдналась до Європлатформи, основна мета діяльності якої полягає у впровадженні концепції створення транспортно-логістичних центрів на європейському рівні по всьому світу, а також в розвитку взаємовідносин у транспортно-логістичній сфері між різними регіонами та країнами.

В 2003 році в Україні була розроблена «Концепція програми формування мережі логістичних центрів в системі міжнародних транспортних коридорів», в якій говориться про плани будівництва близько 50 логістичних центрів на території нашої країни. На даний час в Україні спостерігається дефіцит сучасних логістичних центрів. Основну причину такого висновку спеціалісти бачать в відсутності повного набору логістичних функцій, що виконуються цими інфраструктурними об'єктами та відсутності теоретико-методологічних наукових розробок, що супроводжуватимуть процес створення та функціонування центрів.

Висновки. Одним з пріоритетних завдань для України є реалізація її транзитного потенціалу та створення умов для розвитку транспортно-логістичної системи, що є базовою галуззю та впливає на стан всього господарчого комплексу країни.

Аналіз сучасного стану транспортно-логістичної системи України показав значний нереалізований потенціал ринку транспортно-логістичних послуг та відставання від інших країн. За рейтингом Logistics Performance Index (LPI) Україна займає лише 66 місце серед 160 країн. На даний час відчувається значне відставання від розвинутих країн з багатьох питань, одним з найважливіших є рівень надання логістичних послуг та відсутність сучасних об'єктів логістичної інфраструктури, зокрема транспортно-логістичних центрів.

Досвід країн з розвинутою економікою свідчить, що без створення сучасної транспортно-логістичної інфраструктури повноцінне функціонування транспортно-логістичної системи країни є неможливим. Отже, для досягнення цілі інтеграції України в світову транспортну систему створення мережі транспортно-логістичних центрів є пріоритетним завданням, в результаті вирішення якого можливо досягти збільшення використання транзитного потенціалу країни і, як наслідок, збільшення надходжень до бюджету. Якщо врахувати, що транзитний потенціал сьогодні використовується лише на 60%, а доходи від транзиту складають біля 6% ВВП (ВВП України в 2019 році склав 3974,6 млрд. грн), то можна стверджувати, що при 100% використанні транзитного потенціалу, ВВП України збільшиться приблизно на 159 млрд. грн.

Транспортно-логістичний центр є інтеграційним елементом транспортно-логістичної системи, в межах завдань якого концентрується вся діяльність, що відноситься до транспортування, логістики та товаророзподілу тощо з метою організації як національних, так і міжнародних перевезень, які здійснюються різними операторами на комерційній основі.

На даний час стратегічним завданням розвитку транспортно-логістичної системи України є створення мережі об'єктів транспортно-логістичної інфраструктури. Успішне виконання

поставленого завдання потребує наявності наукових досліджень з питань особливостей створення та функціонування транспортно-логістичних центрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Попова Н.В., Шинкаренко В.Г. Сучасні тенденції розвитку транспортно-логістичних систем. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2016, №53. С. 54-60.
2. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430-р. *Офіційний вісник України*. 2018. № 52. С. 533. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80>.
3. Арбузов А. Украина стала «камнем на дороге» европейского транзита. *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник*. 2011. № 2(13). URL: <http://www.ukrudprom.ua>
4. Соляник К. В. Транзитний потенціал України в сучасних умовах господарювання. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2018. № 62. С. 30-32.
5. Ярошенко Л. Л. Міжнародний досвід розбудови транспортно-логістичних центрів як спосіб розвитку транспортно-логістичної інфраструктури. Причорноморські економічні студії. *Світове господарство і міжнародні економічні відносини*. 2016. Вип. 8. С. 201-204.
6. Власов А. В. Появление, формирование и функционирование транспортно-логистических комплексов. Научный альманах. *Экономические науки*. 2016. №4-1 (18). С. 55-59.
7. FV-2000. (1999). Quality of Freight Villages Structure and Operations. European Commission.
8. Прокофьева Т. А. Проектирование и организация региональных транспортно-логистических систем. М.: Изд-во РАГС при Президенте РФ. 2009. 412 с.
9. Ковтун Т. А. Перспективи України у новій концепції економічного розвитку КНР «Один пояс – один шлях». Соціальний розвиток країн «Одного поясу та одного шляху: Розвиток Нового Шовкового шляху в Україні: тези доповідей III Міжн. наук. конференції. (м. Одеса, ОНМУ, 2017 р.). Одеса, 2017. С.49-51.
10. Акимов О. В. Перспективи розвитку перевозок по Новому шовковому путі для Китаю та України. Соціальний розвиток країн «Одного поясу та одного шляху: Розвиток Нового Шовкового шляху в Україні: тези доповідей III Міжн. наук. конференції. (м. Одеса, ОНМУ, 2017р.). Одеса, 2017. С.27-29.
11. Dian Yang. Inclusive Growth, Chinese Dream and the New Silkway Development. Соціальний розвиток країн «Одного поясу та одного шляху: Розвиток Нового Шовкового шляху в Україні: тези доповідей III Міжн. наук. конференції. (м. Одеса, ОНМУ, 2017р.). Одеса, 2017. С.10 - 17.
12. Шатрова К. И. Опыт зарубежных стран в формировании транспортно-логистических систем. *Публічне управління та митне адміністрування*. 2016. № 1. С. 90-100.
13. Logistics Performance Index. Country: Ukraine 2018. World Bank official site. URL: <http://lpi.worldbank.org/international/scorecard/radar/254/C/UKR/2018#chartarea> (дата звернення: 18.03.2020).
14. MITL. (2011). An Exploration of the Freight Village Concept and its Applicability to Ontario. Hamilton, ON: Mc Master Institute for Transportation & Logistics.
15. Kearney A.T. (1994). Logistics Productivity: the Competitive Edge in Europe. Chicago, p. 37.
16. Крикавський Є.В. Логістичні кластери. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2005.
17. Кокурин Д. И., Назин К. Н. Сравнительный анализ категории «логистическая инфраструктура» в отечественных и зарубежных научных школах. Научно-аналитический журнал. *Логистика и управление цепями поставок*. 2013. № 6 (59).
18. Заблюдська І. В. Транспортна логістика: економічний аспект. *Економіка розвитку*. 2012. № 1 С.50–53.
19. Сивак Р. Б., Пода А. С. Сутність трансформації логістичних центрів у системі глобального логістичного сервісу. *Бізнес Інформ*. 2015. № 8. С. 23–28.
20. Яцюта О. Транспортно-логістична система України в умовах європейської інтеграції. Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право. 2016. № 3. С. 89-99.
21. Попова Н. В. Транспортно-логістична система: дефініція та складові. *Бізнес Інформ*. 2016. № 1. С. 169–174.
22. Про затвердження Концепції створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні: Постанова Кабінету Міністрів України від 04.04.1997 р. № 821. Офіційний вісник України. 1997. № 37. С. 46.
23. Про транспорт: Закон України від 10.11.1994 № 232/94-ВР. Дата оновлення 25.04.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-вр> (дата звернення: 15.06.2019).
24. Брагинський В. В. Розвиток транспортно-логістичної системи як форма реалізації транзитного потенціалу України. Державне управління: теорія і практика. 2011. № 2. URL: <http://www.academy.gov.ua/ej/ej14/index.html>.
25. Ковтун Т.А., Смокова Т.М. Розробка методичного підходу до аналізу інтеграційних ризиків в проекті створення логістичного центру. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2018. № 3/2 (41). С.24-28.

REFERENCES

1. Popova N.V. Shynkarenko V.H. (2016). Suchasni Tendentsii Rozvytku Transportno-Lohistychnykh System. [Current trends in the development of transport and logistics systems]. [in Ukraine].
2. Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku. (2018) [On approval of the National Transport Strategy of Ukraine until 2030] rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainyvid 30.05.2018 № 430–r. Ofitsiinyi visnyk Ukrainy. № 52. S. 533.URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80>. [in Ukraine].
3. Arbuzov A. (2011). Ukraina stala «kamnem na dorozhe» evropeiskoho tranzytu. [Ukraine has become a "stone on the road" of European transit] Visti Avtomobilno – dorozhnogo instytutu: naukovo-vyrobnychy zbirnyk. № 2(13). [in Ukraine].
4. Soliannik K.V.(2018). Tranzytnyi potentsial Ukrainy v suchasnykh umovakh hospodariuvannia. [Transit potential of Ukraine in modern economic conditions]. Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti. 62, 30-32. [in Ukraine].
5. Yaroshenko L. L. (2016). Mizhnarodnyi dosvid rozbudovy transportno-lohistychnykh tsentriv yak sposib rozvytku transportno-lohistychnoi infrastruktury. [International experience in the construction of transport and logistics centers as a way of developing transport and logistics infrastructure]. [in Ukraine].
6. Vlasov A. V. (2016). Poivlenye, formirovaniye y funktsionirovaniye transportno-lohistychnykh kompleksov. [The emergence, formation and functioning of transport and logistics complexes.]. Nauchnyi almanakh. [in Ukraine].
7. FV-2000. (1999). Quality of Freight Villages Structure and Operations. European Commission. [Quality of Freight Villages Structure and Operations. European Commission]. [in Europe].
8. Prokofeva T. A. (2009). Proektyrovaniye y orhanyzatsiya rehyonalnykh transportno-lohistychnykh system. [Design and organization of regional transport and logistics systems]. M.: Yzd-vo RAHS pry Prezydente RF. [in Russian].
9. Kovtun T. A. (2017). Perspektyvy Ukrainy u novii kontseptsii ekonomichnogo zvytku KNR «Odyn poias – odyn shliakh». [Perspectives of Ukraine in the New Concept of Economic Development of the People's Republic of China "One Belt - One Way"]. Odesa: ONMU. [in Ukraine].
10. Akymova O. V. (2017). Perspektyvy rozvytyia perevozok po Novomu shelakovomu puty dlia Kytaia y Ukrainy. [Prospects for the development of transportation on the New Silk Road for China and Ukraine]. Odesa: ONMU. [in Ukraine].
11. Dian Yang. (2017). Inclusive Growth, Chinese Dream and the New Silk way Development. [Inclusive Growth, Chinese Dream and the New Silkway Development]. Odesa: ONMU. [in Ukraine].
12. Shatrova K. Y. (2016). Opyt zarubezhnykh stran v formirovaniy transportno-lohistychnykh system. [Experience of foreign countries in the formation of transport and logistics systems]. Publich neupravlinnia ta my tneadministruvannia 1, 90-100. [in Ukraine].
13. Logistics Performance Index. Country: Ukraine 2018. (2018). [Logistics Performance Index. Country: Ukraine 2018]. World Bank official site. URL: <http://lpi.worldbank.org/international/scorecard/radar/254/C/UKR/>. [in Ukraine].
14. MITL. (2011). An Exploration of the Freight Village Concept and its Applicability to Ontario. [An Exploration of the Freight Village Concept and its Applicability to Ontario]. Hamilton, ON: Mc Master Institute for Transportation & Logistics. [in Canada].
15. Kearney A.T. (1994). Logistics Productivity: the Competitive Edge in Europe. [Logistics Productivity: the Competitive Edge in Europe]. Chicago, IL, 37. [in USA].
16. Krykavskiy Ye. V. (2005). Lohistychni klasteri. [Logistics clusters]. Lviv: NU «Lvivskapolitehnika». [in Ukraine].
17. Kokurn D. Y., Nazyn K. N. (2013). Sravnytelnyi analiz katehoryi «lohistychna ynfrastruktura» v otechestvennykh y zarubezhnykh nauchnykh shkolakh. [Comparative analysis of the category "logistical infrastructure" in domestic and foreign scientific schools]. Nauchno-analytycheskiy zhurnal Lohistyka y upravleniye sistemami postavok, 6 (59). [in Russian].
18. Zablodska I. V. (2012). Transportna lohistyka: ekonomichnyi aspekt. [Transport Logistics: An Economic Aspect]. Ekonomika rozvytku. 1, 50–53. [in Ukraine].
19. Syvak R. B., Poda A. S. (2015). Sutnist transformatsii lohistychnykh tsentriv u systemi hlobalnogo lohistychnogo servisu. [The essence of transformation of logistics centers in the system of global logistics service]. BiznesInform. 8, 23–28. [in Ukraine].
20. Yatsiuta O. (2016). Transportno-lohistychna systema Ukrainy v umovakh yevropeiskoi intehtatsii. [Transport-logistic system of Ukraine in the conditions of European integration]. Zovnishniatohivlia: ekonomika, finansy, pravo, 3, 89-99. [in Ukraine].
21. Popova N.V. (2016). Transportno-lohistychna systema: definitsiia taskladovi. [Transportation Logistics System: Definition and Components]. BiznesInform. [in Ukraine].
22. Pro zatverdzhennia Kontseptsii stvorennia ta funktsionuvannia natsionalno imerezhi mizhnarodnykh transportnykh korydoriv v Ukraini. 1997. [Pro zatverdzhennia Kontseptsii created by ta funktsionuvannia natsionalnoi merezhi mizhnarodnykh transportnykh korydoriv in Ukraine]. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainyvid 04.04.1997 r. № 821. Ofitsiinyi visnyk Ukrainy. № 3, 46. [in Ukraine].
23. Pro transport (2019). [About transport]. Zakon Ukrainyvid 10.11.1994 № 232/94-VR. Data onovlennia 25.04.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-vr>. [in Ukraine].
24. Brahinskyi V. V. (2011). Rozvytok transportno-lohistychnoi systemy yak forma realizatsii tranzytynoho potentsialu Ukrainy. [Development of transport and logistics system as a form of realization of Ukraine's transit potential]. Derzhavne upravlinnia: teoriia i praktyka., 2. URL: <http://www.academy.gov.ua/ej/ej14/index.html>. [in Ukraine].
25. Kovtun T.A., Smokova T.M. (2018). Rozrobka metodychnoho pidkhodu do analizu intehtatsiinykh ryzykiv v proekti stvorennia lohistychnoho tsentru. [Development of a methodological approach to integration risk analysis in the project of creating a logistics center]. Tekhnolohichniy audyt ta rezervy vyrobnytstva. 3/2 (41), 24-28. [in Ukraine].

Татьяна Ковтун, к.т.н.
(доцент, кафедра «Управление логистическими системами и проектами», Одесский национальный морской университет)

Татьяна Смокова, магистр
(асистент, кафедра «Управление логистическими системами и проектами», Одесский национальный морской университет)

Дмитрий Ковтун, магистр
(логист, компания «EwalsCargo», Польша)

СОЗДАНИЕ СЕТИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УКРАИНЫ

Украинский рынок международных грузоперевозок имеет значительный нереализованный потенциал, поэтому возникает необходимость выявления механизмов повышения эффективности функционирования транспортной системы Украины и ее интеграции в международную транспортную систему. В статье представлены аналитический обзор транзитного потенциала Украины и транспортно-логистической системы страны в глобальной среде, рассмотрен мировой опыт создания и функционирования транспортно-логистических центров как элементов транспортно-логистической системы и уделено внимание особенностям функционирования логистических центров в развитых странах. Определены основные характеристики транспортно-логистического центра, его место в транспортно-логистической системе и цели функционирования.

Ключевые слова: транспортно-логистическая система, транзитный потенциал, транспортно-логистические центры.

Tetiana Kovtun, PhD
(Associate Professor, Department of Logistic Systems and Projects Management, Odessa National Maritime University)

Tetiana Smokova, magister
(Assistant, Department of Logistic Systems and Projects Management, Odessa National Maritime University).

Dmitro Kovtun, magister
(logist, Ewals Cargo company, Poland)

CREATION OF A NETWORK OF TRANSPORT AND LOGISTICS CENTERS – A PERSPECTIVE WAY TO DEVELOP A TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM OF UKRAINE

The Ukrainian market of international freight transportation has considerable unrealized potential, therefore it is necessary to identify mechanisms for improving the efficiency of functioning of the transport system of Ukraine and its integration into the international transport system. One of the priority areas for the development of the Ukrainian transport industry is its integration into the world and European transport and logistics systems. This can be achieved by developing the country's transport and logistics infrastructure and creating a network of modern transport and logistics centers. Transport and logistics centers, as objects of transport and logistics infrastructure, have emerged due to the spread of integration processes in the economies of countries and have become an integral part of transport and logistics systems. The transport and logistics center is a complex system that includes several subsystems, integrated by integration links, through which it is able to perform logistic functions. The article provides an analytical overview of the transit potential of Ukraine and

the country's transport and logistics system in the global environment, examines the world experience of creating and operating transport and logistics centers as elements of the transport and logistics system, and gives attention to the peculiarities of functioning of logistics centers in developed countries. The main characteristics of the transport and logistics center, its place in the transport and logistics system and the goals of operation are determined.

Keywords: *transport and logistics system, transit potential, transport and logistics centers.*

УДК 656.073.4:656.073.21

Олексій Мельник
(аспірант кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень
Одеського національного морського університету)

АНАЛІЗ ПОНЯТТЯ «НЕГАБАРИТНІ ВАНТАЖІ» В ЗАГАЛЬНІЙ СИСТЕМІ КЛАСИФІКАЦІЇ ВАНТАЖІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ФЛОТУ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НЕГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ

В статті приведений аналіз видів транспорту стосовно залежності масогабаритних параметрів вантажу від розмірів рухомого складу, що зумовлює поняття габаритності вантажів, які в свою чергу можуть перевищувати допустимі розміри та встановлені норми при транспортуванні. Зв'язок класифікації вантажів та процесу транспортування негабаритних і важковагових вантажів мають високий ступінь актуальності з погляду на оцінку вартості, розробку технології та забезпечення безпечних умов процесу перевезення. Розглянуто специфіку транспортного флоту та аналіз його технічних можливостей щодо перевезення негабаритних вантажів.

Ключові слова: класифікація вантажів, морський транспорт, негабаритні вантажі, негабаритні перевезення, спеціалізований флот, судна балкери;

Вступ. Співвідношення у використанні різних видів транспорту для міжнародних вантажоперевезень в регіонах і окремих країнах різняться, але в розвинутих індустріальних країнах функціональність транспортної системи забезпечується усіма видами транспорту. Незважаючи на те, що статистично за обсягами вантажоперевезень лідирує автомобільний та залізничний транспорт, водний (морський) транспорт, який посідає третє місце в даний час залишається економічно вигіднішим видом транспортування після трубопровідного. У багатьох випадках, якщо йдеться про перевезення негабаритних вантажів на великі відстані, то ключовим питанням, що виникає, є різниця у вартості між морським, сухопутним і повітряним транспортом. Цей факт у поєднанні з високою провізною здатністю робить кращим саме морський у порівнянні з наземним або повітряним транспортом. У випадках рівних умов вартість морських або комбінованих перевезень виявляється нижче сухопутних, тому завдяки цьому морський транспорт досі зберігає свою важливу роль з перевагами в міжконтинентальному сполученні, а комплексна взаємодія видів транспорту вирішує завдання ефективного планування та реалізації проектів перевезення і може бути використана на користь значних інвестицій в економіку і розвиток країни.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Безліч вантажів, які перевозяться за допомогою морського транспорту, потребують аналізу і вивчення фізичних та інших особливостей, що кваліфікують транспортні властивості вантажу до початку фази перевезення. Транспортні властивості визначають спосіб, режим і умови перевезення вантажу, і, як наслідок, технологічні способи вантажообробки та перевезення. Стосовно негабаритних вантажів це має прямий вплив на вибір транспортного засобу та його функціоналу. Як відомо, спроби об'єднати всі погляди у визначенні загальної класифікації вантажів для всіх типів транспорту не отримали успіху, адже на кожному з видів транспорту існує свій підхід до організації транспортного процесу.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-17

Для морських перевезень негабаритних вантажів характеристики вантажу зумовлюють вибір спеціалізації судна, але додатково може виникати питання обґрунтування вибору неспеціалізованого судна для перевезення такого вантажу, якщо це практично і економічно доцільно.

Дослідженню питань класифікації вантажів за різними ознаками та взаємозв'язок транспортного стану вантажу з технологією і організацією транспортного процесу за допомогою морського транспорту присвятили свою увагу такі науковці, як В. Герамі, А. Колік, А. Горев, Л. Андронов, О. Кирилова, Г. Сєдов, В. Снопков, Р. Подобєд, А. Подобєд, Б. Папуша, Л. Кочнева, В. Тихонін, В. Савчук, О. Горяїнов, М. Малаксіано, О. Мельник та багато інших.

Мета і завдання дослідження. Основною метою даної статті є аналіз поняття «негабаритні вантажі» в загальній системі класифікації вантажів та дослідження особливостей транспортного флоту для організації процесу перевезень негабаритних вантажів. У цьому зв'язку варто вирішити такі завдання, як аналіз та критерії класифікації сухих немасових вантажів, їх розподіл за транспортною класифікацією та відповідно умов перевезення, визначення поняття негабаритних вантажів та технологію їх перевезення за допомогою водного транспорту, зокрема за типами морських суден, які мають спеціалізацію до такого типу перевезень, та аналіз неспеціалізованих суден, які також можуть використовуватись.

Матеріали та методи дослідження. Галузі промисловості та господарства, які потребують сировину, устаткування, готову продукцію та інші товари відіграють ключову роль у визначенні поняття класифікації вантажів, які в свою чергу розподіляються на категорії, класи, підкласи, рід тощо, залежно від транспортних, фізико-хімічних, об'ємо-масових характеристик.

В основі вивчення властивостей вантажів лежать вантажні класифікації. Для кожного виду транспорту вони відрізняються і багато з них носять напівемпіричний характер. Причиною є відмінності технологій окремих видів транспорту, а також різноманіття ситуацій, коли ці класифікації використовуються – вибір транспортних засобів, тари та упаковки, розрахунок плати за транспортні послуги, нормування вантажно-розвантажувальних робіт, визначення спеціальних вимог до перевезення, ведення статистичного спостереження і т. д. [1]

Класифікація вантажів, як важлива складова для розробки технологічних процесів перевезення, поділяє всі вантажі на групи за загальними ознаками, визначає цільове призначення і клас, зумовлює вантажно-розвантажувальні технології, технічні особливості перевезення та тарифи. На різних видах транспорту використовуються свої особисті принципи і способи класифікації вантажів, що перевозяться, але всі засновані на розподілі вантажів за низкою узагальнюючих ознак. Критерії, за якими вантаж класифікується, – це вид і стан вантажу, що пред'являються до перевезення, тип його упаковки, спосіб його обробки тобто метод завантаження або розвантаження. Всі вантажі підрозділяються на три групи – штучні (тарні і безтарні), навалочні (насіпні) і наливні. Залежно від особливостей та вимог до процесу перевезення можливо розподілити їх на дві основні групи – звичайні вантажі (що не потребують особливих умов) і специфічні (що потребують дотримання правил безпеки, дотримання температурних/вологісних режимів). Відповідно до типу приписані умови обробки вантажів та режим складського зберігання. Відповідно до класифікатора небезпеки виділяють 9 класів небезпечних вантажів. Залежно від режиму перевезення вантажі підрозділяються на спеціальні і звичайні:

Спеціальні вантажі – небезпечні, негабаритні (сюди ж входять важковагові) і швидкопсувні вантажі. Звичайні (генеральні) вантажі – інші вантажі, які не підпадають під всі перераховані вище категорії. Залежно від габаритів розрізняють габаритні, великогабаритні (довгомірні), негабаритні. Залежно від маси розрізняють: легковагові, звичайні, великовагові (рис. 1)

Легкий вантаж - вантаж, обсяг якого не перевищує 0,008 м³(8000 см³) на 1 кг бруutto і масою, яка не перевищує 80 кг; В чисельному вираженні вантаж вважається легковажним, якщо партія вагою 1 тонна займає понад 2 куб. метрів (так званий високий навантажувальний обсяг)	Звичайний вантаж - вантаж вагою до 250 кг, якщо мова йде про штучне товар, і до 500 кг, якщо партія завантажується накатом; Маса звичайних вантажів не повинна перевищувати 250 кг для одного вантажного місця. Це обмеження не застосовується для накатних вантажів для них вага одного місця не повинна перевищувати 500 кг	Великоваговий вантаж – це різновид негабаритного вантажу, вага якого в сумі з вагою транспортного засобу перевищує допустиму масу 38.0 т, а також вантажі, маса яких знаходиться в межах від 250 кг до 50 т. До важковагових вантажів відносяться вантажі, маса яких не перевищує 50 т Суперважкі (надважкі вантажі) - вантажі, маса яких перевищує 50 т. До них відносяться штучні нештабельовані негабаритні вантажі.
---	---	---

Рис. 1. Розподіл вантажів відповідно до вагових характеристик

Безліч вантажів які доставляються за допомогою морського транспорту потребують впровадження відповідного режиму перевезення і умов зберігання під час перевезення. У зв'язку з цим ретельний аналіз транспортних характеристик (рис. 2) та вивчення особливостей, що регламентують технічні умови перевезення, забезпечують запобігання пошкодженню, сприяють раціональному використанню транспорту, безпеці перевезення в цілому. Для досягнення цих задач необхідна чітка систематизація вантажів та розподіл їх за класами [2].



Рис. 2. Транспортна класифікація вантажів

Вибір ознак, за якими виконується класифікація, не може бути довільним. В іншому випадку класифікація виявиться підлеглою приватним завданням, а не загальній проблемі. Тому необхідно орієнтуватися не на випадкові, а на визначальні ознаки, відповідні основній проблемі, заради якої створюється класифікація. Такою проблемою, коли мова йде про вантажі, є забезпечення їхнього збереження під час перевезення на суднах морського флоту.

Класифікація, таким чином, служить для розкриття закономірностей, характерних для тієї або іншої безлічі явищ або предметів [3].

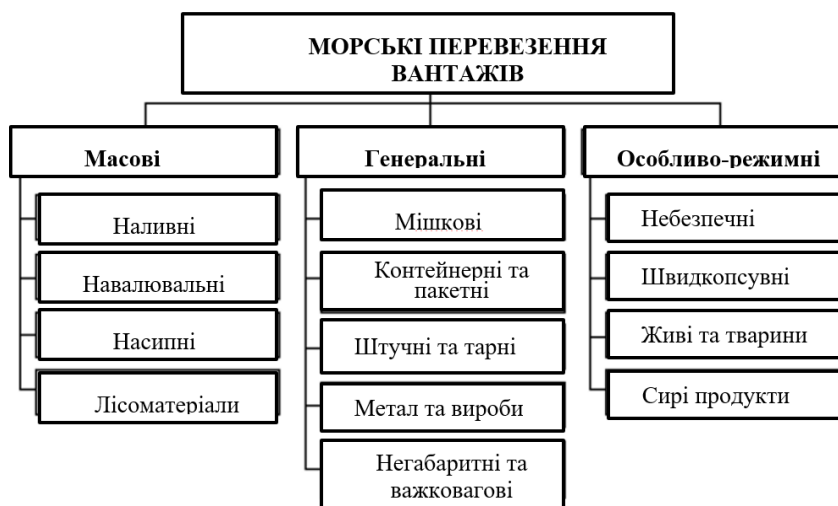


Рис. 3. Класифікація вантажів на водному транспорті

Зосередившись на трьох основних групах вантажів (рис. 3) для морських перевезень для подальших досліджень необхідно відокремити штучні вантажі (генеральні вантажі), що йдуть окремими місцями, в тарі (упаковці) або без неї, які протиставляються масовим вантажам, що перевозяться великими партіями. Приклади штучних вантажів – це металопродукція, рухома техніка (самохідна і несамохідна, на колісному або гусеничному ході), залізобетонні вироби та конструкції, контейнери, тарно-штучні вантажі, вантажі в транспортних пакетах, великогабаритні та важковагові вантажі, лісові вантажі [4].

Визначення поняття «Негабаритні вантажі» та аналіз характеристик рухомого складу

Результат дослідження полягає в тому, що необхідно визначити поняття «негабаритні вантажі» та розглянути способи їх вантажообробки і перевезення за допомогою морського транспорту та вивчення можливості застосування неспеціалізованих суден для таких перевезень.

Відповідно до габаритних розмірів вантажу виділяють такі критерії:

Габаритний вантаж – вантаж, розміри якого не перевищують габарити рухомого складу залізниць, а для автомобільного та іншого виду наземного безрейкового транспорту норм, встановлених Правилами дорожнього руху.

Негабаритний або великогабаритний вантаж – вантаж, що перевищує встановлений габарит завантаження транспортного засобу [5] або вантаж, розміри якого у в транспортному засобі перевищують один з параметрів граничних габаритних розмірів рухомого складу або розрахункового вагона (вагон з довжиною рами 24 м і завдовжки бази 17 м), визначених у нормативних документах [6].

Довгомірний вантаж – це вантаж, який, будучи завантажений в транспортний засіб, виступає за задній борт більш ніж на 2 метри, а також вантажні місця [7, 8], довжина яких перевищує максимальну довжину вантажних приміщень та одиниці вантажу, що не поміщаються по довжині на одній двовісній платформі і тому перевозяться, залежно від довжини, на двох або трьох зчеплених між собою платформах або вантажі, які при розміщенні на одному вагоні виходять за межі однієї або обох кінцевих балок його рами більш ніж на 0,4 м.



Рис. 4. Визначення підкласу негабаритних вантажів

Транспортування вантажів, що мають нестандартні розміри, вагу, об'єм пов'язане з певними ускладненнями, тому що такі вантажі неможливо перевезти стандартними способами. Для таких вантажів доводиться іноді створювати спеціальні транспортні засоби та розробляти спеціальні способи та особливі маршрути їх перевезення [9].

У спеціальній літературі можна зустріти декілька різних підходів до визначення поняття «негабаритні вантажі». Відповідно до одного з них негабаритним вантажем вважається громіздке і (або) надважке вантажне місце, яке за своїми ваговими характеристиками і габаритними розмірами, а також через специфічні особливості виробництва неможливо транспортувати із застосуванням контейнерних технологій, закритого транспортного засобу або стандартного виду транспорту [10].

Інші підходи до визначення поняття негабаритного вантажу передбачають перевищення у вантажу масо-габаритних характеристик, визначених у нормативних і керівних документах для кожного виду транспорту. Еталоном служать габаритні розміри рухомого складу і його вантажопідйомність. Для всіх видів транспорту автомобільного, морського, залізничного та авіаційного документами, що визначають організацію і порядок перевезення, є інструкції, правила або кодекси з перевезення великогабаритних та важковагових вантажів. Окрім авіаційного транспорту, де індикатором негабаритності вантажу є вага понад 80 кг, для всіх інших, незалежно від виду транспорту, показниками, за якими вантаж визначається як «негабаритний», є його розміри: довжина, ширина і висота (рис. 6). Переважна частка в перевезеннях наземним транспортом належить автотранспорту, це твердження справедливе також і для заходів по переміщенню і доставці вантажу в порту, тому ці величини вимірюються габаритними розмірами автопоїзда (рис. 5). Отже, якщо розміри вантажу, розміщеного на автопоїзді, перевищують по довжині 22 м, по ширині 2,6 м, по висоті 4,0 м, та масою більше 40 т, то цей вантаж класифікується як «негабаритний вантаж» [11].



Рис. 5. Визначення параметрів негабариту на автотранспорті

Перевезення негабаритних вантажів з використанням авіаційного та залізничного транспорту, як правило, досить складний і дорогий процес, який вимагає виконання цілого ряду

умов. Найдоступнішим і досить економним способом перевезення негабаритних вантажів є автомобільні перевезення. Однак, коли стоїть завдання здійснити міжконтинентальне перевезення партії негабаритних вантажів на значну відстань, то вирішальну роль відіграє саме морський транспорт. [12]

Негабаритні вантажоперевезення вважаються одними з найскладніших вантажоперевезень, з технічних причин, а також необхідності виконання спеціальних правил, узгодження дозвільних документів і договорів, наявності кваліфікованих фахівців [13,14]. При змішаних перевезеннях доставка вантажу здійснюється послідовно декількома видами транспорту з передачею вантажу в пунктах перевалки з одного виду транспорту на інший. У прямому змішаному залізнично-водному сполученні залізничний транспорт застосовується в основному для перевалки наливних вантажів та сировини навалом (зернові, руди, вугілля та ін.) у порту або доставлення негабаритів до залізничної станції порту, разом з тим автомобільно-морське транспортне сполучення у більшості випадків використовуються для доставки негабаритних вантажів до борту судна для подальшого завантаження.

 Повітряний транспорт	 Морський та річковий транспорт	 Автотransпорт	 Залізничний транспорт
Маса-0.08 тон Довжина - Ширина - Висота -	Маса- 35 тон Довжина-12.19м Ширина-2.43 м Висота-2.89 м	Маса-38 тон Довжина-20 м Ширина-2.55 м Висота-4.0 м	Маса-72 тон Довжина-24 м Ширина-3.25 м Висота-4.0 м

Рис. 6. Класифікація негабаритних вантажів за типами транспорту

Перевезення негабаритних вантажів за допомогою спеціалізованих суден
Контейнеризація флоту [22] дозволила механізувати переробку тарно-штучних вантажів та суттєво прискорити виконання вантажних операцій, підвищити збереження вантажу завдяки зменшенню числа перевантажувальних операцій, оптимізувати процес перевалки вантажів між видами транспорту та сортування, а разом з цим дозволила здійснювати перевезення нехарактерних вантажів таких, як негабаритні та важковагові.

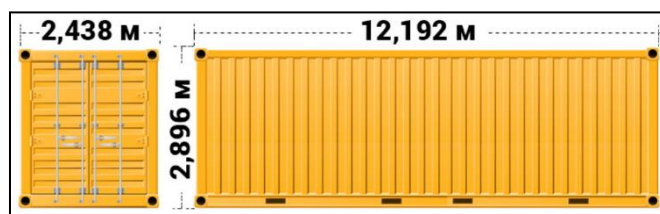


Рис. 7. Зовнішні розміри морського 40-футового НС контейнера

Негабаритними вантажами (out of gauge cargo) при морських перевезеннях вважаються вантажі геометричні розміри яких, один чи усі разом перевищують стандартні розміри 40'(футового) Open Top (контейнера з відкритим верхом (рис. 7) або (контейнера-платформи) Flat-Rack.[15].

При перевезенні негабаритних вантажів у морському сполученні лінійним контейнерним сервісом використовуються контейнери High Cube, Flat Rack і Open Top за участю суден-контейнеровозів, а також паромним сполученням за допомогою суден типу RO-RO.



Рис. 8. Класифікація суден суховантажного транспортного флоту

Досить поширене використання ролкерних технологій, де процес завантаження і вивантаження здійснюється без вантажопідйомних засобів за допомогою відкритих платформ, платформ-трейлерів а також спеціалізованих трейлерів з обладнанням для перевезення та перевантаження негабаритних вантажів [16]. Для перевезення самохідних великогабаритних та великовагових вантажів використовується метод Roll On/Roll Off (заїзд/виїзд), де колісна техніка завозиться на судно і вивозиться з нього (рис. 9). Для несамохідних вантажів використовується метод ролл-трейлерів MAFI (буксирувані низькорамні причепа).

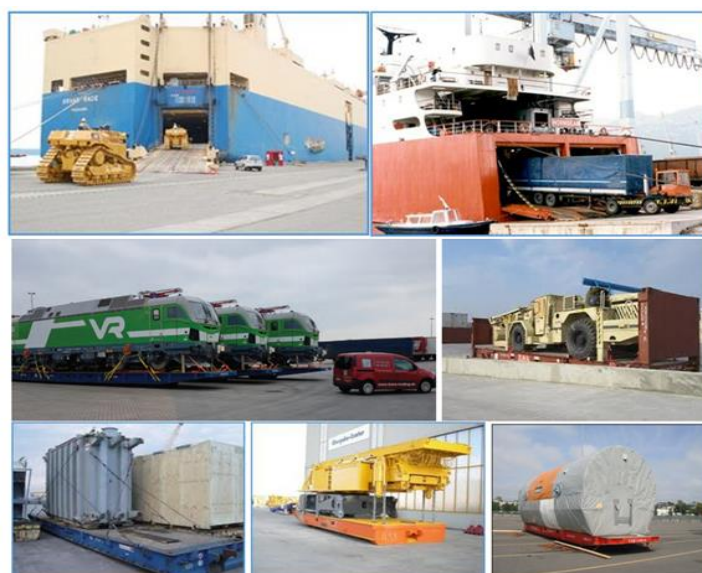


Рис. 9. Негабаритні самохідні та несамохідні вантажі на платформах і флетреках

Вантаж встановлюється на спеціальний майданчик (мафи-трейлер або ролл-трейлер), кріпиться і зачочується на судно (паром) класу RO-RO і далі перевозиться як самохідний вантаж [17]. Контейнер 40' Open Top (з відкритим верхом) призначений для перевезення вантажів, які через габарити чи інші особливості можуть бути завантажені тільки вертикально

(опущені в контейнер зверху) і для негабаритних вантажів, що перевищують висоту стандартного контейнера. Контейнер-платформа, 40' Flat Rack (FR) використовується для негабаритних та/або важковагових вантажів – це платформа (днище контейнера) стандартного розміру без даху і бічних стінок. Торцеві стінки відкидаються для зручності завантаження. Максимальна довжина вантажу для перевезення на 40' FR з опущеними торцевими стінками може досягати 15 м залежно від маршруту доставки і типу судна.

									
	Внутрішні розміри	Вага	Маса		Внутрішні розміри	Розміри дверей	Вага	Обсяг	Маса
40 ФУТ	мм	кг	кг	40 ФУТ	мм	мм	кг	м3	кг
Довжина	12080	5480	25000	Довжина	12035		3700	67,0	28800
Ширина	2420			Ширина	2350	2339			
Висота	2103			Висота	2393	2274			

Рис. 10. Габаритні розміри 40-футового контейнера та 40-футового контейнера флетрека

Окрім цього, для здійснення завдань з перевезення негабаритних вантажів в даний час існують сучасні багатоцільові судна, обладнані потужними та функціональними вантажопідіймними пристроями вантажністю до декількох тисяч тонн. Технології напівзанурення судна під вантажем з можливістю перевозити вантажі значною масою.

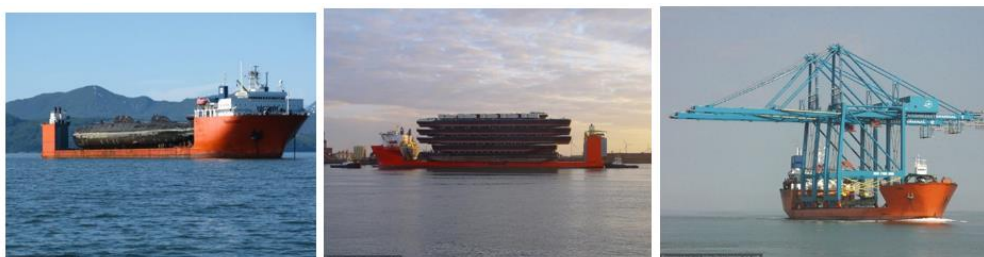


Рис. 11. Спеціалізовані судна для перевезення негабаритних вантажів

Аналіз використання неспеціалізованих суден для перевезення негабаритних вантажів
Морські судна, які класифікуються за призначенням та мають типову спеціалізацію безумовно є найкращим варіантом для перевезення негабаритних вантажів, але відрізняються великою вартістю фрахту та жорсткими лінійними умовами, які вимагають доставку вантажів заздалегідь до підходу судна та зберігання на складах, організацію завантаження і розвантаження, де у підсумку сумарна вартість усіх послуг оплачується з боку відправника. Серед обмежень також висота вантажних палуб і вантажопідйомність в'їзної апарелі, проїзд по якій великогабаритних та важковагових вантажів обмежений допустимою масою. Також головним недоліком ролкерних технологій може бути відсутність відповідного обладнання в деяких портах та на терміналах. Що стосується контейнеровозів, то умовами доставки негабаритного вантажу є викуп всіх місць під контейнер, які займають виступаючі частини

вантажу. Враховуючи безліч переваг, серед яких швидкість та ефективність доставки, використання спеціалізованого флоту вимагає більш значних витрат, тому тарифи лінійних умов вище фрахових ставок трампових перевезень.

Морські перевезення тісно пов'язані з міжнародною торгівлею, тож зміни або падіння ставок на фрахт, зокрема на транспортування насипних і навалочних вантажів, змушує судновласників до пошуку шляхів підвищення конкурентоспроможності суден на ринку транспортних послуг та використання флоту для перевезення нетипових для спеціалізації судна вантажів. Тому в деяких випадках, зважаючи на особливості негабаритних вантажів, такі, як вага, обсяг, нестандартні габарити, рівень складності процесу завантаження і вивантаження, способи розміщення на борту, вартість вантажу та небезпечні властивості, практика застосування неспеціалізованих суден для перевезення негабаритних вантажів набула широкого поширення. Це стає можливим у випадках, коли окремі місця або партії таких вантажів за своїми технічними характеристиками можуть бути розміщені в трюмах та на палубах даних суден, а засоби механізації порту і технологічне забезпечення процесу перевантаження відповідають критеріям обробки вантажу, що пред'являється до перевезення [19, 20].

За часів СРСР технологію перевезення негабаритних палубних вантажів на судах балкерах було впроваджено у Чорноморському морському пароплаванні, де теплохід «Ізгитти Айтиков» одним з перших виконав рейс з вантажем труб з Японії до Іллічівська в 1976 році. Судна цього типу брали на борт 20000-21000 тонн сталевих труб великого діаметру у складі палубного каравану. В 80-ті роки минулого століття балкер «Задонськ» перевозив баржі та маломірні судна на Далекий Схід [18], а також теплохід «Академік Бакулев» та інші судна.



Рис. 12. Вантажні операції з негабаритами

Спираючись на розширення можливостей з перевезення навалювальних вантажів і технологічні інновації, суховантажні судна значно просунулися в проектуванні і експлуатації з моменту започаткування спеціалізованих навалювальних вантажоперевезень. Технічні зміни швидкості, дедвейту, власної ваги і головних двигунів були випробувані для основних типів суховантажних суден, і тенденції, виявлені в цих розробках, показали наслідки як технічних удосконалень, так і економічних факторів. В даний момент судна-балкери складають від 40% усього морського торгового флоту в світі, розподіляючись як за способом завантаження, так і за конструкцією, типах вантажу, розмірами, районами плавання [21,23]. Частина з них потребує портових засобів, інша обладнана власними кранами і пристроями для вантажних операцій. Тому одним з перспективних напрямів розвитку флоту для судноплавних компаній можуть стати проекти ефективного використання таких суден для перевезення великовагових і негабаритних вантажів, як альтернативних, на ринку трапового тоннажу.

Висновки. Проведений аналіз загальної класифікації вантажів та критеріїв класифікації сухих немасових вантажів дозволяє чітко визначити та відокремити поняття негабаритних вантажів, які транспортуються за допомогою водного транспорту. Було розглянуто технологію та спеціалізацію морських суден до такого типу перевезень, проаналізовано можливості використання неспеціалізованих суден.

Для організації процесу перевезення негабаритного вантажу, особливо за допомогою неспеціалізованих суден таких, як балкери та суховантажі, доводиться створювати спеціальні транспортні засоби, розробляти нові методи завантаження, оптимізувати існуючі технологічні способи вантажних операцій, розробляти особливі режими їх перевезення, і насамперед, наукові методи оцінки ефективності таких перевезень та обґрунтування оптимального вибору типу судна залишаються серед тих, що потребують розробки та вдосконалення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Герамі В.Д. Колік А.В. Управління транспортними системами. Транспортне забезпечення логістики. Юрайт, 2015, 512 с.
2. О.М. Горяїнов, Вантажні перевезення, ХНАМГ, Харків, 2009. 108 с.
3. В.Д. Савчук, Технологія перевезення вантажів, НУ ОМА, Одеса. 2015, 200 с.
4. ГОСТ 26653-90: Підготовка генеральних вантажів до транспортування. Загальні вимоги.
5. Наказ Міністерства соціальної політики України, Правила № 62, від 19.01.2018.
6. Інструкція з перевезення негабаритних і великовагових вантажів залізницями України. Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України № 1026 від 23.11.2004.
7. Мельник О.М. Організація перевізного процесу негабаритних вантажів за видами транспорту. Роль та місце морського транспорту в цьому процесі. *Комунальне господарство міст*. 2020, Том 1, Вип. 154, С. 231-239. DOI:10.33042/2522-1809-2020-1-154-231-239.
8. А.М. Котенко, О.В. Лаврухін, П.С. Шилаєв, А.В. Світлична, В.І. Шевченко, О.М. Пилипейко Перевезення негабаритних і великовагових вантажів у транспортних системах. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2014, Вип. 145, С. 50.
9. Горєв А.Э. Вантажні перевезення. М.: Видавничий центр Академія 2013, 304 с.
10. Мельник О.М. Problem statement and prospects for the development of oversized cargo transportation in Ukraine (Стан проблеми та перспективи розвитку перевезень негабаритних вантажів в Україні) *Збірник наукових праць Судноводіння НУОМА*. 2019, Вип. 29, С.142-153. DOI:10.31653/2306-5761.29.219.142-153.
11. Правила дорожнього руху України Пар. 22.5. Перевезення вантажу, від 05.04.2017.
12. Мельник О. Технологічні аспекти морського перевезення негабаритних вантажів. *Наука та інновації-2019 теорія методологія та практика*. Запоріжжя, 2019, Том 3, С. 26-28.
13. Семенів В.М., Болотін В.А., Кустов В.Н. Організація перевезень вантажів. М.: Вид. центр Академія 2013, 304 с.
14. Красильникова О.А., Дронов Е.В. Прямі змішані перевезення та їх ефективність. *Сучасні наукоємні технології*. 2014, № 5-1, С. 141-141.
15. Мельник О.М. Особливості перевезення негабаритних вантажів морським транспортом, Міжнародна науково-практична конференція The results of scientific mind's development. Сеул, Республіка Корея. 2019, Том 1, С. 90-94. DOI:10.36074/22.12.2019.v1.29.
16. Кирилова Е.В., Мелешенко Е.С. Конструктивні особливості вантажопасажирських поромів. *Sworld 2014*, Вип. 2, №1, С. 31-37.
17. Мельник О.М. Технологічні аспекти морського перевезення негабаритних вантажів. *Міжнародна конференція Наука та інновації-2019: теорія, методологія та практика*. Запоріжжя, 2019. Том 3, С. 26-29. EOI:10.11232/2019.12.06.v3.
18. Сторов Г.В. Про проектування суден змішаного ріка-море плавання з урахуванням функції перевезення негабаритних і важковагових вантажів, *Вісник ОНМУ*. 2017, №1(50), С. 5-25.
19. М. Малаксіано, О. Мельник, Vessel selection prospects and suitability assessment for oversized cargo transportation. (Обґрунтування вибору суден враховуючи можливість їх використання для перевезення негабаритних вантажів). *Вчені записки ТНУ ім В. І. Вернадського*. 2020, Том 31 (70) Ч.2 № 1, С.135-140. DOI:10.32838/2663-5941/2020.1-2/25.
20. М. Малаксіано, О. Мельник, Обґрунтування вибору судна для фрахтування на умовах тайм-чартеру з урахуванням можливості його використання для перевезень негабаритних вантажів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2020, № 1, С. 90-96. DOI:10.31649/1997-9266-2020-148-1-90-96.
21. М. Malaksiano, O.Melnyk. Effectiveness assessment of non-specialized vessel acquisition and operation project, considering their suitability for oversized cargo transportation. 2020, Vol 9, No.1, pp 23-34. Transactions on Maritime Science. DOI:10.7225/toms.v09.n01.002.
22. Акімова О. В. Розробка експортно-імпортової схеми організації доставки контейнерів транспортно-експедиторськими компаніями. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 2014, № 6(3) С. 4-10. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.28862.
23. О. Мельник. Питання забезпечення безпеки процесу морського перевезення негабаритних вантажів. *Комунальне господарство міст ХНУМГ ім Бекетова*, 2019, Том (6) № 152, С. 204-208. DOI:10.33042/2522-1809-2019-6-152-204-208.

REFERENCES

1. Gerami, V.D. Kolik, A.V. (2015). *Upravlinnia transportnimi systemamy* [Management of the transport systems]. Logistics transportation services. URAIT, 512.
2. Goryainov, A.M. (2009) *Vantazhni perevezennia* [Freight transportation]. Kharkiv, KhNAMG, 108.
3. Savchuk, V.D. (2015) *Tehnolohiya vantazhnikh perevezen'* [Technology of cargo transportation], NUOMA Odessa, 200.
4. GOST 26653-90 (1990) *Pidhotovka generalnikh vantazhiv do transportuvannia* [Preparation of General cargoes for transportation]. General requirements.
5. *Nakaz Ministerstva sotsialnoi polityky Ukraini* [Order of the Ministry of social policy of Ukraine]. Regulation No. 62, from 19.01.2018.
6. Order of the Ministry of transport and communications of Ukraine. *Instructsiia z perevezennia nehabaritnikh i velikovahovikh vantazhiv zaliznitsiamy Ukrainy* [The instructions for the transportation of oversized and heavy cargoes by Railways of Ukraine]. № 1026 from 23.11.2004.
7. Melnyk, O.M. (2020) *Orhanizatsiia perevezen' nehabaritnikh vantazhiv za vidamy transportu. Rol i mistse mors'koho transportu v ts'omu protsesi*. [Organisation of the transportation process of oversized cargo by modes of transport. Role and position of maritime transport in this process]. *Zhurnal Komunal'ne hospodarstvo mist*. [Urban Public Utilities Journal, Beketov KhNUMG], (1) 154, 231-239, DOI: 10.33042/2522-1809-2020-1-154-231-239.
8. Kotenko A.M., Lavrukhin O.V., Shilaev P.S., Svitlichna A.V., Shevchenko V.I., Pylypeyko O.M., (2014) *Perevezennia nehabaritnikh vantazhiv u transportnykh sistemakh* [Transportation of oversized and heavy cargoes in transport systems] *Zbirnyk naukovikh prats' UkrDAZT* [Collection of scientific works of UkrDAZT], 145, 50.
9. Gorev, A.E. (2013) *Vantazhni perevezennia*, [Cargo transportation], M: Publishing center Academy, 304.
10. Melnyk, O.M. (2019) *Stan problem ta perspektyvy rozvitku perevezen' nehabaritnikh vantazhiv v Ukraini* [Problem statement and prospects for the development of oversized cargo transportation in Ukraine], *Shipping & Navigation*, 29, 142-153, DOI:10.31653/2306-5761.29.219.142-153.
11. Traffic regulations of Ukraine, Chapter 22.5, *Vantazhni perevezennia* [Freight transportation], 05.04.2017.
12. Melnyk, O.M. (2019) *Tekhnolohichni aspekty mors'koho perevezennia nehabaritnikh vantazhiv*. [Technological aspects of marine transportation of oversized cargo]. *Materialy nauk.-prakt. Konf.* [Science and innovation-2019 theory, methodology and practice. Zaporizhzhya], (3), 26-28;
13. Semenov V.M., Bolotin V.A., Kustov V. N., (2013) *Organizatsiia vantazhnikh perevezen'* [Organization of cargo transportation], Publishing center Academy, 304.
14. Krasilnikova E.A., Dronov, E.V. (2014) *Priami zmishani perevezennia ta yikh efektyvnist'* [Direct multimodal transport and their effectiveness]. *Modern high technologies*, 5 (1), 141-141.
15. Melnyk, O.M. (2019) *Osoblyvosti perevezennia nehabaritnikh vantazhiv mors'kym transportom*. [Features of oversized cargo transportation by sea]. *Materialy nauk.-prakt. Konf.* [International Scientific and Practical Conference The results of scientific mind's development], 1, 90-94, Seoul, Republic of Korea, DOI: 10.36074 / 12/22/2019v1.29;
16. Kirillova E.V., Malyashenko E.S. (2014) *Konstruktivni osoblyvosti vantazhopasazhyrs'kikh paromiv*. [Structural features of freight and passenger ferries]. *Sword*, 2, (1), 31-37.
17. Melnyk, O.M. (2019) *Tekhnolohichni aspekty mors'koho perevezennia nehabaritnikh vantazhiv*. [Technological aspects of maritime transportation of oversized cargo]. *Materialy nauk.-prakt. konf.* International Conference Science and Innovation-2019: Theory, Methodology and Practice, 3, 26-29, Zaporizhzhya, EOI: 10.11232 / 2019.12.06.v3.
18. Egorov, G.V. (2017) *O proektuvanni zmishanoho rika-more plavannia z urakhuvanniam funksii perevezennia nehabaritnikh i vazhkovagovikh vantazhiv*. [The design of combined river-sea-going ships, taking into account the function of transportation of oversized and heavy cargoes], *Newsletter of OSMU* 1(50), 5-25.
19. Malaksiano M.O. Melnyk O.M., (2020) *Vessel selection prospects and suitability assessment for oversized cargo transportation*. *Scientific notes of Vernadsky TNU*, 31 (70)2, 1, 135-140. DOI:10.32838/2663-5941/2020.1-2/25.
20. Malaksiano M.O., Melnyk O.M., (2020) *Obgruntuvannia vyboru sudna na umovakh taim-charteru z urakhuvanniam mozhlyvosti yoho vykorystannia dlia perevezennia nehabarytbikh vantazhiv* [Vessel choice justification for chartering on a time-charter basis, considering feasibility for oversized cargo shipment]. *Visnyk VNTU*, [Vinnitsa Polytechnic Institute newsletter] 1, 90-96. DOI:10.31649/1997-9266-2020-148-1-90-96.
21. Malaksiano M., Melnyk O.M., (2020) *Effectiveness assessment of non-specialized vessel acquisition and operation project, considering their suitability for oversized cargo transportation*. *Transactions on Maritime Science*, 9 (1) 23-34. DOI:10.7225/toms.v09.n01.002.
22. Akimova O.V., (2014) *Development of export-import scheme of organization of delivery of containers by freight forwarding companies*. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, 6 (3), 4-10, DOI: 10.15587 / 1729-4061.2014.28862.
23. Melnyk O.M., (2019) *Pytannia zabezpechennia bezpeky protsesu mors'koho perevezennia nehabarytnikh vantazhiv* [Safety issues of oversized cargo transportation by sea]. *Zhurnal Komunal'ne hospodarstvo mist*. [Urban Public Utilities Journal, Beketov KhNUMG], (6) 152, 204-208. DOI:10.33042 / 2522-1809-2019-6-152-204-208.

Алексей Мельник
(аспирант кафедры «Эксплуатация флота и технология морских перевозок»,
Государственный университет инфраструктуры и технологий)

АНАЛИЗ ПОНЯТИЯ «НЕГАБАРИТНЫЙ ГРУЗ» В ОБЩЕЙ СИСТЕМЕ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУЗОВ. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ФЛОТА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПЕРЕВОЗОК НЕГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ

Роль морского транспорта в мировой торговле сложно переоценить. В экономически развитых странах функционирование транспортной системы обеспечивается всеми видами транспорта, однако степень их использования для некоторых регионов и отдельных стран существенно отличается. Несмотря на лидерские позиции наземных видов транспорта, морской транспорт остается самым экономически выгодным для решения транспортных задач по перевозке грузов в межконтинентальном сообщении. В вопросах перевозки специальных, уникальных и дорогостоящих грузов, таких, как негабаритные, однозначное предпочтение отдается морскому транспорту в сравнительной характеристике по стоимости доставки между смежными видами транспорта и с учетом больших расстояний. Высокая провозная способность также существенно выделяет морской по сравнению с наземным или воздушным транспортом, а в некоторых случаях смешанных перевозок с участием морского транспорта оказывается ниже по стоимости сухопутных. Исследование вопросов классификации грузов по различным признакам и взаимосвязь транспортного состояния груза с технологией и организацией транспортного процесса с помощью морского транспорта является актуальной задачей. Характерные особенности такие как транспортные характеристики груза позволяют судить о тех свойствах которые так или иначе влияют на организацию и выбор технологии морской перевозки. С целью осуществления процесса транспортировки негабаритных грузов выбор судна должен быть обусловлен с учетом его специализации для выполнения таких перевозок либо разработки методики обоснования выбора неспециализированного судна в случаях, когда это практически осуществимо. Такого рода перевозки могут осуществляться с помощью судов балкеров, избыток свободного тоннажа которых наблюдается в регионах и странах-потребителях навалочных грузов и экспортирующих металлопрокат и оборудование.

Ключевые слова: классификация грузов, морской транспорт, негабаритные грузы, морские перевозки, специализированный флот, суда балкеры.

Oleksiy Melnyk
(Master mariner, PhD Student, Department of Fleet Operation and Shipping Technology, State University of Infrastructure and Technologies)

ANALYSIS OF THE CONCEPT OF "OVERSIZED CARGO" IN THE OVERALL CARGO CLASSIFICATION SYSTEM. RESEARCH OF TRANSPORT FLEET PECULIARITIES FOR THE ORGANIZATION OF OVERSIZED CARGO TRANSPORTATION PROCESS

The role of maritime transport in world trade cannot be overemphasized. In developed industrialized countries, the transportation system represented by all main modes of transport, but the share of their use differs significantly for some regions and particular countries. Despite the leading position of land transport modes, maritime transport remains the most economically advantageous for solving the freight transportation tasks in intercontinental traffic. When it comes to the transportation of special, unique and expensive cargoes such as oversized cargoes, maritime transport is given clear preference in the comparative characteristics of delivery cost between adjacent modes of transport, taking into account the long distances. High carrying capacity also significantly differentiates between maritime transport and land or air transport. Other things being equal, the cost of maritime as well as multimodal transport is lower than the cost of land transport. The study of the issues of classification of goods by various characteristics and the relationship of the transport condition of cargo with the technology and organization of the transport process by sea transport is an actual task. Characteristic features such as the transport characteristics of the cargo allow estimating those properties, which

somehow influence the organization and choice of technology of sea transportation. In order to carry out transportation of oversized cargoes, the choice of a vessel must be stipulated taking into account the specialization of the vessel for such transportation or development of a methodology to justify the selection of a non-specialized vessel in cases where it is practicable. Such transportations can be performed with the use of bulk carriers with excess free tonnage observed in regions and countries of consumers of bulk cargoes and exporting rolled metal products and equipment.

Keywords: *cargo classification system, maritime transport, oversized cargo, transportation.*

УДК 656.22

*Галина Нестеренко, к.т.н., доцент
(доцент кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень,
Державний університет інфраструктури та технологій)*
*Михайло Музикін, к.т.н.
(старший викладач кафедри безпека життєдіяльності, Дніпровський
національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)*
*Світлана Бібік, к.т.н., доцент
(доцент кафедри безпека життєдіяльності, Дніпровський національний
університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)*
*Діана Горобченко (студентка, Дніпровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)*

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ КОРОТКОПРОБІЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У ТРАНСПОРТНОМУ ВУЗЛІ

У роботі проаналізовано існуючу технологію організації короткопробіжних перевезень та надані пропозиції з удосконалення планування маршрутів рухомого складу для скорочення експлуатаційних витрат та розподілення вантажної роботи між різними видами транспорту у вузлі. Досліджено доцільність прогнозних розрахунків обсягів вантажної роботи на формування достовірного добового планування.

Ключові слова: транспортний вузол; короткопробіжні перевезення; навантаження; різні види транспорту; станція; інфраструктура.

Вступ. Транспорт є найголовнішою сферою інфраструктурного забезпечення населення і промисловості України, важливою складовою частиною її комунікаційної інфраструктури поряд зі зв'язком та електропередачею.

В Україні розвинені практично усі види сучасного транспорту. Наша країна знаходиться у значно вигідних транспортно-географічних умовах. Особливо це стосується напрямку захід-схід: із Західної і Центральної Європи у Східну Європу та Азію й навпаки; а також – північ-південь: із Північної Європи на Близький Схід і навпаки. Це відкриває перед нами багато можливостей.

Важливим завданням комплексного розвитку видів транспорту є вибір раціональних схем доставки вантажів від споживачів (постачальників) до стикових пунктів зовнішнього транспорту (станція, порт) у вузлах. Раціональна схема спрощує загальну схему розвитку вузла і розвантажує основні види транспорту. Оскільки транспортних вузлах більшу частину вантажів становлять вантажі промислових підприємств, необхідно вирішувати проблему внутрішнього транспортного обслуговування і ув'язку його з зовнішнім транспортом.

На промислових підприємствах для цієї мети доцільне застосування автомобільного та конвеєрного транспорту, підвісних канатних доріг, однорейкових підвісних доріг.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Вченими в своїх працях [1, 2] досліджено вплив існуючих умов експлуатації на час транспортування партії вантажу. Виявлені закономірності відхилень від розкладу руху поїздів при доставці вантажів можуть слугувати об'єктивною основою при розрахунках часу доставки вантажів на кожному із визначених етапів перевезення.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-18

Дані характеристики відхилень доцільно представляти в лінгвістичній формі диспетчерському апарату для прийняття подальших рішень. У статті [3] розроблена нова технологія вдосконалення управління поїзними дільницями шляхом розділення їх на оперативні зони. У кожній зоні, що складається з двох-трьох перегонів, рухом поїздів може керувати безпосередньо черговий опорної станції, що виконує в цьому випадку функції поїзного диспетчера. Введення оперативних зон суттєво скоротить інформаційні потоки та полегшить працю поїзних диспетчерів відповідної дільниці. Таким чином будуть створені необхідні умови для творчого прийняття рішень із внутрішньодільничного регулювання рухом поїздів.

В дослідженнях [4, 5] основна увага присвячена раціоналізації розподілу поїздопотоків на дільницях залізничного вузла. Проаналізовано вплив завантаження залізничної лінії на основні показники руху поїздів. Виявилось, що збільшення інтенсивності надходження поїздів призводить до різкого зменшення їх швидкості руху по напрямку. Саме тому доцільно визначати раціональну кількість поїздів по кожному залізничному напрямку.

В роботі [6] виявлено, що головні втрати пропускнуєї спроможності при наданні «вікон» на графіку утворюються не внаслідок перерви руху, а більшою мірою саме в результаті збурень, викликаних ним. Вченими доведено, що існує можливість скорочення втрат пропускнуєї спроможності залізничного напрямку в результаті цілеспрямованого впливу на цей процес. Реалізуючи ці дії на рівні тактичного управління з'явиться можливість скоротити втрати пропускнуєї спроможності та підвищити ефективність перевізного процесу.

Розроблені математичні моделі дозволяють знайти схему обігу локомотивів на залізничній мережі одночасно із знаходженням маси поїздів на маршрутах їх прямування [7, 8] та визначити оптимальний момент призначення часу прибуття поїздів. Таким чином ці технології призначені для визначення раціональної інтенсивності руху поїздопотоків на залізничних напрямках в умовах ризиків з урахуванням обмежених ресурсів тягового рухомого складу.

Дослідження [9, 10] висвітлюють питання розповсюдження затримок поїздів з урахуванням мережевого ефекту. При цьому враховується безпосередня оперативна інформація в умовах існуючої невизначеності у різних поїзних ситуаціях. Передбачається, що затримка визначеної події в майбутньому може бути правильно спрогнозована на основі відомих затримок. Отже, затримка поїзда в майбутньому залежить тільки від поточної затримки, а не від затримки подій їй передуючих.

Вчені в працях [11, 12] намагалися виявити особливості системи призначень вагонопотоків. Для вирішення даної наукової проблеми використовувались методи комплексного мережевого аналізу, котрі визначаються основними статистичними показниками топології мережі. В статті [13] наголошується, що від моменту приймання вантажу до перевезення до моменту отримання його вантажоотримувачем на залізниці досі на сьогодні немає єдиного логістичного ланцюга. В диспетчерському керівництві відсутнє чітке розмежування повноважень та взаємодії на різних рівнях управління, але технологія організації місцевої роботи та її складові досі не змінюються. Аналіз основних параметрів вантажних операцій на залізничній станції проведено в роботі [14] та запропоновано вдосконалену технологію взаємодії між станцією та під'їзними коліями.

Аналіз тенденцій розвитку технологій транспортних процесів довів, що існуючі технології доставки недостатньо адаптивні та не орієнтовані на споживача транспортних послуг [15, 16]. Запропоновано методологічний підхід до організації транспортного процесу на залізницях України, який заснований на логістичних принципах та враховує додаткові фактори, які пов'язані з залізничною інфраструктурою. Даний підхід забезпечує взаємодію з різними видами транспорту та враховує інтереси всіх учасників перевізного процесу.

Для забезпечення оптимального технологічного транспортного процесу передбачається комплексний розвиток залізничних пристроїв (станцій, складських комплексів тощо), промислових підприємств, пристроїв автомобільного, водного, трубопровідного транспорту, перевалочних комплексів. Основною вимогою при комплексному розвитку пристроїв різних видів транспорту у вузлах є забезпечення постійної відповідності їх технічного оснащення наміченим об'ємам роботи. Необґрунтований розвиток окремих видів транспорту, який не

відповідає роботі, яка виконується, призведе до різкого погіршення показників і зниження ефективності розвитку всієї системи вузла в комплексі.

Мета і завдання дослідження. Для скорочення експлуатаційних витрат та розподілення вантажної роботи між різними видами транспорту у вузлі необхідно проаналізувати існуючу технологію організації короткопробіжних перевезень та надати пропозиції з удосконалення планування маршрутів рухомого складу. Також необхідно дослідити доцільність прогнозних розрахунків обсягів вантажної роботи на формування достовірного добового планування.

Матеріали та методи дослідження. Залізничний транспорт України є однією із провідних галузей в дорожньо-транспортному комплексі країни, який забезпечує майже 82 % вантажних і 36 % пасажирських перевезень, які здійснюються всіма видами транспорту. Важливість залізничного транспорту в системі транспортних комунікацій України посилюється і тим, що через територію держави пролягають основні транспортні транс'європейські коридори.

Залізниці України до останнього часу забезпечували потреби економіки і населення у перевезеннях. Досягалося це, в основному, завдяки надлишку технічних потужностей, створених за часів СРСР за рахунок централізованого бюджетного фінансування. За останні більш ніж 25 років капіталовкладення в оновлення основних засобів відбувались виключно за рахунок власних коштів залізниць, які не дозволяють забезпечити навіть нормальне відтворення основних засобів, особливо їх активної частини – рухомого складу. На сьогодні технічний ресурс залізниць практично вичерпано. Існує загроза незабезпечення залізничним транспортом у подальшому потреб економіки України у перевезеннях.

Рационалізація перевезень вантажів – це сукупність заходів, спрямованих на вдосконалення перевізного процесу та транспортно-економічних зв'язків. Вона забезпечується шляхом поліпшення планування та організації перевезень, а також доцільного розміщення виробництва і розвитку науково-технічного прогресу. Рационалізація перевезень – важливий резерв скорочення транспортних витрат і підвищення ефективності суспільного виробництва.

Особливістю рационалізації перевезень вантажів є те, що вона здійснюється не тільки в рамках діяльності транспорту, але і в області матеріального виробництва.

Пропонується зниження витрат досягати, зокрема за рахунок усунення нераціональних перевезень. До таких перевезень належать: зустрічні, перехресні, надмірно далекі, надмірно повторні, дробові, кружні і перевезення, які доцільніше здійснювати іншими видами транспорту. Нераціональним є також транспортування продукції, погано підготовленої до перевезення (табл. 1).

Таблиця 1. Характеристика видів нераціональних перевезень

Види нераціональних перевезень	Характеристика
Зустрічні	Перевезення вантажів в напрямку, зустрічному основному потоку однорідних (взаємозамінних) вантажів. Розрізняють зустрічні перевезення явні, коли однорідний вантаж транспортується в зустрічному напрямку по тій самій ділянці залізниці, і приховані, коли такі перевезення здійснюються по паралельних ділянках залізниці або іншим видам транспорту. З двох зустрічних потоків нераціональним є менший потік.
Перехресні	У випадках, коли допускається схрещення потоків однакового вантажу, що викликає зайвий його пробіг.
Надмірно далекі	Перевезення, здійснювані за межі зон розповсюдження продукції і які викликають зайвий вантажообіг. Ці зони встановлюються схемами нормальних напрямків вантажопотоків. Як правило, надмірно далекі перевезення можуть бути замінені перевезеннями на більш короткі відстані.
Надмірно повторні	Вони виникають у випадках, коли зі станції відправляються вантажі, які до цього на неї були завезені. Так, будь-який вантаж може з підприємства слідувати спочатку на базу, а потім з бази до споживачів.

Дробові	Перевезення, які не забезпечують умов для здійснення їх маршрутами. Вони виникають зазвичай у випадках, коли один споживач отримує вантаж від декількох відправників при можливості і раціональності прикріплення його тільки до одного з них.
Кружні	Перевезення по більш протяжним напрямками замість найкоротших. Але не всі кружні перевезення відносяться до нераціональних. Так, в ряді випадків кружний хід може бути дешевшим. Крім того, деякі кружні перевезення викликаються недостатньою пропускнуою спроможністю ліній.
Транспортування продукції, погано підготовленої до перевезення	Незбагачені руди і кам'яне вугілля, необроблені сирі лісоматеріали, неспресований металобрухт, бавовна-сирець і т. і. (зменшення маси перевезених вантажів за рахунок зниження вмісту в них вологи і порожньої породи, застосування ущільненого навантаження і т. п. призводять до підвищення використання вантажопідйомності і місткості вагонів).

Основним напрямком для АТ «Українська залізниця» (АТ «УЗ») залишаються внутрішні перевезення. Їх частка в загальній структурі становить майже половину від усього вантажообігу. Так, за підсумками 2018 року у внутрішньому сполученні було перевезено 154,9 млн т вантажів, на другому місці – перевезення експортних вантажів (107,4 млн т). В імпортному напрямку за 2018 р. було перевезено всього 40,2 млн т вантажів, в транзитному – 16,3 млн т.

Найбільша станція Тополі в Харківській області за підсумками 2018 року незначно знизилася обсяги (з 31 млн т в 2017 до 28,1 млн т в 2018). Станція працює під експортні вантажі, так само, як і станція Чорноморська в Одеській області, яка за минулий рік отримала 18,1 млн т вантажів і 3,7 млн т відправила. Станції Запоріжжя-Ліве, Кривий Ріг і Маріуполь-Сортувальний 2018 рік закінчили з різницею в 1 млн т. Зокрема, Запоріжжя-Ліве (19 млн т), Кривий-Ріг (18,1 млн т) і Маріуполь-Сортувальний (17 млн т). На рис. 1 подано розподіл станцій з найбільшим вантажопотоком за 2018 рік. Серед регіональних філій АТ «УЗ» трійку лідерів сформували «Придніпровська залізниця», «Донецька залізниця» і «Південно-Західна залізниця» з показниками експортних і внутрішніх вантажоперевезень 97,2 млн т, 44,9 млн т і 41 млн т відповідно (рис. 2).

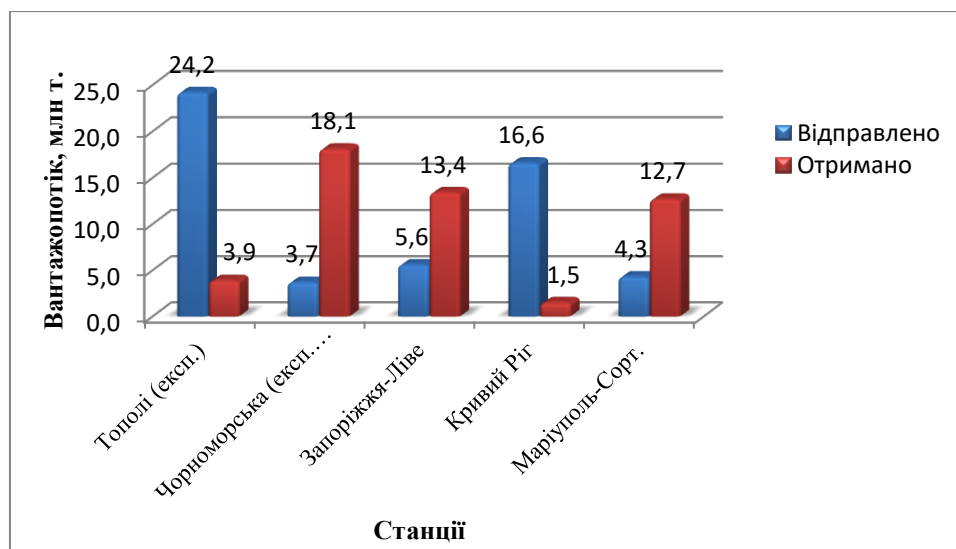


Рис. 1. Розподіл станцій з найбільшим вантажопотоком за 2018 рік

Автомобільний транспорт використовується в дуже широкому діапазоні. Це, перш за все, міські, місцеві і короткопробіжні перевезення. Для більшості вантажів такі перевезення вигідні

на відстанях до 60 км, для цінних і швидкопсувних вантажів – на відстанях понад 200 км. Встановлення сфери доцільності використання автомобільного транспорту для перевезення вантажів залежить від багатьох факторів, головні з яких: вантажопідйомність автомобілів, рід вантажу, наявність упорядкованих шосейних доріг, придатні під'їзди і пункти навантаження – вивантаження на промислових і сільськогосподарських підприємствах. Розширення сфери застосування автомобільного транспорту, особливо для місцевих і короткопробіжних перевезень, забезпечує в транспортних вузлах зниження перевантажувальних робіт і збільшення пропускної та переробної спроможності залізничних станцій.

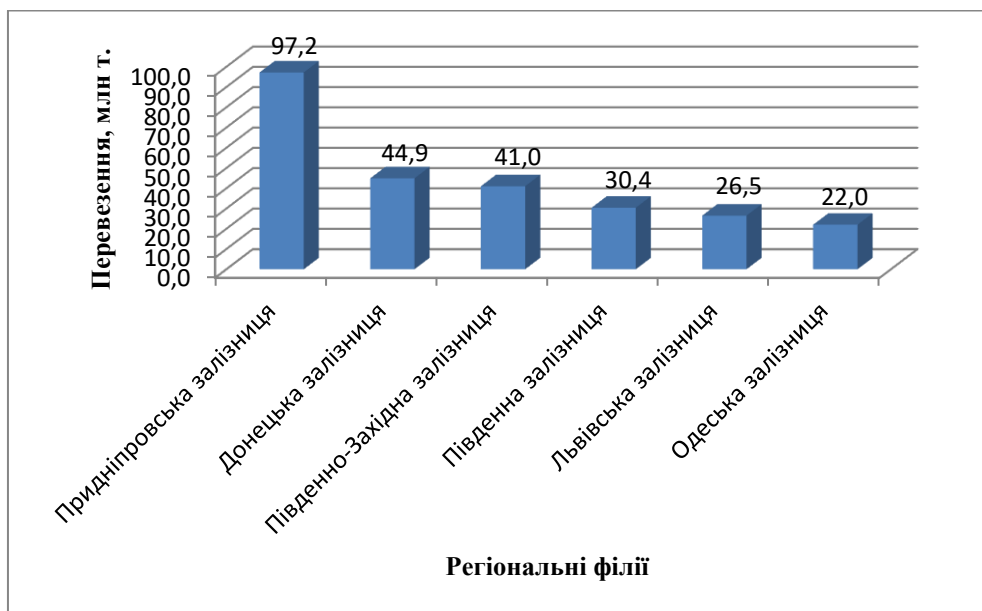


Рис. 2. Гістограма розподілу залізничних вантажів по регіональних філіях АТ «Українська залізниця» за 2018 р. (експорт та внутрішні перевезення)

До числа технологічних заходів можна віднести впровадження в портах прямого варіанта перевантаження вагон-судно, а в вантажних районах – вагон-автомобіль, які значно прискорюють процеси переробки вагонів у вузлах, знижують витрати і скорочують час доставки вантажів.

Залізничним транспортом доцільно перевозити більшість категорій вантажів на відстані понад 200 км, а при достатніх обґрунтуваннях і на менші відстані, що характерно для масових вантажів.

Найбільшим підприємством галузі є АТ «УЗ», яка здійснює централізоване управління процесом перевезень у внутрішньому й міждержавному сполученнях та регулює виробничо-господарську діяльність залізниць.

Варто відзначити, що падіння обсягів вантажоперевезень в 2018 р. спостерігалось в усіх напрямках, крім імпорту, де зростання склало + 5 % рік до року. У внутрішньому сполученні перевезення скоротилися на 3,2 %, експортному – на 7,5 %, транзитному – на 16 %.

У самій АТ «УЗ» на цей рахунок відзначають, що істотний вплив на зниження показників обсягів перевезень зробила втрата потужностей металургійних заводів і вугледобувних підприємств. Але тут варто відзначити, що втрата підприємств на НКТ і відсутність транспортного сполучення з ОРДЛО вже не є ключовими факторами, які слід брати до уваги при аналізі динаміки вантажопотоків рік до року. Оскільки минуло вже майже два роки з того моменту, як дані фактори почали позначатися на перевезеннях і зараз слід враховувати інші тренди. Наприклад, дійсно негативно вплинуло на обсяг залізничних вантажоперевезень

зниження врожаю зернових в 2017/18 МР (- 6,4 %). Часткова переорієнтація на автотранспорт (зростання за 11 місяців + 6,9 % до 171,4 млн т) і річковий транспорт (+ 22,4 % до 9,9 млн т за підсумками року) сталася через нестачу і зношеності тягового рухомого складу АТ «УЗ». Введення і продовження дії російських дискримінаційних обмежень позначилися переважно на обсягах експортних перевезень.

У січні-червні 2019 року українські підприємства транспорту збільшили обсяг вантажоперевезень у порівнянні з аналогічним періодом 2018 року на 8,2 % – до 328,5 млн т. Про це свідчать дані Державної служби статистики України [17]. За інформацією відомства, вантажообіг підприємств транспорту зріс на 3% – до 167,5 млрд тонно-кілометрів (див. табл. 2. Перевезення вантажів залізничним транспортом за видами вантажів у січні 2020 році).

Таблиця 2. Перевезення вантажів залізничним транспортом за видами вантажів у січні 2020 р.

	Перевезено вантажів		у тому числі відправлено вантажів ³
	млн. т	У % до січня 2019 р.	
			млн. т
Усього	23,9	97,4	20,6
у т.ч. за номенклатурою вантажів			
кам'яного вугілля	4,1	76,5	3,4
коксу	0,4	76,6	0,3
нафти і нафтопродуктів	0,8	93,4	0,2
руди залізної і марганцевої	6,9	110,8	6,2
чорних металів	2,0	102,5	1,7
брухту чорних металів	0,1	77,3	0,1
лісових вантажів	0,7	101,7	0,1
хімічних і мінеральних добрив	3,7	108,3	0,4
зерна і продуктів перемелу	0,2	101,4	3,5
цементу	0,1	102,7	0,2
будівельних матеріалів	2,4	105,8	1,4
інших вантажів	2,5	94,3	3,1

Зокрема, вантажоперевезення залізничним транспортом скоротилися на 1,2 % – до 156,8 млн т. У тому числі перевезення вантажів у внутрішньому сполученні і на експорт скоротилися на 0,6% – до 129,9 млн т.

При цьому залізничні перевезення нафти і нафтопродуктів збільшилися на 3,2 %, залізної та марганцевої руди – на 5,6 %, хімічних і мінеральних добрив – на 17,7 %, зерна і продуктів перемолу – на 23,6 %.

У той же час перевезення лісових вантажів скоротилися в 2,5 рази, будівельних матеріалів – на 24,9 %, брухту чорних металів – на 13,3 %, коксу – на 12,7 %, цементу – на 6,1 %, кам'яного вугілля – на 4,9 %, чорних металів – на 2,9 %. В цілому вантажообіг підприємств залізничного транспорту знизився на 0,4 % – до 167,454 млрд тонно-кілометрів. Обсяг залізничних перевезень вугілля за 2014-2018 рр. представлено на рис. 3.

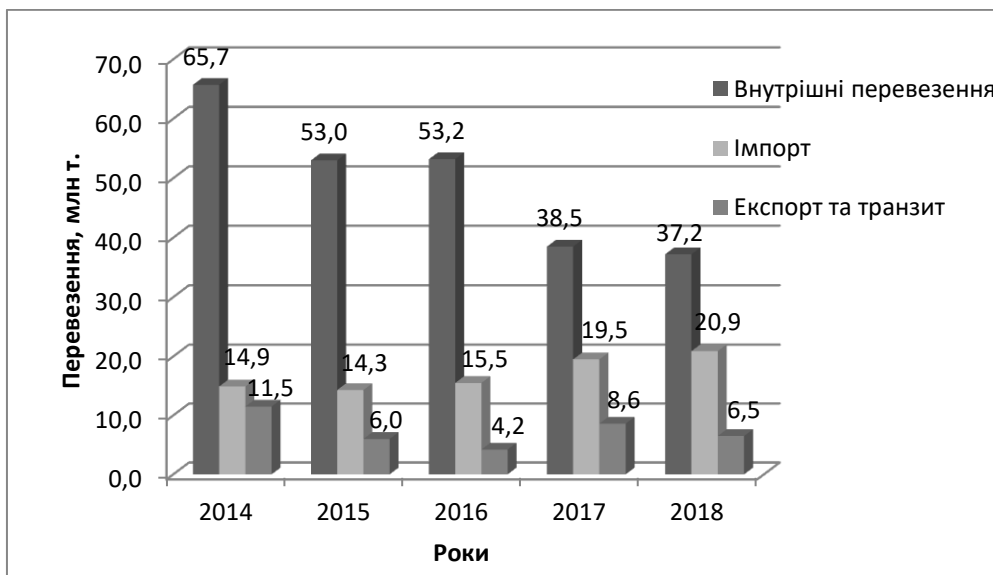


Рис. 3. Обсяг залізничних перевезень вугілля за 2014-2018 рр.

Завдяки ряду досліджень стало відомо, що більша частка короткопробіжних вантажоперевезень здійснюється в межах великих залізничних вузлів або за їх участі [4, 5]. Ці перевезення ускладнюють працю як залізничного, так і міського транспорту, тому що найчастіше виконуються в межах інтенсивного міського руху. Вони характеризуються повільною швидкістю доставки вантажів і високою собівартістю.

Короткопробіжні перевезення, які виконуються всередині деяких вузлів або за їх участі, характеризуються порівняно невеликими відстанями пробігу вантажу між переробками. Обробляються такі дані за формулою:

$$L_{\text{пер}} = \sum p * l / \sum p * k_{\text{пер}},$$

де $L_{\text{пер}}$ – пробіг вантажу між переробками,

$\sum p$ – кількість тон перероблюємого вантажу,

$k_{\text{пер}}$ – кількість переробок, які приходяться на 1 тону.

В співвідношенні зі звітами, середня дальність пробігу між переробками вантажу у складі перевезень всередині вузлів визначилась довжиною 21,9 км. Фактичний пробіг вантажів всередині вузлів перевищує приведені показники середньої дальності перевезень вантажу, які встановлюються за урахуванням найкоротших напрямків та прямування ними. Відмінність в дальності відбувається через неспівпадіння фактичного шляху прямування вантажів найкоротшому, який передбачений планом формування.

Після вище приведених даних, слід зазначити, що при виконанні перевезень всередині вузлів в результаті для більшої частини вагонопотоків вантажів характерне значне перебільшення пробігу, у порівнянні з найкоротшими напрямками при невеликих пробігах між переробками.

Якщо порівнювати з розрахунками, середня дальність перевезень вантажів у вузлах дорівнює приблизно 20,3 км. Аналіз розподілення перевезень за поясами дальності показав, що основна маса вантажів перевозиться в інтервалі до 25 км (77,2 %), мінімальний обсяг перевезень співвідноситься інтервалу дальності від 51 до 75 км (1,3 %).

Розподіл перевезень за інтервалами дальності подано на рис. 4.

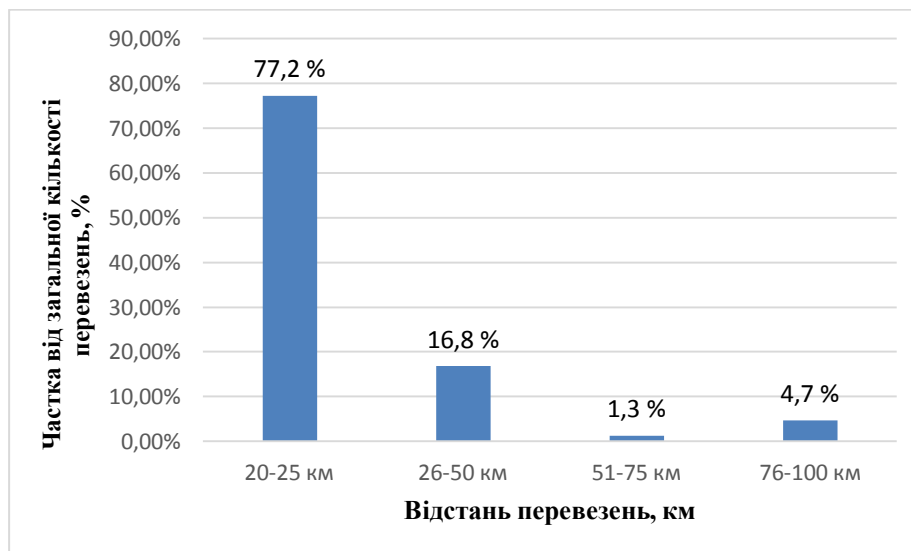


Рис. 4. Діаграма розподілу короткопробіжних перевезень за інтервалами дальності за 2019 р.

Умови перевезень короткопробіжних вантажів у вузлах значно впливають на рівень транспортних витрат, трудових витрат, потреби в рухомого складу, швидкості доставки вантажів споживачів. Із показників, які характеризують умови цих перевезень, велике значення має місце здійснення навантаження і розвантаження: під'їзні шляхи; вантажні двори; місця незагального користування, які знаходяться у межах станції (див. табл. 2 – Тарифи на перевезення 1 т вантажу на 500 км у внутрішньому сполученні).

Навантаження і розвантаження відбувається в основному на під'їзних коліях і лише близько 8 % цих операцій відбувається на вантажних дворах та на місцях незагального користування, які розташовані у межах станцій вузлів. На рис. 5 наведено показники навантаження вантажів найбільшими вантажовідправниками України.

У складі короткопробіжних перевезень, які існують в Україні переважають вагонні відправки (99,4 %). На частку контейнерних та дрібних відправок припадає лише близько 0,6 % загальних розмірів відправлення.

Усі ці особливості короткопробіжних перевезень, які виконуються за участі великих транспортних вузлів, призводять до збільшення витрат на ці перевезення як за рахунок більш великої собівартості, так і у зв'язку зі збільшенням загальної вартості перевезення.

Висновки. Раціональність залізничних перевезень, які доцільніше здійснювати іншими видами транспорту, визначається техніко-економічними розрахунками або заздалегідь встановленими сферами раціонального використання різних видів транспорту. Найбільш характерними нераціональними перевезеннями є короткопробіжні перевезення. Для багатьох вантажів короткопробіжними вважаються перевезення їх в вагонах на відстані в межах 30-50 км, іноді більше. Ці перевезення ефективніше здійснювати автомобільним транспортом. Нераціональними є також перевезення по залізницях в навігаційний період паралельно водними шляхами. На визначених напрямках економічно вигідніше застосовувати змішані залізнично-водні перевезення. Дуже ефективним є перекачування нафтових вантажів трубопроводами в порівнянні з перевезенням їх в залізничних цистернах.

Найбільш складними в транспортних вузлах є перевезення вантажів у змішаному сполученні з перевантаженням з одного виду транспорту на інший. Від раціональної організації таких перевезень багато в чому залежить ефективна робота транспортного вузла в цілому.

Таблиця 2. Тарифи на перевезення 1 т вантажу на 500 км у внутрішньому сполученні (в доларах США)

Вид вантажу	Україна	Росія	Білорусь	Казахстан	Польща	Словаччина	Угорщина	Румунія
Вугілля	3,97	7,29	5,31	3,03	51,68	45	57,47	25,17
Залізна руда	3,97	8,43	4,65	3,65	51,68	45	57,47	25,17
Чорні метали	8,72	15,31	15,67	9,87	51,68	45	57,47	25,17
Зерно та продукти помолу	6,5	11,59	7,43	3,86	51,68	45	55,75	25,17
Цемент	4,55	8,52	3,95	5,07	51,68	45	58,43	25,17
Щебінь	3,15	6,34	3,12	4,35	51,68	45	58,43	25,17
Нафтопродукти світлі	12,96	19,42	15	11,34	51,68	45	57,47	25,17

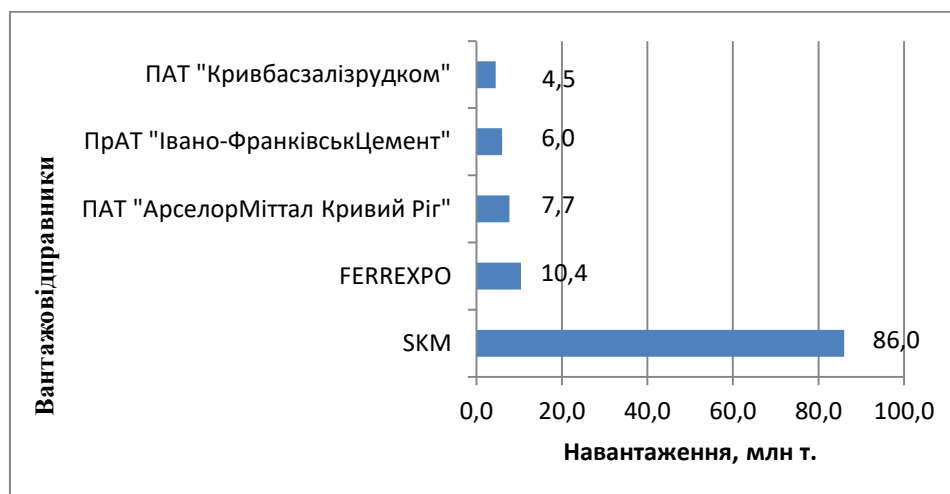


Рис. 5. Навантаження вантажів найбільшими вантажовідправниками України за 2018 р. (експорт та внутрішні відправлення)

У зв'язку з цим необхідне вдосконалення організації перевезень в змішаному сполученні за рахунок розвитку технічних засобів різних видів транспорту і підвищення їх потужності, впровадження новітніх засобів механізації та автоматизації вантажно-розвантажувальних робіт і прогресивних технологічних процесів, заснованих на прогностичних розрахунках обсягів майбутньої роботи, точної інформації про час надходження вантажів, чіткого і достовірного добового планування всієї роботи перевантажувального комплексу.

Велике значення має врахування особливостей короткопробіжних перевезень і при визначенні собівартості перевезень для збалансованості рівня вантажних тарифів. Таким чином зменшення відстані короткопробіжних перевезень має значний вплив на вартість перевезень. Для того, щоб зменшити дані відстані є декілька варіантів: замінити ці перевезення автомобільними, якщо це

можливо, або забезпечити раціоналізацію планування маршрутів рухомого складу та розподіляти вантаж таким чином, щоб послідовно збирати його зі складів, без зайвих заїздів на склади.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kyrychenko H., Statyvkа Yu., Strelko O., Berdnychenko Yu., Nesterenko H. Assessment of cargo delivery quality using fuzzy set apparatus. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7. Iss. 4.3. P. 262–265.
2. Kyrychenko H., Nesterenko H., Avramenko S., Lytvynenko S., Yanovsky P., Lytvynenko L. Use of cargo delivery process model for the assessment of logistics service quality. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7. Iss. 4. P. 4514–4518.
3. Nesterenko H. I., Bech P. V., Muzykin M. I., Avramenko S. I. Improvement of Supervisory Control of Train Movement by Means of Introduction of Operational Zones. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2018. № 6 (78). С. 59–70. doi: 10.15802/stp2018/154060
4. Nesterenko G. I., Chibisov Yu. V. Optimal route selection when distributing the freight trainflow in the railway junction with the consideration of the level of the traffic capacity saturation. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2012. №3 (174). С. 138–143.
5. Музикіна Г. І. Оптимизация распределения поездопотоков на участках железнодорожного узла. Автоматика : Сборник трудов конференции, Одесса, 2007. С. 202–204.
6. Нестеренко Г. І., Музикін М. І. Вплив «вікон» на пропускну спроможність залізничного напрямку. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2014. Вип. 3 (51). С. 24–33.
7. Butko T., Prokhorchenko A., Muzykin M. An improved method of determining the schemes of locomotive circulation with regard to the technological peculiarities of railcar traffic. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 5. No. 3 (83). P. 47–55. doi: 10.15587/1729-4061.2016.80471
8. Butko T., Muzykin M., Prokhorchenko A., Nesterenko H., Prokhorchenko H. Determining the Rational Motion Intensity of Train Traffic Flows on the Railway Corridors with Account for Balance of Expenses on Traction Resources and Cargo Owners. *Transport and Telecommunication Journal*. 2019. Vol. 20. Iss. 3. P. 215–228. doi: 10.2478/ttj-2019-0018
9. Butko T., Prokhorchenko A., Golovko T., Prokhorchenko H. Development of the method for modeling the propagation of delays in noncyclic train scheduling on the railroads with mixed traffic. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1. No. 3 (91). P. 30–39. doi: 10.15587/1729-4061.2018.123141
10. Kecman P., Corman F., Meng L. Train delay evolution as a stochastic process. *Proceedings of the 6th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis: RailTokyo2015*. 2015. 19 p.
11. But'ko T., Prokhorchenko A. Investigation into Train Flow System on Ukraine's Railways with Methods of Complex Network Analysis. *American Journal of Industrial Engineering*. 2013. Vol. 1(3). P. 41–45.
12. Zhu E., Crainic T. G., Gendreau M. Scheduled Service Network Design for Freight Rail Transportation. *Operations Research*. 2014. Vol. 62. Iss. 2. doi:10.1287/opre.2013.1254
13. Левин Д. Ю. Адаптация организации местной работы к современным условиям. *Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ)*. 2018. № 77(1). С. 18–26. doi: 10.21780/2223-9731-2018-77-1-18-26
14. Nesterenko H., Muzykin M., Avramenko S. Practical Aspects of Improving the Operation Interaction of the Station and Sidings. *Transport Problems : VIII International Symposium of Young Researchers, Katowice, 2019*. P. 927–934.
15. Lomotko D. V., Alyoshinsky E. S., Zambrybor G. G. Methodological Aspect of the Logistics Technologies Formation in Reforming Processes on the Railways. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 14. P. 27262–27266. doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.482
16. Нагорний С. В., Огороков А. М., Переста Г. І. Дослідження розвитку системи транспортного обслуговування вантажовласників у транспортних вузлах. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В.Лазаряна*. 2011. Вип. 38. С.58–62.
17. Державна служба статистики України <http://www.ukrstat.gov.ua/>

REFERENCES

1. Kyrychenko, H., Statyvkа, Yu., Strelko, O., Berdnychenko, Yu. & Nesterenko, H. (2018) Assessment of cargo delivery quality using fuzzy set apparatus. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.3), 262–265.
2. Kyrychenko, H., Nesterenko, H., Avramenko, S., Lytvynenko, S., Yanovsky, P. & Lytvynenko, L. (2018) Use of cargo delivery process model for the assessment of logistics service quality. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4), 4514–4518.
3. Nesterenko, H. I., Bech, P. V., Muzykin, M. I. & Avramenko, S. I. (2018) Improvement of Supervisory Control of Train Movement by Means of Introduction of Operational Zones. *Science and Transport Progress*, 6 (78), 59–70. doi: 10.15802/stp2018/154060
4. Nesterenko, G. I. & Chibisov, Yu. V. (2012) Optimal route selection when distributing the freight trainflow in the

railway junction with the consideration of the level of the traffic capacity saturation. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 3(174), 138–143.

5. Muzykina, H. I. (2007) Optimizatsiya raspredeleniya poezdopotokov na uchastkakh zheleznodorozhnogo uzla [Optimization of the distribution of train flows in sections of the railway junction]. *Avtomatika : Conference proceedings*, 262–265. [in Russian]

6. Nesterenko, H. I. & Muzykin, M. I. (2014) Vplyv «vikon» na propusknu spromozhnist zaliznychnogho naprjamku [Influence of maintenance windows on the working capacity of railway route]. *Science and Transport Progress*, 3 (51), 24–33. [in Ukrainian]

7. Butko, T., Prokhorchenko, A. & Muzykin, M. (2016) An improved method of determining the schemes of locomotive circulation with regard to the technological peculiarities of railcar traffic. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/3 (83), 47–55. doi: 10.15587/1729-4061.2016.80471

8. Butko, T., Muzykin, M., Prokhorchenko, A., Nesterenko, H. & Prokhorchenko, H. (2019) Determining the Rational Motion Intensity of Train Traffic Flows on the Railway Corridors with Account for Balance of Expenses on Traction Resources and Cargo Owners. *Transport and Telecommunication Journal*, 20 (3), 215–228. doi: 10.2478/tjt-2019-0018

9. Butko, T., Prokhorchenko, A., Golovko, T. & Prokhorchenko, H. (2018) Development of the method for modeling the propagation of delays in noncyclic train scheduling on the railroads with mixed traffic. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/3 (91), 30–39. doi: 10.15587/1729-4061.2018.123141

10. Kecman, P., Corman, F. & Meng L. (2015) Train delay evolution as a stochastic process. *Proceedings of the 6th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis: RailTokyo2015*. 19.

11. But'ko, T. & Prokhorchenko A. (2013) Investigation into Train Flow System on Ukraine's Railways with Methods of Complex Network Analysis. *American Journal of Industrial Engineering*, 1(3), 41–45.

12. Zhu, E., Crainic, T. G. & Gendreau M. (2014) Scheduled Service Network Design for Freight Rail Transportation. *Operations Research*, 62(2), doi:10.1287/opre.2013.1254

13. Levin, D.Y. (2018) Adaptatsiya organizatsii mestnoy raboty k sovremennym usloviyam [Adaptation of local work organization to modern conditions]. *Vestnik of the Railway Research Institute*, 77(1), 18–26. doi: 10.21780/2223-9731-2018-77-1-18-26. [in Russian]

14. Nesterenko H., Muzykin M., Avramenko S. (2019) Practical Aspects of Improving the Operation Interaction of the Station and Sidings. *Transport Problems : VIII International Symposium of Young Researchers*, Katowice. 927–934.

15. Lomotko, D. V., Alyoshinsky, E. S. & Zambrybor, G. G. (2016) Methodological Aspect of the Logistics Technologies Formation in Reforming Processes on the Railways. *Transportation Research Procedia*, 14, 27262–2766. doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.482

16. Naghornyj, Je. V., Okorokov, A. M. & Peresta, H. I. (2011) Doslidzhennja rozvytku systemy transportnogho obslughovuvannja vantazhovlasnykiv u transportnykh vuzlakh [Research of the development of transport service system for cargo owners in transport nodes]. *Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 38, 58–62. [in Ukrainian]

17. State Statistics Service of Ukraine <http://www.ukrstat.gov.ua/>

Галина Нестеренко, к.т.н., доцент

(доцент кафедри технологій транспорту та управління процесами перевозок, Государственный университет инфраструктуры и технологий)

Михаил Музыкин, к.т.н.

(старший преподаватель кафедры безопасность жизнедеятельности, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна)

Светлана Бирик, к.т.н., доцент

(доцент кафедри безпеки життєдіяльності, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

Диана Горобченко (студентка, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИИ КОРОТКОПРОБЕЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК В ТРАНСПОРТНОМ УЗЛЕ

В работе проанализирована существующая технология организации короткопробежных перевозок и представлены предложения по совершенствованию планирования маршрутов подвижного состава для сокращения эксплуатационных расходов и распределения грузовой работы между различными видами транспорта в узле. Исследована целесообразность

прогнозных расчетов объемов грузовой работы на формирование достоверного суточного планирования.

Ключевые слова: транспортный узел; короткопробежные перевозки; погрузка; различные виды транспорта; станция; инфраструктура.

Nesterenko Halyna, PhD, Associate Professor

(Associate Professor of the Department of Transport Technology and Process Control Traffic, State University of Infrastructure and Technologies)

Muzykin Mykhailo, PhD

(Senior Lecturer of the Department of Life Activity Safety, Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan)

Bibik Svetlana, PhD, Associate Professor

(Associate Professor of the Department of Life Activity Safety, Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan)

Horobchenko Diana

(Student of the Faculty of Process Control Traffic, Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan)

ANALYSIS OF TECHNOLOGY FOR ORGANIZING SHORT-DISTANCE RUNS AT THE TRANSPORT NODE

This article analyzes the existing technology in organizing short-distance runs and offers proposals for improving the planning of rolling stock routes in order to reduce operating costs and distribute the freight operation between different modes of transport. The expediency in prediction calculations of the freight operation volume on the formation of reliable daily planning has been researched. The rationality of railway transportation, which is more expedient to carry out by other modes of transport, is determined by technical and economic calculations or pre-established areas for the rational use of different transport modes. The most typical irrational transportation is short-distance runs. Cargo transportation in cars at a distance of 30-50 km, sometimes more is considered as short-distance one. These transportations are more efficient to carry out by road. Transportations by railways are also irrational during the navigation period in parallel by waterways. In certain areas, it is economically more profitable to use mixed rail-water transportation. It is important to take into account the peculiarities of short-distance runs and when determining the cost of transportation to balance the level of freight tariffs. Thus, reducing the length of short-distance runs has a significant impact on the cost of transportation. In order to reduce these distances, there are several options: replace these transportations by road, if it is possible, or to rationalize the planning of rolling stock routes and distribute the cargo in such a way as to consistently collect it from the warehouses, without unnecessary runs to the warehouses.

Keywords: transport node; short-distance runs; load; different types of transport; station; infrastructure.

УДК 656.614.3

*Болгов Олексій Сергійович, ш.д.п.,
(аспірант Державного університету інфраструктури та технологій);
Тихонов Ілля Валентинович, д.т.н., с.н.с, к.д.п.,
(доцент кафедри Судноводіння та управління судном
Державного університету інфраструктури та технологій)*

МЕТОД АНАЛІТИЧНОГО ОПИСУ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ НАВАЛЮВАЛЬНОГО СУДНА З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ЇХ ПРОВЕДЕННЯ ЗА КРИТЕРІЄМ ЗБЕРЕЖЕННЯ МОРЕХІДНОГО СТАНУ СУДНА

У статті наведено метод аналітичного опису вантажних операцій навалювального судна з метою формування оптимальної стратегії проведення вантажних операцій по критерію безперервного збереження морехідного стану судна.

Ключові слова: навалювальне судно, вантажні операції, аналітичний опис, план вантажних операцій, морехідний стан судна, оптимізація вантажних операцій.

Вступ. Порядок проведення вантажних операцій в портах, значною мірою, визначає морехідну безпеку навалювальних суден (балкерів). До вантажних операцій балкерів висувуються підвищені вимоги в частині забезпечення загальної поздовжньої та місцевої міцності. Наявні суднові інструменти не дозволяють оперативно здійснювати планування вантажних операцій і контроль стану судна під час їх проведення. Виникає необхідність у розробці нових автоматизованих систем планування і контролю вантажних операцій балкерів.

Постановка проблеми і аналіз останніх досліджень. Існуючі програми для розрахунку вантажних операцій навалювальних суден, як правило, відображають заданий статичний стан судна і не виконують автоматичний розподіл вантажу і баласту залежно від числа та потужності вантажних засобів порту. Вантажний помічник капітана змушений витратити чимало часу на підготовку плану завантаження (вивантаження) судна. Нерідко вже заздалегідь складений і затверджений капітаном план, доводиться оперативно змінювати через зміну умов проведення вантажних операцій в порту. Таким чином, при високій інтенсивності вантажних операцій на сучасних балкерних терміналах та нестачі часу на підготовку і перевірку нового плану, виникає небезпека перевантаження окремих трюмів, що в свою чергу може бути причиною порушення місцевої та поздовжньої міцності корпусу і погіршення морехідних якостей судна.

Більшість сучасних суден також не володіють автоматизованими засобами контролю навантажень на корпус, які були б інтегрованими з вантажною програмою судна.

Рішенням даної проблеми має стати створення комп'ютерної системи, яка дозволить автоматизувати створення плану завантаження (вивантаження) навалювального судна, а також оперативно вносити зміни в нього при зміні зовнішніх умов проведення вантажних операцій.

В основу такої системи повинен бути покладений метод (стратегія) оптимального розподілу певної кількості навалювального вантажу з урахуванням наявних портових вантажних засобів і конструктивних особливостей самого судна, з постійним дотриманням параметрів його посадки, остійності та загальної поздовжньої міцності.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-19

Створення такого методу має базуватися на теоріях системного аналізу і дослідження операцій, а також на інструментах математичного моделювання.

Для вирішення поставленого завдання необхідно, в першу чергу, провести формалізацію вантажних операцій в термінах математичної моделі судна та виявити функціональний взаємозв'язок між параметрами, що впливають на морехідність судна.

Очевидно, розробка згаданого методу є актуальним і перспективним напрямом наукових досліджень, спрямованих на забезпечення безпеки балкерів.

Питання морехідної безпеки навалювальних суден розглянуті в роботах [1, 2, 3].

Вимоги до планування та проведення вантажних операцій балкерів висвітлені в конвенціях прийнятих Міжнародною морською організацією (ІМО) [4, 5, 6, 7], а також в роботах [8, 9, 10].

Принципи теорії системного аналізу і теорії дослідження операцій викладені в роботах [11, 12, 13].

Застосування теорій системного аналізу та дослідження операцій до вантажних операцій навалювальних і універсальних суден було запропоновано в роботах Гайченя О.В., Соколова М.Ю., Клименко Е.Н. [14, 15, 16].

У роботах Цимбала М.М. і Васькова Ю.Ю. [17, 18] запропоновано математичні моделі оптимізації процесів завантаження балкерів, а також рішення задачі за допомогою методів лінійного програмування.

Мета дослідження. Формальний опис процесу вантажних операцій навалювального судна та постановка задачі щодо їх оптимізації за фактором безперервного збереження морехідного стану судна. Вибір оптимальної стратегії проведення вантажних операцій, як основи побудови плану завантаження судна.

Матеріали і методи дослідження. У загальному вигляді метою дослідження є розробка способу автоматичного планування вантажних операцій (створення плану завантаження-вивантаження) навалювальних суден, який забезпечить безперервне збереження морехідного стану судна в будь-який момент вантажних операцій. Іншими словами, процеси зміни кількості вантажу і баласту під час вантажних операцій повинні забезпечити допустимі значення посадки судна, його остійності, загальної поздовжньої та місцевої міцності.

Якщо є непорожня множина серед альтернативних реалізацій проведення вантажних операцій, які відповідають вимогам цієї мети, то виникає можливість вибору оптимальної стратегії проведення вантажних операцій, що дає найкращі результати по деякому заданому критерію оптимальності. Тому головним завданням дослідження є знаходження способу вибору стратегії проведення вантажних операцій, що забезпечує необхідний екстремум критерію оптимальності [15, 18].

Для побудови математичної моделі оптимізації вантажного процесу навалювального судна необхідно провести його формалізацію, яка систематизує складні різномірні процеси, пов'язані з вантажними і баластними операціями.

Для опису процесу завантаження судна необхідно визначити множину або простір його станів M_s , причому кожний конкретний стан завантаження судна m_s , що належить множині M_s доцільно визначити як сукупність параметрів посадки, остійності та міцності судна, які залежать від розподілу вантажу по трюмах, а баласту і запасів по танках. Таким чином, m_s можна прийняти, як певний варіант розподілу вантажу, баласту і запасів по відповідних трюмах, танках і приміщеннях [17].

Стан судна m_s аналітично можна записати в такий спосіб:

$$m_s = \{W_{ci}, W_{bi}, W_{zi}\}, \quad (1)$$

де W_{ci} – вага вантажу в i -му вантажному приміщенні;

W_{bi} – вага баласту в i -му баластному танку;

W_{zi} – вага запасів в i -му танку або приміщенні;

$i = 1, 2, \dots, n$ – кількість вантажних приміщень, баластних танків і приміщень для запасів відповідно.

Таким чином, стан судна m_s можна представити у вигляді n -мірного вектора, число елементів якого дорівнює сукупній кількості трюмів, танків і приміщень, які беруть участь в процесі вантажних операцій.

Вагові навантаження W_{ci} , W_{bi} і W_{zi} у векторі стану судна m_s визначені верхніми межами $\overline{W_{ci}}$, $\overline{W_{bi}}$ і $\overline{W_{zi}}$, які визначаються вантажомісткістю приміщень і танків, а також місцевою міцністю вантажних приміщень та виступають обмежувачами за технологічними параметрами.

Таким чином, процес завантаження судна являє собою траєкторію вектора $m_s(t)$ в просторі можливих станів M_s . Причому, простір станів M_s є n -мірним з кінцевим значенням (обмеженнями за технологічними параметрами) по кожному виміру.

З іншого боку, завантаження судна характеризується його морехідною безпекою, яку можна охарактеризувати вектором B_m , компонентами якого є параметри посадки, остійності та міцності.

До параметрів посадки судна відносяться: середня осадка T_{cp} з урахуванням щільності забортної води, його диферент d та крен θ [2].

Середня осадка T_{cp} є функцією водотоннажності судна D та щільності забортної води ρ , тобто:

$$T_{cp} = f(D, \rho), \quad (2)$$

Дана залежність представляється у табличному або у графічному вигляді в «Інформації про остійність і міцність судна» (Loading manual).

У свою чергу водотоннажність судна D є сумою ваги порожнього судна, ваги судових запасів (палива, масла, води), включаючи вагу оснащення, провізії та екіпажу, ваги вантажу і ваги баласту, та виражається такою залежністю:

$$D = W_0 + W_3 + W_c + W_b, \quad (3)$$

де, W_0 – вага порожнього судна;

W_3 – вага судових запасів;

W_c – вага вантажу;

W_b – вага баласту.

Диферент судна d визначається наступним аналітичним виразом:

$$d = \frac{D(x_g - x_c)}{\bar{M}}, \quad (4)$$

де D – водотоннажність судна;

x_g , x_c – абсциса центру тяжіння і абсциса центру величини відповідно;

$\bar{M}$ – момент, диферентуючий судно на 1 см.

Значення абсциси центра тяжіння x_g обчислюється за допомогою формули:

$$x_g = \frac{M_x}{D}, \quad (5)$$

де, x_g – значення абсциси центру тяжіння;

M_x

D – водотоннажність судна.

Статичний момент мас судна щодо центру тяжіння площини ватерлінії M_x розраховується за формулою, що враховує складові моменту від порожнього судна, суднової постійної (константи), суднових запасів, прийнятого вантажу і баласту:

$$M_x = W_0 X_0 + W_k X_k + \sum_{i=1}^n W_{zi} X_{zi} + \sum_{i=1}^n W_{ci} X_{ci} + \sum_{i=1}^n W_{bi} X_{bi}, \quad (6)$$

де W_0 – вага порожнього судна;

W_k – вага суднової постійної (константи);

W_{zi} – кількість суднових запасів в i -му приміщенні;

W_{ci} – кількість вантажу в i -му трюмі;

W_{bi} – кількість баласту в i -му танку;

X_0 – абсциса центру тяжіння порожнього судна;

X_k – абсциса центру тяжіння суднової постійної;

X_{zi} – абсциса центру тяжіння суднових запасів в i -му приміщенні;

X_{ci} – абсциса центру тяжіння вантажу в i -му трюмі;

X_{bi} – абсциса центру тяжіння баласту в i -му танку;

$i = 1, 2, \dots, n$ – кількість вантажних приміщень, баластних танків та приміщень для запасів відповідно.

Абсциса центру величини x_c , в свою чергу, є функцією середньої осадки, тобто водотоннажності D і щільності забортної води ρ :

$$x_c = f(D, \rho), \quad (7)$$

В «Інформації про остійність і міцність судна» ця залежність, як правило, представлена в табличному вигляді.

Величина моменту, диферентуючого судно на 1 см $\bar{M}$, також залежить від середньої осадки і є функцією водотоннажності D та щільності забортної води ρ :

$$\bar{M} = f(D, \rho), \quad (8)$$

Остійність судна характеризується такими параметрами: початковою метацентричною висотою h , перекидаючим моментом $M_{пер}$, максимальним плечем діаграми статичної остійності l_{max} , кутом максимуму діаграми статичної остійності θ_{max} , кутом заходу діаграми статичної остійності $\theta_{зах}$ [1, 3].

Початкова метацентрична висота h визначається таким виразом:

$$h = z_m - z_g + \Delta h, \quad (9)$$

де, z_g – аплікати відповідно поперечного метацентру і центру тяжіння;

Δh – поправка до початкової метацентричної висоти за наявності вільних поверхонь рідинних запасів та баласту.

У свою чергу, апліката метацентру z_m залежить від середньої осадки судна. Як правило, ця залежність виражається у табличному вигляді в судових документах.

Апліката центру тяжіння z_g залежить від статичного моменту мас M_z щодо основної площини судна і водотоннажності та розраховується за формулою:

$$z_g = \frac{M_z}{D}, \quad (10)$$

Величина статичного моменту M_z визначається наступним виразом:

$$M_z = W_0 Z_0 + W_k Z_k + \sum_{i=1}^n W_{zi} Z_{zi} + \sum_{i=1}^n W_{ci} Z_{ci} + \sum_{i=1}^n W_{bi} Z_{bi}, \quad (11)$$

де W_0 – вага порожнього судна;

W_k – вага судової постійної (константи);

W_{zi} – кількість судових запасів в i -му приміщенні;

W_{ci} – кількість вантажу в i -му трюмі;

W_{bi} – кількість баласту в i -му танку;

Z_0 – апліката центру тяжіння порожнього судна;

Z_k – апліката центру тяжіння судової постійної;

Z_{zi} – апліката центру тяжіння судових запасів в i -му приміщенні;

Z_{ci} – апліката центру тяжіння вантажу в i -му трюмі;

Z_{bi} – апліката центру тяжіння баласту в i -му танку;

$i = 1, 2, \dots, n$ – кількість вантажних приміщень, баластних танків і приміщень для запасів відповідно.

Поправка до початкової метацентричної висоти Δh залежить від числа заповнених частково танків та розраховується за формулою:

$$\Delta h = - \frac{\sum_{i=1}^n I_{xi} \rho_{pi}}{D}, \quad (12)$$

де I_{xi} – момент інерції площі вільної поверхні рідини в i -му танку, відносно її центральної поздовжньої осі;

ρ_{pi} – щільність рідини в i -му танку;

D – водотоннажність судна;

$i = 1, 2, \dots, n$ – кількість частково заповнених танків.

Для того щоб ця поправка дорівнювала нулю, танки повинні бути заповнені не менше ніж на 95% від їх обсягу [1, 3, 9].

Вихідні змінні, що характеризують остійність, можуть бути отримані, як характеристики діаграм статичної та динамічної остійності. У свою чергу, діаграми статичної та динамічної остійності будуються по плечах статичної остійності, відповідним деяким кутам крену судна. Плечі статичної остійності можуть бути отримані або за допомогою універсальної діаграми остійності, або при використанні пантокарен, наведених у судовій документації.

Плечі діаграми статичної остійності, а також сама діаграма, залежать від водотоннажності D , щільності забортної води ρ і статичного моменту M_z . Значення перекидаючого моменту $M_{пер}$, кута заходу діаграми $\theta_{зах}$, максимального плеча відновлюючого моменту l_{max} і відповідного йому кута крену θ_{max} знаходяться за допомогою діаграм статичної остійності, вони також є функціями водотоннажності, щільності забортної води і статичного моменту.

Постійний кут крену судна θ , крім перерахованих величин, в основному залежить від статичного моменту мас відносно діаметральної площини судна M_y , яка визначається таким виразом:

$$M_y = W_0 Y_0 + W_k Y_k + \sum_{i=1}^n W_{zi} Y_{zi} + \sum_{i=1}^n W_{ci} Y_{ci} + \sum_{i=1}^n W_{bi} Y_{bi}, \quad (13)$$

де W_0 – вага порожнього судна;

W_k – вага судової постійної (константи);

W_{zi} – кількість судових запасів в i -му приміщенні;

W_{ci} – кількість вантажу в i -му трюмі;

W_{bi} – кількість баласту в i -му танку;

Y_0 – ордината центру тяжіння порожнього судна;

Y_k – ордината центру тяжіння судової постійної;

Y_{zi} – ордината центру тяжіння судових запасів в i -му приміщенні;

Y_{ci} – ордината центру тяжіння вантажу в i -му трюмі;

Y_{bi} – ордината центру тяжіння баласту в i -му танку;

$i = 1, 2, \dots, n$ – кількість вантажних приміщень, баластних танків та приміщень для запасів відповідно.

Можна записати наступну функціональну залежність крену судна:

$$\theta = f(D, \rho, M_z, M_y), \quad (14)$$

До параметрів міцності відносяться перерізуючі сили SF_i та згинальні моменти BM_i в i -му перерізі корпусу, що виникають при навантаженні судна, а також місцеву міцність i -го трюму P_i .

При розрахунках міцності корпусу судна враховують сили ваги та сили підтримки, що діють на судно. Причому сили ваги, що діють на корпус, представлені у вигляді двох складових – сил ваги порожнього судна та сил ваги від навантажень, що складають дедвейт [17].

В цьому випадку згинальні моменти BM_i і перерізуючі сили SF_i для кожного з перерізів судна виражаються у вигляді суми трьох доданків:

$$BM_i = BM_0 + BM_D + BM_{СП}, \quad (15)$$

$$SF_i = SF_0 + SF_D + SF_{СП}, \quad (16)$$

де BM_i , SF_i – згинальні моменти та перерізуючі сили в i -му перерізі судна;

BM_0 , SF_0 – складові перерізуючої сили та згинального моменту відповідно від сил ваги порожнього судна;

BM_D , SF_D – складові перерізуючої сили та згинального моменту відповідно від навантажень, що входять в дедвейт;

$BM_{СП}$, $SF_{СП}$ – складові перерізуючої сили і згинального моменту відповідно від дії сил підтримки.

Складові згинального моменту і перерізуючої сили, під дією сил ваги порожнього судна, для кожного контрольованого перерізу є постійними і наводяться у судновій документації. Складові величини згинального моменту і перерізуючої сили від навантажень, що входять в дедвейт, однозначно визначаються розміщенням вантажів по трюмах, баласту по танках і запасів у відповідних приміщеннях та ємностях, й розраховуються у табличному вигляді за допомогою елементарних співвідношень.

Для розрахунку складових перерізуючої сили і згинального моменту від дії сил підтримки в інструкції з контролю міцності є інформація у вигляді таблиць або графіків.

Місцева міцність P_i характеризується відношенням кількості прийнятого вантажу до площі вантажного приміщення, в якому вантаж знаходиться. У судновій документації вказані допустимі навантаження на квадратний метр площі вантажних приміщень та верхньої палуби.

Таким чином, вектор морехідної безпеки B_m формально можна відобразити таким чином:

$$B_m = (T_{cp}, d, \theta, h, M_{оп}, l_{max}, \theta_{max}, \theta_{зах}, SF_i, BM_i, P_i), \quad (17)$$

Вектор морехідної безпеки B_m в якості компонентів містить перерізуючі сили SF_i , згинальні моменти BM_i і характеристики місцевої міцності P_i , які й самі є векторами, причому розмірність SF_i і BM_i визначається числом контрольованих перерізів судна, а P_i – кількістю вантажних приміщень.

Слід зазначити, що кожному із станів m_s простору M_s відповідає певне значення вектора B_m . Тому вектор B_m можна записати наступним чином [17]:

$$B_m = F_0 (M_s), \quad (18)$$

Вектор B_m характеризується областю допустимих значень, яка визначається вимогами ІМО або класифікаційних товариств щодо значень параметрів посадки, остійності та міцності. Тому допустимій області вектора B_m , яку позначимо B_{md} , відповідає допустима область M_{sd} простору станів M_s .

Межі допустимої області вектора морехідної безпеки B_{md} є вихідними і визначають граничні значення допустимої області простору станів M_{sd} .

Якщо граничні значення допустимої області вектора морехідної безпеки позначити $\overline{B_{md}}$, а межі допустимої області простору станів – $\overline{M_{sd}}$, то можна записати наступне співвідношення [17]:

$$\overline{M_{sd}} = F_0^{-1} (\overline{B_{md}}), \quad (19)$$

Отже, процес завантаження судна $m_s(t)$ повинен перебувати в допустимій області M_{sd} та не перевищувати допустимі межі $\overline{M_{sd}}$.

Проведення суднових вантажних операцій слід розглядати як оптимізаційну задачу.

Оптимізаційна задача може бути сформульована таким чином. Обмеженнями виступають вимоги до посадки, остійності, часу проведення вантажних операцій і кількості прийнятого вантажу, а як критерій оптимальності вибираються параметри загальної поздовжньої міцності, які слід мінімізувати у процесі вантажних операцій. Як обмеження слід враховувати лімітуючі значення виробничих параметрів [14].

Оптимізаційна задача, що описує процес проведення вантажних операцій судна, може бути записана таким чином:

$$\begin{aligned} K(u_0) = \text{extr} K(u_0 \in U), \\ b_m \in B_m \\ m_p \in M_p \end{aligned} \quad (20)$$

де K – критерій оптимальності;

b_m , B_m – відповідно параметри, що характеризують посадку, остійність і міцність судна, та безліч їх допустимих значень;

m_p , M_p – відповідно виробничі параметри і безліч їх допустимих значень;

u_0 – оптимальна стратегія задачі;

U – безліч допустимих стратегій.

У виразі перша рівність показує, що при оптимальній стратегії u_0 , що належить допустимій множині U , критерій оптимальності K досягає екстремального значення, за умови

дотримання обмежень за станом морехідності судна (другий рядок виразу) і обмежень по виробничих параметрах (третій рядок виразу).

Альтернативними стратегіями U , з яких вибирається оптимальна стратегія u_0 , є можливі завантаження судна (вантажні плани). Для навалювальних суден обмеження по посадці, остійності і міцності характеризуються не тільки процесом зміни кількості вантажу W_c і баласту W_b , а й значеннями моментів M_x , M_y і M_z , що визначають посадку і остійність судна, при цьому також відбуваються зміни перерізуючих сил SF і згинальних моментів BM .

Обмеження щодо виробничих параметрів m_p враховують специфіку проведення вантажних операцій залежно від типу судна. Так, для навалювальних суден повинні враховуватись такі обмеження:

- кількість портових вантажних засобів, задіяних в обробці судна;
- кількість етапів завантаження (вивантаження) судна;
- сукупність трюмів і танків на кожному з етапів, які задіяні у вантажних і баластних операціях;
- кількість вантажу, що підлягає обробці для кожного з трюмів, а також кількість баласту - для кожного з танків;
- швидкісні зміни вантажних і баластних операцій на кожному з етапів.

Перераховані обмеження мають відношення до формування оптимізаційної задачі разом з обмеженнями, що забезпечують морехідність судна.

Отримання оптимальної стратегії завантаження u_0 , при якій досягається екстремум критерію K , зводиться до використання одного з методів математичного програмування, що адекватно описує вихідну постановку задачі.

Висновки. Розглянуто метод формалізації вантажних операцій навалювального судна та виявлений функціональний взаємозв'язок між параметрами, що впливають на морехідний стан судна під час операцій судна в порту. Процеси зміни кількості вантажу і баласту під час вантажних операцій, повинні на всьому їх протязі забезпечувати допустимі значення посадки судна, його остійності, загальної поздовжньої та місцевої міцності. На основі цього, проведено постановку задачі щодо вибору оптимальної стратегії проведення вантажних операцій за критерієм безперервного дотримання морехідних якостей судна.

Метою дослідження є подальше створення комп'ютерної системи, яка дозволить автоматизувати створення плану завантаження (вивантаження) навалювального судна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Перси Х.Дж. Остойчивость морского судна (Метрическая система). Санкт-Петербург: ООО «МОРСАР», 2007. С. 72-77.
2. Топалов В. П., Торский В.Г., Березовский П. Е. Обеспечение безопасной эксплуатации балкеров. Одесса: Астропринт, 2001. С. 14-20.
3. I.C. Clark BSc MSc. The Management of Merchant Ship Stability, Trim & Strength. The Nautical Institute of London. 2011. P. 266-270.
4. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) – Consolidated Edition, 2014. IMO. London. 2014.
5. The International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC), 2018 Edition. IMO. London. 2018.
6. BLU Code: Code of practice for the safe loading and unloading of bulk carriers. IMO. London. 1998.
7. Load Lines - 2005 Consolidated Edition, 3-rd Edition. IMO. Publisher: Polestar Wheatons Ltd, 2016.
8. Барановский М.Е. Безопасность морской перевозки навалочных грузов. Москва: Транспорт, 1987. С. 45-47.
9. Capt. Jack Isbester. Bulk carrier practice. Second edition. Nautical Institute. 202 Lambert Road, London, 2010. P.168-169.
10. David J Eyres, G. J. Bruce. Ship Construction. 7th Edition. Butterworth-Heinemann. Oxford. 2012. P. 363-370.
11. Таха Х. Введение в исследование операций. Москва: Вильямс, 2001. С. 84-103.
12. Моудер Д. Исследование операций. Т. 1. Методологические основы и математические методы. Москва: Мир, 1981. – С. 37-63.

13. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. Одесса: Латстар, 2002. С. 7-14.
14. Гайченя А.В. Аналитическое описание загрузки судна методами теории исследования операций. Судовождение: Сборник научных трудов ОНМА, Вып. 27. - Одесса: 2017. С. 77-85.
15. Соколов М.Ю. Метод формирования грузовой программы судна с использованием ранее созданной базы данных. Судовождение: Сборник научных трудов ОНМА, Вып. 17. - Одесса: 2009. С. 168-173.
16. Клименко Е.Н. Система автоматизированного контроля грузовых операций балкера. Судовождение: Сборник научных трудов ОНМА, Вып. 24. - Одесса: 2014. С. 84-92.
17. Цымбал Н.Н., Васьков Ю.Ю. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов. Судовождение: Сборник научных трудов ОНМА, Вып. 7. - Одесса: 2004. С. 3-10.
18. Цымбал Н.Н., Васьков Ю.Ю. Выбор оптимального варианта проведения грузовых операций навалочных судов. Автоматизация судовых технических средств: Сборник научных трудов ОНМА, Вып.9. - Одесса: 2005. С. 68-74.

REFERENCES

1. H. J. Pursey. (2007). Ostoychivost morskogo sudna (Metriceskaya sistema) [Merchant ship stability (Metric edition)]. S-Petersburg, MORSAR, 72-77. (in Russian).
2. Topalov V. P., Torskiy V. G., Berezovskiy P. E. (2001). Obespechenie bezopasnoi expluatatsyi balkerov [Ensuring the safe operation of bulk carriers]. Odessa, Astroprint, 14-20. (in Russian).
3. I.C. Clark BSc MSc. (2011). The Management of Merchant Ship Stability, Trim & Strength. The Nautical Institute of London. 266-270. (in English).
4. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). Consolidated Edition. 2014, IMO, London, 2014. (in English).
5. The International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC). 2018 Edition. IMO, London, 2018. (in English).
6. BLU Code: Code of practice for the safe loading and unloading of bulk carriers. IMO. London, 1998. (in English).
7. Load Lines. 2005 Consolidated Edition, 3-rd Edition. IMO. London, 2016. (in English).
8. Baranovskiy M. E. (1987). Bezopasnost morskoy perevozki navalochnih грузов [Safety in the carriage of bulk cargo by sea]. Moscow, Transpor., 45-47. (in Russian).
9. Capt. Jack Isbester. (2010). Bulk carrier practice. Second edition. Nautical Institute, London, 168-169. (in English).
10. David J Eyres, G. J. Bruce. (2012). Ship Construction. 7th Edition. Butterworth-Heinemann, Oxford, 363-370. (in English).
11. Hamdy A. Taha. (2001). Vvedenie v issledovanie operatsiy [Operations Research. An Introduction]. Moscow, Vilams, 84-103. (in Russian).
12. Joseph J. Moder. (1981). Issledovanie operatsiy [Handbook of Operations Research]. Moscow, Mir, 7-14. (in Russian).
13. Vagushenko L. L., Tsymbal N. N. (2002). Systemy avtomaticheskogo upravleniya dviganiem sudna [Automatic vessel navigation control systems]. Odessa, Latstar, 37-63. (in Russian).
14. Gaychenya A. V. (2017). Analiticheskoe opisanie zagruzki sudna metodami teorii issledovaniya operatsiy [Analytical description of the vessel loading by methods of operations research]. Sbornik nauchnih trudov "Sudovozdenie" [Research journal "Shipping and Navigation"], 42, Odessa, ONMA, 77-85. (in Russian).
15. Sokolov M. Y. (2009). Metod formirovaniya gruzovoi programmy sudna s ispolzovaniem ranee sozdannoi bazy dannih [Method of construction of the vessel's cargo program using the previously established database]. Sbornik nauchnih trudov "Sudovozdenie" [Research journal "Shipping and Navigation"] 18, Odessa, ONMA, 168-173. (in Russian).
16. Klymenko E.N. (2014). Sistema avtomatizirovannogo kontrolya gruzovih operatsiy balkera [Bulk carrier's cargo operations automatic control system]. Sbornik nauchnih trudov "Sudovozdenie" [Research journal "Shipping and Navigation"] 24, Odessa, ONMA, 84-92. (in Russian).
17. Tsymbal N. N., Vaskov Y. Y. (2004). Formirovaniye optimizatsionnoy zadachi provedeniya gruzovih operatsiy navalochnyh sudov [Formation of the optimization task of carrying out the loading operations of bulk carriers]. Sbornik nauchnih trudov "Sudovozdenie" [Research journal "Shipping and Navigation"] 7, Odessa, ONMA, 3-10. (in Russian).
18. Tsymbal N. N., Vaskov Y. Y. (2005). Vibor optimalnogo varianta provedeniya gruzovih operatsiy navalochnyh sudov [Selection of the best option of cargo operations handling for bulk carriers]. Sbornik nauchnih trudov "Sudovozdenie" [Research journal "Shipping and Navigation"] 9, Odessa, ONMA, 68-74. (in Russian).

*Болгов Алексей Сергеевич, ш.д.п.,
(аспирант Государственного университета инфраструктуры и технологий);
Тихонов Илья Валентинович, д.т.н., с.н.с, к.д.п.,
(доцент кафедры судовождения и управления судном Государственного университета
инфраструктуры и технологий)*

**МЕТОД АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ
НАВАЛОЧНОГО СУДНА С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ ПРОВЕДЕНИЯ
ПО КРИТЕРИЮ СОХРАНЕНИЯ МОРЕХОДНОГО СОСТОЯНИЯ СУДНА**

В статье приведен метод аналитического описания грузовых операций навалочного судна с целью формирования оптимальной стратегии проведения грузовых операций по фактору непрерывного сохранения мореходного состояния судна.

***Ключевые слова:** навалочное судно, грузовые операции, аналитическое описание, план грузовых операций, мореходное состояние судна, оптимизация грузовых операций.*

*Oleksiy Bolgov,
(Graduate student of the State University of Infrastructure and Technologies);
Ilyya Tykhonov, Doctor of Technical Sciences,
(Associate Professor of the Department of Navigation and Ships' Management, State University
of Infrastructure and Technologies)*

**METHOD FOR ANALYTICAL DESCRIBING OF THE BULK CARRIER LOADING
OPERATIONS AND OPTIMIZING THEM ACCORDING TO THE CRITERION
OF THE NAUTICAL SAFETY**

The nautical safety of bulk carriers is largely determined by their correct loading. Available ship instruments do not allow for prompt cargo operations planning and real time vessel state controlling during their realization. The vessel responsible officer has to spend considerable time preparing the plan for loading (unloading) the vessel. The plan, often already prepared and approved by the Captain, has to be changed rapidly due to the changed conditions of cargo operations at the port. The high intensity of cargo operations at modern bulk terminals and the lack of sufficient time to prepare and verify the new cargo plan may create a risk of cargo holds being overloaded. This may lead to deterioration in the local and longitudinal strength of the hull and a violation in the seaworthiness of the vessel. The solution to this problem should be the creation of new computer system that will automate the bulk carriers loading operations planning, as well as making possible rapid changes to prepared plan when it become necessary. Such system should be based on a method (strategy) for optimization the distribution of a certain quantity of bulk cargo, taking into account the availability of port facilities and the design of the vessel itself, her nautical parameters, stability, longitudinal and local strength. In order to achieve this objective, it is necessary to formalize the cargo operations in terms of the mathematical model of the vessel and to establish the functional relationship between the parameters affecting the seaworthiness of the vessel. Obviously, the development of this method is a promising area of scientific research aimed to improve the safety of bulk vessels.

The article describes the method of formalization of the loading operations of a bulk vessel with the task of choosing the best strategy for carrying out cargo operations according to the criterion of continuous seaworthiness of the vessel.

***Keywords:** bulk carrier, cargo operations, analytical description, loading (discharging) plan, nautical safety, cargo operations optimization.*

УДК 656.614

Юлія Коскіна, к.т.н.

*(доцент, кафедра «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»,
Одеський національний морський університет)*

Олексій Дрожжін, к.т.н.

*(доцент, кафедра «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»,
Одеський національний морський університет)*

АНАЛІЗ ОБСЯГІВ ТА ДИНАМІКИ «МОРСЬКОГО» ЕКСПОРТУ ЗЕРНА УКРАЇНОЮ

Наведено аналітичний огляд динаміки та географії експорту зернової продукції з України, визначено участь морських портів у транспортному обслуговуванні зернових вантажопотоків. Аналіз обсягів відвантажень зернових вантажів на експорт українськими портами подано у динаміці за останні п'ять років із визначенням участі основних та другорядних портів та значущості зернових вантажопотоків для кожного порту.

Ключові слова: експорт зернової продукції, морські порти, перевалка зернових вантажів.

Вступ. Значні обсяги виробництва та експорту зернової продукції Україною завжди слугували підставами для віднесення нашої країни до основних постачальників зерна на світовий ринок. На сьогодні наша країна входить до числа провідних виробників та експортерів зерна [1]. Рік від року протягом останнього періоду часу врожаї, що збирають вітчизняні аграрії, на тлі порівняно обмеженого внутрішнього споживання сприяють нарощуванню експортних потужностей. Рік від року обсяги продажів українського зерна до інших країн стабільно зростають, що потребує і певного транспортного забезпечення експортних поставок. За даними Державного комітету статистики України [2, 3], до кінцевих споживачів українське зерно доставляється переважно морським шляхом. Наразі ситуація із вітчизняним торговельним флотом, що склалась на сьогодні, не дозволяє здійснювати перевезення вантажів зовнішньої торгівлі вітчизняними суднами. Як відомо, на безпосередньому перевезенні вантажів працюють залучені на різних умовах судна іноземних власників. При цьому відвантаження зернової продукції здійснюється через причали українських портів, що переконує у важливості їх як елементів транспортного ланцюга організації та здійснення експорту зернової продукції морським шляхом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Враховуючи значущість зернового сектору для вітчизняної економіки та зовнішньоторговельної сфери, недивним виглядає той факт, що обсяги, динаміка та географія експорту української зернової продукції постійно привертає увагу фахівців. Численні публікації, які базуються на статистичних даних, аналізують позиції України на світовому ринку виробництва та торгівлі зерновими культурами. Серед останніх публікацій можна назвати зокрема [4-8]. На базі статистичних даних автори як наводять огляд та аналіз вітчизняної «зернової» сфери, так і вдаються до розробки певних прогнозів обсягів виробництва та динаміки експорту основних культур, що вирощуються та експортуються нашою країною.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-20

Такі оглядові публікації охоплюють різні часові інтервали, що як надає ретроспективне уявлення, так і оцінює поточну ситуацію щодо позицій України на світовому ринку зернових. Важливість зернової продукції у загальній структурі експортних товарних поставок з України наголошено у публікаціях [9-11], присвячених оцінкам стану та динаміки української зовнішньої торгівлі. Особливий акцент саме на експортній складовій зернового ринку України зроблено у [12-15]. На тлі значної кількості публікацій проблеми транспортування зернових вантажів здебільшого розглядаються у логістичному контексті [16-21], висвітлюючи питання загального характеру (наприклад, як у [20,21] – накопичення та зберігання), без окремої уваги до основних видів транспорту, якими забезпечується транспортне обслуговування зернового експорту.

Відтак, за мету цього дослідження покладено надати аналітичний огляд участі морських портів України у забезпеченні транспортного обслуговування вантажопотоків експортної зернової продукції.

Основний матеріал. Основу вітчизняного зерновиробництва та відповідно – зерноекспорту, становлять три культури – пшениця, кукурудза та ячмінь. Інші зернові – гречка, жито, овес тощо – виробляються у значно менших обсягах та відповідно мають вкрай малу частку у загальній структурі виробництва та експорту зернових вантажів (рис. 1).

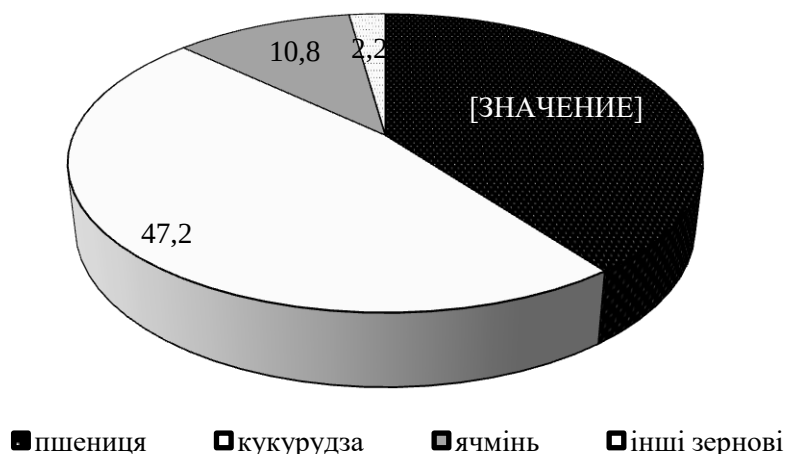


Рис. 1. Структура українського зернового виробництва у середньому за період 2015-2019 рр.

Загальні обсяги виробництва основних різновидів зернових культур протягом тривалого періоду часу демонструють тенденцію росту (останніми роками перевищують 60 млн. т на рік) – із відповідним ростом і експортних поставок. На сьогодні наша країна експортує більше 40 млн. т [2] вирощеної зернової продукції, що становить $\frac{2}{3}$ загального виробництва (рис. 2).

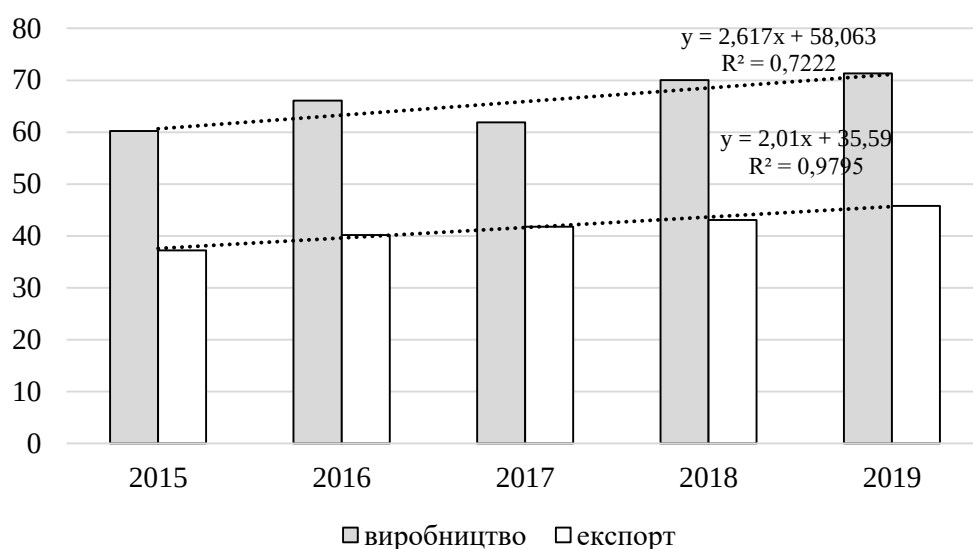


Рис. 2. Виробництво та експорт зернових Україною, млн. т

Як зазначено вище, зерновий експорт з України сформовано здебільшого пшеницею, ячменем та кукурудзою [2], обсяги поставок яких на експорт проілюстровано рис. 3.

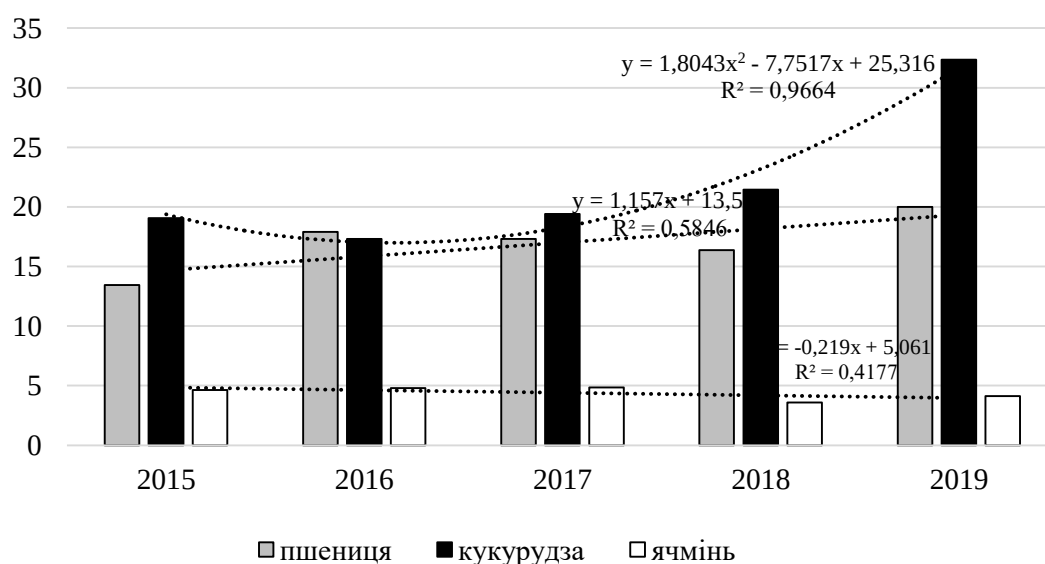


Рис. 3. Обсяги поставок основних українських зернових на експорт, млн. т

Географічна структура українського зернового експорту має чітку прив'язку до різновиду зернової продукції, а відтак, відповідний аналіз слід подавати окремо по пшениці, кукурудзі та ячменю, ринки збуту яких є різними. Рис. 4 ілюструє розподіл товарів українського експорту між регіонами розташування країн збуту саме за основними зерновими у середньому за період 2015-2019 рр.

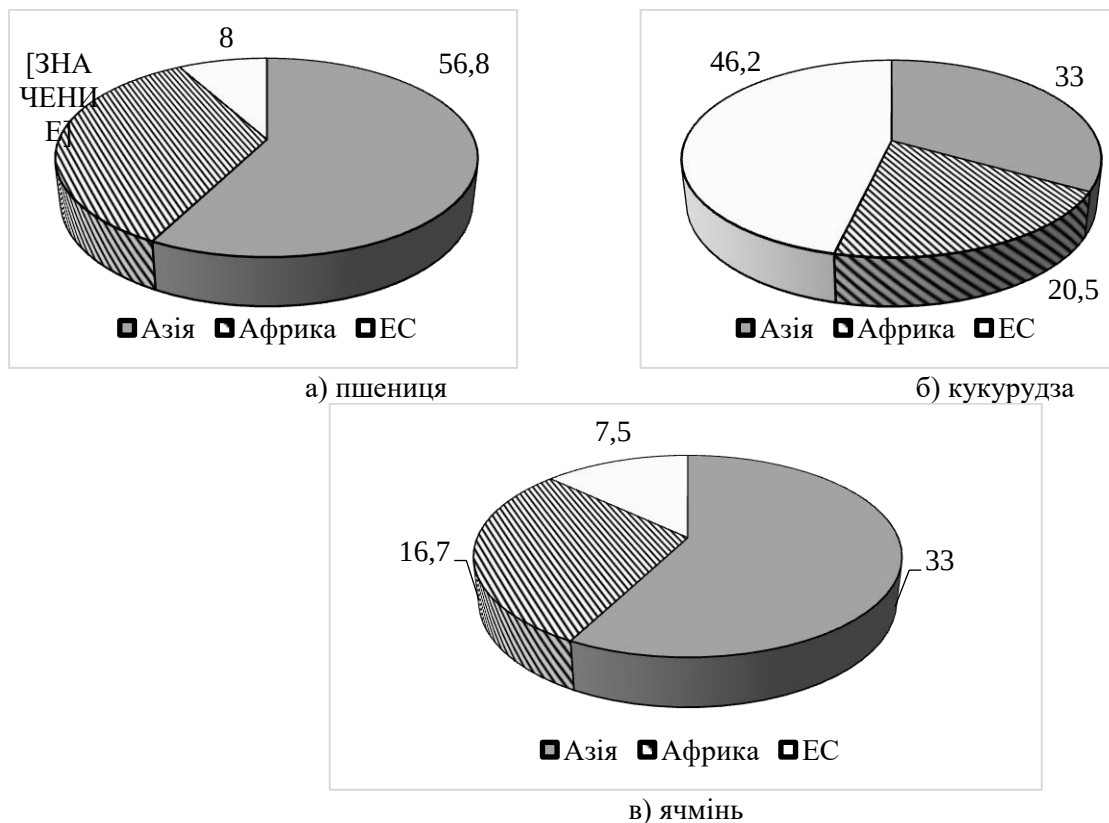


Рис. 4. Частка регіонів постачання різновидів українського зерна, %

Як можна переконатися, від 50 до 60% усієї української пшениці, яка надходить на експорт, купується країнами азіатського регіону; на африканські країни перепадає приблизно третина усього експорту пшениці. У Європі купують українську пшеницю не дуже охоче – цей ринок здебільшого орієнтований на вітчизняну кукурудзу. При чому частка пшениці у загальноукраїнському експорті до цих країн значно зменшилась – з 13% у 2015 р. до трохи більше 3% за результатами 2019 р., наразі у період між цими двома точками утримувавшись на стабільному рівні біля 7-8%. Приблизно половина кукурудзи, яку Україна відвантажує на експорт, купується саме європейськими країнами. Третина поставок здійснюється до країн Азії, а біля 20% – до країн африканського континенту. Азіатські країни лідирують і за обсягами закупівель вітчизняного ячменя – третина продається саме до азіатських країн. Друге місце посідає Африка, країни ЄС купують вітчизняний ячмінь у порівняно незначних кількостях.

Окремою позицією можна виділити країни регіону MENA – Близького Сходу та Північної Африки. Цей регіон є найбільшим світовим ринком збуту зернових культур, оскільки внутрішнє споживання продукції значно більше за обсяги власного виробництва. До регіону надходить до половини світового імпорту ячменя, більше чверті – пшениці та чверть – загального обсягу кукурудзи. Враховуючи географічне розташування, країни MENA є вкрай привабливим регіоном для вітчизняних виробників та експортерів зерна – на частку країн MENA перепадає більше третини усього українського експорту пшениці та майже $\frac{3}{4}$ ячменя; майже 40% проданої української кукурудзи також надійшло саме до цих країн [22].

Оскільки Україна є значним виробником та експортером зерна, а більшість країн, які імпортують вітчизняну зернову продукцію, віддалені від нашої країни морем, зернові вантажопотоки відіграють значну роль у завантаженні портів. Як можна переконатися з даних

табл. 1, зерно, що прямує у експорті через вітчизняні порти, становить у середньому 40% експортного вантажообігу українських портів [23].

Таблиця 1. Частка експортного зерна у загальному експортному вантажообігу портів, %

Частка експортного зерна у загальному експорті через порти	2015	2016	2017	2018	2019
	35,4	39,2	40,1	40,1	43,65

Фізичні обсяги перевалки експортного зерна портами України є значними: протягом останніх років вони утримуються на рівні біля 40 млн. т (рис. 5).

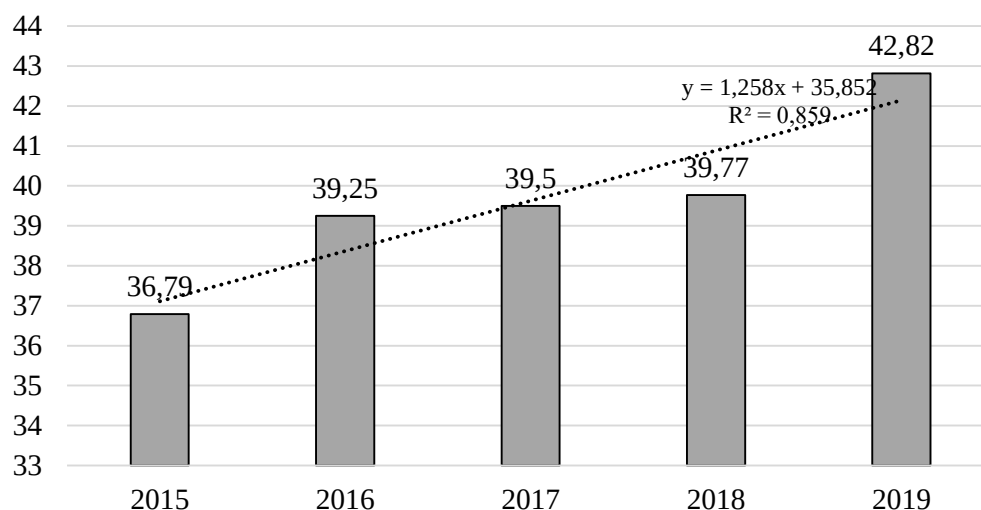


Рис. 5. Перевалка зерна на експорт українськими портами, млн. т

Якщо порівняти дані щодо перевалки морськими портами України зерна у експортному напрямку, із загальними даними щодо експорту зернової продукції з України, очевидно, що майже повністю вітчизняний зерновий експорт проходить через порти. Відтак, практично усі вітчизняні порти мають потужності для роботи із зерновими вантажами – як для їх зберігання (за необхідності), так і для завантаження. Деякі з них є спадщиною від часів існування СРСР та останніми роками стали основою для подальшого нарощування технічних та технологічних потужностей. Наразі велика частина зернових терміналів у вітчизняних портах була збудована останніми роками – саме для забезпечення вагомого та зростаючого зернового експорту з України.

Динаміка відвантажень експортного зерна характеризується певним ростом, наразі швидкість такого роста слід визнати такою, що зменшується: якщо вантажообіг зернових на експорт у портах за 2014 р. порівняно із попереднім 2013 р. виріс на 4,5 млн. т, то, якщо порівнювати 2015 р. із 2014 р., такий приріст становив вже трохи менше за 4 млн. т; за порівняння 2015 р. із 2016 р. приріст склав лише 2,5 млн. т, а цифрові показники 2017 р. і 2016 р. вже практично не відрізняються. Найменшим був приріст обсягів перевалки відзначено у 2018 р. – експортні зернові вантажопотоки виросли лише на 0,27 млн. т порівняно із попереднім 2017 р., наразі вже наступного 2019 р. повернулись до «звичайних» показників приросту, та приріст перевищив 3 млн. т.

Проте позиції морського транспорту у експорті зерна є непохитними – українське зерно на $\frac{3}{4}$ доставляється на зовнішні ринки саме морським транспортом, що і забезпечує стійкі показники зернового експортного обігу морськими портами. Чорноморське узбережжя України з логістичної точки зору ідеально розташовано для відвантажень зернових: крупні суднові партії можуть відвантажуватися по усьому світу, невеликі суднові партії – у напрямку чорноморсько-середземноморських країн. Тому цілком логічним виглядає і той факт, що практично усі українські порти у більшому або меншому ступені опікуються перевалкою зернових.

Вантажопотоки зернових здебільшого прямують до більш глибоководних портів України – це пояснюється тим, що з України зерно відвантажується порівняно великими вантажними партіями. Значна частка експортного зерна проходить через чотири основні «зернові» порти нашої країни. Це Миколаїв, Одеса, Чорноморськ та Південний, динаміку перевалки якими зернових вантажів у експорті проілюстровано рис. 6.

Як можна перекоонатися, протягом останніх чотирьох років позицію лідера міцно утримує Миколаївський порт – протягом 2015-2017 рр. тут стабільно відвантажували по 8-9 млн. т експортного зерна; на 12,5 млн. т експортних зернових порт вийшов за результатами 2018 р., а у 2019 р. встановив абсолютний та беззаперечний рекорд – більше 15 млн. т усього зерна, що було оброблено вітчизняними портами у експортному напрямку, відвантажено на морські судна саме тут.

Такі показники багато у чому пояснюються відносно дешевими послугами стивідорних терміналів (а їх у цьому порту декілька – «Ніка-Тера», «Дунайська судноплавно-стивідорна компанія», «Грінтур-Екс»). Якщо минулого року перевалка вантажів у гаванях України цілком здешевшала з 13 дол. США за 1 т до 11 дол. США за 1 т, то у порту Миколаїв – з 13 до 10 дол. США/т. Зазначимо, що на загальній тенденції зменшення вартості перевалки зерна завдяки конкуренції між терміналами наголошувалось ще декілька років тому назад [24]. За даними цього джерела, ще 5 років тому назад ставки утримувались на рівні 18-20 дол. США/т і перевищували середньоєвропейські більше, ніж утричі. Такий порядок цін було обумовлено профіцитом пропозиції з перевалки за одночасного дефіциту перевалочних потужностей. Наразі останніми роками ситуація стрімко змінилась, і це відразу ж відбилось на цінах. Так, на сьогодні ставки впали приблизно на третину: якщо у 2016 р. середня ставка перевалки в Одеському порту становила 15 дол. США/т, то зараз вона утримується на рівні, близькому до 12 дол. США/т; у Миколаєві з колишніх 13 дол. США/т – впала до 10 дол. США/т.

Збільшили обсяги перевалки експортного зерна також порти Південний та Чорноморськ – з 8-9 млн. т (2015-2017 рр.) до 11-12 млн. т останніми двома роками. Ключовими компаніями, які надають послуги з перевалки зерна у порту Чорноморськ, є «Трансбалктермінал» та Іллічівський зерновий термінал; у Південному потужними зерновими терміналами є «ТІС-Зерно» і «Боріваж». Одеський порт займає четверту сходинку у рейтингу портів за обсягами перевалки зерна на експорт, не нарощуючи, але й не втрачаючи свій стабільний вантажопотік на рівні 7-8 млн. т щороку. Основні стивідорні компанії, що надають послуги з завантаження зернових на морські судна та відповідні супутні послуги, це «Новотех-Термінал», «Бруклін-Київ», «Олімпекс-Купе Інтернешнл», Одеський зерновий термінал.

Для названих портів зернові вантажі становлять чи не левову частку завантаження потужностей: на 55-60% експорт, який відвантажується Миколаївським портом, формується саме експортними зерновими вантажопотоками; частка зернових у вантажообігу Чорноморська за період 2015-2019 рр. виросла з 46% до 62,5%; половину завантаження Одеського порту у експортному напрямку становить зерно; частка зернових вантажів – це майже третина усіх експортних вантажопотоків, що проходять причалами Південного.

Якщо говорити про участь основних портів у відвантаженнях зерна на експорт, то загалом через причали чотирьох названих портів відвантажується 85-90% усього зернового експорту, що надходить до споживачів морським транспортом (табл. 2).

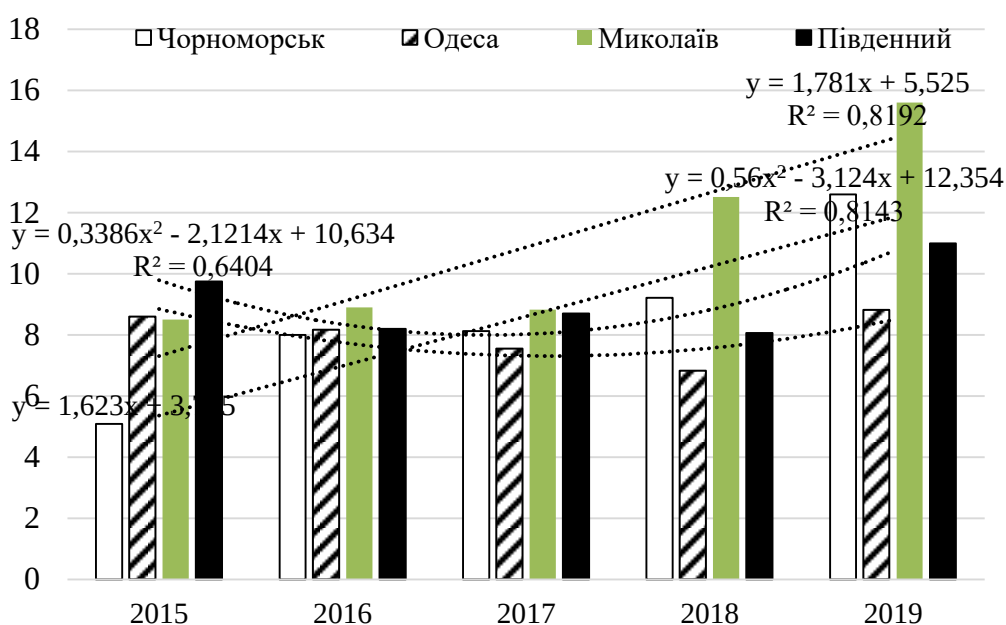


Рис. 6. Обсяги перевалки зерна на экспорт основными портами, млн. т

Таблиця 2. Частки основних портів у експорті зерна, %

Порт	2015	2016	2017	2018	2019
Миколаїв	32,1	22,7	22,4	31,5	29,5
Чорноморськ	13,83	20,4	20,6	23,16	23,8
Південний	26,5	20,9	22,2	20,26	20,8
Одеса	23,4	20,8	19,11	17,2	16,7
Усього основними портами	95,83	84,8	84,31	92,12	90,8

Інші українські порти також беруть участь у забезпеченні зернового експорту з України, наразі обсяги перевалки зерна є значно меншими. Так, у портах Бердянськ, Маріуполь та Херсон показники відвантажень зерна на морські судна у експортному напрямку коливаються у межах біля 1 млн. т на рік (табл. 3). Загалом названі порти останніми роками забезпечують перевалку не більше 8-9% експортного зерна.

Таблиця 3. Перевалка експортного зерна іншими портами України

Порт	2015	2016	2017	2018	2019
Бердянськ млн. т	0,99	1,02	1,07	0,95	1,53
%	2,69	2,6	2,71	2,39	2,9
Маріуполь млн. т	0,43	0,8	0,76	0,55	1,13
%	1,17	2,04	1,92	1,38	2,14
Ольвія млн. т	2,38	2,77	3,17	0,87	1,23
%	6,47	7,06	8,02	2,2	2,33
Херсон млн. т	0,84	1,14	1,06	0,65	0,89
%	2,28	2,9	2,7	1,63	1,7

Незважаючи на незначну участь у загальному обсязі відвантажень зернових на морські судна, ці вантажопотоки є вагомими для названих портів. Так, більше третини усього експорту, обробленого у Херсонському порту, становили саме зернові вантажі; 15-20% усіх експортних вантажів у Маріуполі – зернові; завантаження Бердянська більш, ніж на половину (а за результатами минулого року – на $\frac{3}{4}$) забезпечено саме експортними поставками зернових.

Звісно, обсяги зернових вантажів, які перевалюються морськими портами України суттєво залежать від зібраних врожаїв та відповідних обсягів експорту. Саме тому по окремих портах можна спостерігати певні коливання обсягів відвантажень зернових по роках. До того ж, значний вплив на перевалку портами експортного зерна має також і відома сезонність у поставках зернових, що пов'язано із збором врожаїв. Наразі, якщо аналізувати відвантаження по місяцях, не падає менше 2-2,5 млн. т (рис. 7).

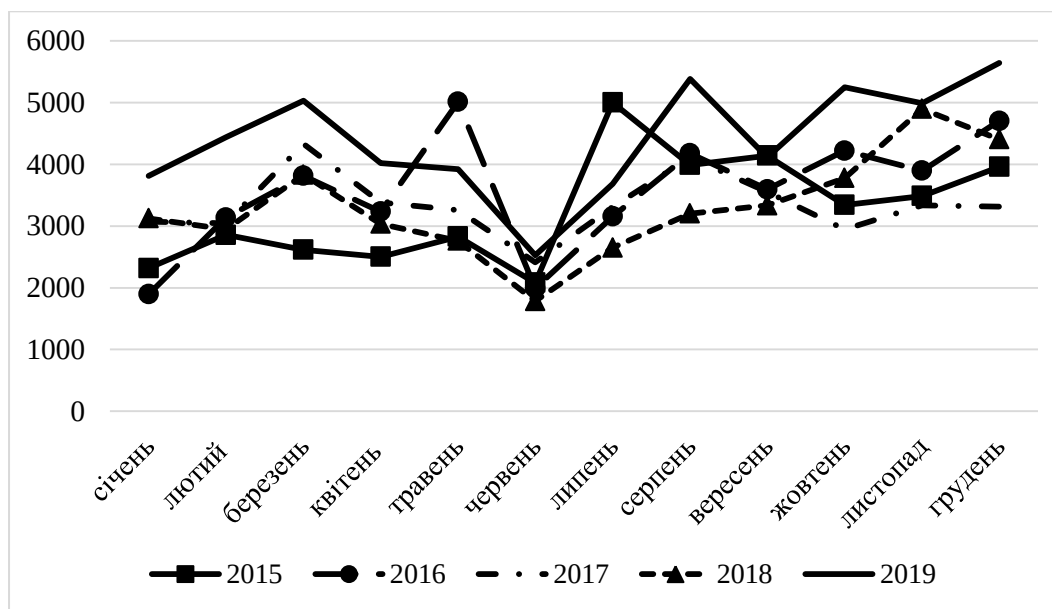


Рис. 7. Динаміка відвантажень зерна по місяцях, тис. т

Важливим є той факт, що подана статистика відповідає показникам перевалки зернових вантажів тими зерновими терміналами, які працюють на території українських портів. Їх загалом 53 – 11 державних підприємств та 42 приватні.

Висновки. Переваги транспортування масових вантажів (до яких належать і зернова продукція) морським транспортом, а також розвинута технічна і технологічна база вітчизняних портів сприяють стабільності та потужності зернових вантажопотоків. Саме зернові вантажі багато у чому формують завантаження вітчизняних портів. Наразі обсяги перевалки зерна багато у чому залежать від обсягів виробництва та відповідно – експорту. У певному сенсі це робить завантаження портів залежним як від загальної ситуації на світовому зерновому ринку, так і від погодних умов. Наразі останніми роками позиції України на ринку поставок зернової продукції є міцними та потужними, що сприяє значним обсягам перевалки зернових вантажів українськими портами.

ЛІТЕРАТУРА

1. UNCTAD Review of Maritime Transport'2019. Geneva : United Nations Publication, 109 p.
2. Офіційний сайт Державного комітету статистики України. Зовнішня торгівля окремими видами товарів за країнами світу. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 01.05.2020).

3. Офіційний сайт Державного комітету статистики України. Статистичний збірник «Транспорт та зв'язок України'2018». URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/08/zb_tr2018pdf.pdf (дата звернення 30.04.2020).
4. Грідін О.В. Сучасний стан та тенденції розвитку сфер виробництва, переробки та реалізації зерна: український та загальносвітовий контекст // *Економіка та управління національним господарством*, 2018. № 3 (14). С. 60-68.
5. Захаріна О.В. Розвиток ринку зерна України та його вплив на формування конкурентоспроможності національної економіки // *Ефективність та конкурентоспроможність аграрного виробництва*, 2016. № 1 (54). Т. 2. С. 95-109.
6. Сосницька Я.С., Саган Я.П. Зерновий комплекс України: сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку // *Науковий огляд*. 2017. № 5 (37). URL: <https://naukajournal.org/index.php/naukajournal/article/view/1213/1319> (дата звернення 01.05.2020).
7. Козак О.А., Грищенко О.Ю. Розвиток зернової галузі України на сучасному етапі // *Економіка АПК*, 2016. № 1. С. 36 – 47.
8. Личук М. М., Коновал І. А., Барановська О. Д., Євтушенко В. Д. Ринок зерна в Україні та його стабілізація // *Економіка АПК*, 2019. № 4. С. 29 — 38. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201904029>
9. Алавердян Л.М., Романенко О.В. Сучасні реалії та перспективи розвитку зовнішньої торгівлі України з іншими країнами світу // *Ефективна економіка*, 2019. № 4. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.4.53. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/4_2019/55.pdf (дата звернення 01.05.2020).
10. Іляш О.І., Дорошевич Д.В., Доценко Ю.В. Зміна експортно-імпортних товарних потоків України у міжнародній торгівлі внаслідок російської окупації // *Інвестиції: практика та досвід*, 2019. № 8. С. 11-18. DOI: 10.32702/2306-6814.2019.8.11
11. Гринь В.П., Ільченко Д.А. Аналіз тенденцій динаміки обсягів та структурних змін у зовнішній торгівлі України // *Приазовський економічний вісник*, 2019. Вип. 2 (13). С. 53-57.
12. Далик В.П., Дуляба Н.І. Зовнішня торгівля України: реалії та перспективи розвитку // *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Сер. Міжнародні економічні відносини та світове господарство*, 2017. № 7. С. 110-113.
13. Пахуча Е.В., Філімонов Ю.Л., Лещенко Л.О. Структурні зміни зовнішньої торгівлі України аграрною продукцією // *Ефективна економіка*, 2019. № 3. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.3.48. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/3_2019/50.pdf. (дата звернення 01.05.2020).
14. Кушнір Н.О., Славич М.М. Сучасні тенденції розвитку України на світовому ринку зерна // *Науковий вісник Ужгородського національного університету*, 2017. Вип. 15, ч. 2. С. 125-128.
15. Мельник Л.Л. Експорт зерна Україною: стан, проблеми та перспективи // *Економіка АПК*, 2010. № 23. С. 7-10.
16. Пітель Л.Я. Проблеми розвитку експортноорієнтованої діяльності аграрної сфери економіки України // *Агросвіт*, 2019. № 16. С. 25-34. DOI: 10.32702/2306-6792.2019.16.25
17. Седіков Д.В. Логістика зерна: інфраструктурний компонент та проблеми розвитку // *Науковий вісник Ужгородського національного університету*, 2018. № 22. С. 47-50.
18. Вишневецька О.М., Двойнісюк Т.В., Шигида С.В. Особливості логістичних систем сільськогосподарських підприємств // *Глобальні та національні проблеми економіки*, 2015. Вип. 7. С. 106-109. URL: <http://global-national.in.ua/archive/7-2015/25.pdf>. (дата звернення 01.05.2020).
19. Столбуненко Н.М., Церковна А.В. Особливості та перспективи розвитку зернової логістики в Україні // *Ринкова економіка: сучасна теорія і практика управління*, 2017. Том 16. Вип. 2 (36). С. 188-198.
20. Вернигора Р.В., Рустамав Н.Ш. Аналіз системи хранения украинского зерна // *Транспортні системи та технології перевезень*, 2017. № 13. С. 10-18.
21. Современные элеваторы и логистическая инфраструктура – ключ к наращиванию экспорта. URL: https://zn.ua/finances/sovremennye-elevatory-i-logisticheskaya-infrastruktura-klyuch-k-narashchivaniyu-eksporta-331767_.html. (дата звернення 01.05.2020).
22. Мудриян Е. Урожай зерновых в странах MENA: под эгидой благоприятных погодных условий. URL: <https://www.apk-inform.com/ru/exclusive/topic/1109759> (дата звернення 01.05.2020).
23. Офіційний сайт Адміністрації морських портів України. Показники роботи. URL: <http://www.uspa.gov.ua/pokazniki-roboti>. (дата звернення 30.04.2020).
24. Русин Д. Почему в Украине дорогая перевалка зерна. URL: <https://biz.nv.ua/experts/rusin1/pochemu-v-ukraine-dorogaja-perevalka-zerna-1303850.html> (дата звернення 30.04.2020).

REFERENCES

1. UNCTAD Review of Maritime Transport'2019. (2019). Geneva, United Nations Publication.
2. Ofitsiyni sait Derzhavnoho komitetu statystyky Ukrainy. Zovnishnia torhivlia okremymy vydamy tovariv za krainamy svitu. [Official site of the State Statistics Bulletin of Ukraine. Foreign trade in goods with countries of the world]. Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua/> (Accessed 1 May 2020).
3. Ofitsiyni sait Derzhavnoho komitetu statystyky Ukrainy. Statystychnyi zbirnyk «Transport ta zv'язok Ukrainy'2018». [Official site of the State Statistics Bulletin of Ukraine. Statistical bulletin «Transport and communication of Ukraine'2018». Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/08/zb_tr2018pdf.pdf. (Accessed 30 April 2020)

4. Hrigin, O.V. (2018). *Suchasnyi stan ta tendentsii rozvytku sfer vyrobnytstva, pererobky ta realizatsii zerna: ukrainskyi ta zahalnosvitovyi kontekst* [Current status and development trends in the spheres of production, processing and marketing of grain: Ukrainian and global context]. *Ekonomika ta upravlinnia natsionalnym hospodarstvom* [National economy management and economics], 3 (14), 60-68.
5. Zakharina, O.V. (2016). *Rozvytok rynku zerna Ukrainy ta yoho vplyv na formuvannia konkurentospromozhnosti natsionalnoi ekonomiky* [Development of the Ukrainian grain market and its impact on the formation of competitiveness of the national economy]. *Efektivnist ta konkurentospromozhnist aharnoho vyrobnytstva* [Efficiency and competitiveness of agriculture production], 1 (54), vol. 2, 95-109.
6. Sosnytska, Ya. S., Sahan Ya.P. (2017). *Zernovyi kompleks Ukrainy: suchasnyi stan, problemy ta perspektyvy rozvytku* [Grain complex of Ukraine: current state, problems and prospects of development]. *Naukovyi ohliad* [Scientific review], 5 (37). Retrieved from <https://naukajournal.org/index.php/naukajournal/article/view/1213/1319> (Accessed 1 May 2020).
7. Kozak, O.A., Hryshchenko O.Yu. (2016). *Rozvytok zernovoi haluzi Ukrainy na suchasnomu etapi* [Development of the grain industry of Ukraine at the present stage]. *Ekonomika APK* [Ekonomika APK], 1, 36 – 47.
8. Ilchuk, M.M., Konoval, I.A., Baranovska, O.D., Yevtushenko, V.D. (2019). *Rynok zerna v Ukraini ta yoho stabilizatsiia* [Development of the grain market in Ukraine and its stabilization]. *Ekonomika APK* [Ekonomika APK], 4, 29 – 38. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201904029>
9. Alaverdian, L.M., Romanenko O.V. (2019). *Suchasni realii ta perspektyvy rozvytku zovnishnoi torhivli Ukrainy z inshymy krainamy svitu* [Modern reality and prospects for development of foreign trade of Ukraine with other countries of the world]. *Efektivna ekonomika* [Efektivna ekonomika], DOI: 10.32702/2307-2105-2019.4.53. Retrieved from http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/4_2019/55.pdf. (Accessed 1 May 2020).
10. Ilyash, O.I., Doroshkevych, D.V., Dacenko, J.V. (2019). *Zmina eksportno-importnykh potokiv Ukrainy u mizhnarodnii torhivli vnaslodoк rosiiskoi okupatsii* [Change of export and import commodity flows of Ukraine in international trade as a result of the Russian occupation]. *Investytsii: praktyka ta dosvid* [Investytsii: praktyka ta dosvid], 8, 11-18. DOI: 10.32702/2306-6814.2019.8.11
11. Hryn, V.P., Ilchenko, D.A. (2019). *Analiz tendentsii dynamiky obsiahiv ta strukturnykh zmin u zovnishnii torhivli Ukrainy* [Analysis of trends of dynamics of structural changes and exchange changes in foreign trade in Ukraine]. *Pryazovskiy ekonomichnyi visnyk* [Pryazovskyi economic herald], 2 (13), 53-57.
12. Dalyk V.P., Duliaba N.I. (2017). *Zovnishnia torhivlia Ukrainy: realii ta perspektyvy rozvytku*. [External trade of Ukraine: realities and prospects]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove hospodarstvo*. [Uzhgorod National University Herald. Series: International economic relations and world economy], 7, 110-113.
13. Pakhucha, E.V., Filimonov, Yu. L., Leshchenko L.O. (2019). *Strukturni zminy zovnishnoi torhivli Ukrainy aharnoiu produktsiiei* [Structural changes in Ukraine's foreign trade in agricultural products]. *Efektivna ekonomika* [Efektivna ekonomika], 3. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.3.48. Retrieved from http://www.economy.nayka.com.ua /pdf/3_2019/50.pdf. (Accessed 1 May 2020).
14. Kushnir, N. O., Slavich, M. M. (2017). *Suchasni tendentsii rozvytku Ukrainy na svitovomu rynku zerna* [Modern trends of Ukraine's development on the world grain market]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu* [[Uzhgorod National University Herald], 15, 125-128.
15. Melnyk, L.L. (2010). *Eksport zerna Ukrainoiu: stan, problemy ta perspektyvy* [Export of grain by Ukraine: situation, problems and prospects]. *Ekonomika APK* [Ekonomika APK], 23, 7-10.
16. Pitel, N. (2019). *Problemy rozvytku eksportnoorientovanoi diialnosti aharnoi sfery ekonomiky Ukrainy* [Problems of the development of export oriented activity of the problems of the Ukrainian agrarian economy]. *Ahrosvit* [Agrosvit], 16, 25-34. DOI: 10.32702/2306-6792.2019.16.25/
17. Sedikov, D.V. (2018). *Lohistyka zerna: infrastruktturnyi komponent ta problemy rozvytku* [Logistics of grain: infrastructure component and problems of development]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu* [[Uzhgorod National University Herald], 22, 47-50.
18. Vyshnevskaya, O.M., Dvoynisiuk T.V., Shyhyda, S.V. (2015). *Osoblyvosti lohistychnykh system silskohospodarskykh pidpriemstv* [Features of logistic systems of agricultural enterprises]. *Hlobalni ta natsionalni problemy ekonomiky* [Global and national problems of economics], 7, 106-109. Retrieved from <http://global-national.in.ua/archive/7-2015/25.pdf>. (Accessed 1 May 2020).
19. Stolbunenko, N.M., Tserkovna, A.V. (2017). *Osoblyvosti ta perspektyvy rozvytku zernovoi lohistyky v Ukraini* [Features and perspectives of development grain of logistics in Ukraine]. *Rynkova ekonomika: suchasna teoriia i praktyka upravlinnia* [Market economy: modern management theory and practice], vol. 16. # 2 (36), 188-198.
20. Vernigora, R.V., Rustamov, R.S. (2017). *Analiz sistem y hraneniya ukrainskogo zerna* [Analysis of the Ukrainian grain storage system]. *Transportni systemy ta tekhnologii perevezhen* [Transport systems and transportation technologies], 13, 10-18.
21. *Sovremennyye elevatory i logisticheskaya infrastruktura – klyuch k naraschivaniyu eksporta* [Modern elevators and logistics infrastructure – the key to increasing export]. Retrieved from https://zn.ua/finances/sovremennyye-elevatory-i-logisticheskaya-infrastruktura-klyuch-k-naraschivaniyu-eksporta-331767_.html. (Accessed 1 May 2020).
22. Mudriyan E. *Urozhay zernovykh v stranah MENA: pod egidoy blagopriyatnykh pogodnykh usloviy* [Crops of grain in MENA countries: under the auspices of favourable weather conditions]. Retrieved from <https://www.apk-inform.com/ru/exclusive/topic/1109759>. (Accessed 1 May 2020).
23. Ofitsiinyi sait Administratsii morskoykh portiv Ukrainy. Pokaznyky roboty. [Official site of the Administration of Sea Ports of Ukraine. Indicators of work]. Retrieved from <http://www.uspa.gov.ua/pokazniki-roboty>. (Accessed 30 April 2020).
24. Rusin D. *Pochemu v Ukraine dorogaya perevalka zerna* [Why handling of grain is expensive in Ukraine]. Retrieved from <https://biz.nv.ua/experts/rusin1/pochemu-v-ukraine-dorogaja-perevalka-zerna-1303850.html>. (Accessed 30 April 2020)

Юлія Коскіна, к.т.н.

*(доцент, кафедра «Експлуатація флота і технологія морських перевозок»,
Одеський національний морський університет)*

Алексей Дрождзин, к.т.н.

*(доцент, кафедра «Експлуатація флота і технологія морських перевозок»,
Одеський національний морський університет)*

АНАЛИЗ ОБЪЕМОВ И ДИНАМИКИ «МОРСКОГО» ЭКСПОРТА ЗЕРНА УКРАИНОЙ

Представлен аналитический обзор объемов производства зерновой продукции Украиной, проанализирована динамика и география поставок украинского зерна на экспорт. Значительную часть выращенного зерна Украина экспортирует, а основу экспорта, как и основу зернового производства, составляют пшеница, кукуруза и ячмень. География поставок этих видов зерновой продукции отличается, однако ключевые рынки сбыта отдалены от Украины морем. Это азиатские и северо-африканские страны, а также страны Ближнего Востока, традиционно зависящие от импорта зерна. Транспортное обслуживание зерновых грузопотоков осуществляется морским транспортом. Это подтверждается значительными объемами перевалки экспортного зерна отечественными морскими портами и расположенными в них терминалами. Основными зерновыми портами Украины являются Николаев, Одесса, Пивденний и Черноморск, которые отгружают до 90% зернового экспорта. В значительно меньших объемах зерновые грузы перегружаются в Херсонском, Бердянском и Мариупольском портах. Для большинства портов Украины зерно является стратегическим грузом, обеспечивая до половины их экспортного грузооборота.

Ключевые слова: экспорт зерновой продукции, морские порты, перевалка зерновых грузов

Yuliia Koskina, Ph.D. in Technical Sciences

(assoc. prof., Department of Fleet Operation and Technology of Sea Carriages, Odessa National Maritime University)

Oleksii Drozhzhyn, Ph.D. in Technical Sciences

(assoc. prof., Department of Fleet Operation and Technology of Sea Carriages, Odessa National Maritime University)

ANALYSIS OF THE VOLUMES AND DYNAMICS OF “MARITIME” EXPORT OF GRAIN FROM UKRAINE

An analytical overview of Ukraine's grain production volumes is presented, the dynamics and geography of the grain export of Ukraine are analyzed. The most part of the grown grain is exported from Ukraine and, as well as the grain production, the export structure is formed from wheat, corn and barley. The geography of export differs for these kinds of grain products, however, key markets are separated (?) from Ukraine with sea. There are Asian and North-Africa countries and countries of the Middle East, which are depended from grain import traditionally. The transportation of grain turnovers thus is carried by maritime transport. This is Testify to this are significant volumes of handling of grain cargoes in national seaports and terminals operating in them. The main grain ports are considered to be Mykolaiv, Odesa, Pivdennyi and Chornomorsk with their total share up to 90% of general grain export. In less volumes grain cargoes are handled in Kherson, Berdyansk and Mariupol'. For most Ukrainian ports grain is a strategic cargo, providing up to half of their cargo turnover.

Keywords: grain export, sea ports, handling of grain cargoes.

UDC 656.2:681.51:007.51

*Valerii Samsonkin, Doctor of science, Professor
(Professor the department of transport technology and process control traffic State University of Infrastructure and Technologies)
Oleksii Goretskyi, PhD (Historical Sciences), Associate Professor
(docent the department of transport technology and process control traffic State University of Infrastructure and Technologies)
Rozalia Shcherbyna PhD, Associate Professor
(Department of transport technology and process control traffic State University of Infrastructure and Technologies)*

ANALYSIS OF THE DIRECTIONS OF IMPACT OF THE ORGANIZATIONAL CULTURE ON THE ACTIVITIES OF TRANSPORT ENTERPRISES

In the face of a protracted management crisis, JSC «Ukrainian Railways» loses its attractiveness to investors and its overall management. One of the directions of the strategy of the situation is to use the labor potential effectively. The authors of the article consider the influence of organizational culture on the activity of railway enterprises. The impact of corporate culture on internal regulatory processes, decision-making processes, organizational behavior, competitiveness, and overall performance of the organization. The authors describe a generalized scheme of the influence of organizational culture on the global activities of organizations.

Keywords: *organizational culture, organizational behavior, JSC «Ukrainian Railways», motivation, socialization, involvement.*

Introduction

This is the third part of the study, which focuses on the justification of the necessities and essential components of the organizational or corporate culture. All of the authors' three articles have been published in the SUIT journal. The first article considered the necessity of scientific discipline - organizational culture in the system of formation of future specialists of transport enterprises. The second was about the impact of staff on the social and economic activities of transport units. This article will focus on the effect of organizational culture on enterprise activity as part of the logistics chain of transportation. The central leitmotif of the study is to increase the efficiency of the enterprise, both in terms of its economic indicators and the attractiveness and comfort of staff. These are two sides of one «coin»: human interest and cost-effectiveness. For some people, the question may be what corporate culture is possible in a company which is yet degrading. It may be premature! But after a decline, there is a development under one brand or another. This is the nature of the activity of a logistics company in the civilized world. Preparing future specialists in the transport and logistics complex should be the stage of company development. Because degradation does not need to be taught, it goes out. The primary purpose of this article is to analyze the areas of activity of the enterprise, which have proved the influence of organizational culture.

Analysis of recent research and problem statement

Foreign researchers have widely considered the influence of the organizational culture on the development and activities of the organization. After all, the high interest in the phenomenon of corporate culture was caused precisely by the problem, which makes leading American corporations so productive and successful.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-35-21

American researchers T. Peters and R. Waterman have identified several characteristics of organizational culture that contribute to the success of organizations [1]:

- decisions are made even in the absence of information;
- central to corporate culture is consumer satisfaction;
- promotion of independence and initiative;
- the person is perceived as the most important value and asset of the organization;
- organization executives regularly visit the objects they manage and communicate directly with their subordinates at their places of work;
- strict focus on core activities, diversification is not encouraged;
- the simplicity of organizational structure, a few management staff; a combination of flexibility (at the expense of a minimum of control and management intervention) and firmness (at the cost of shared values) in the organization.

V. Sate has created a model of the influence of organizational culture, in which he considers the impact of culture on corporate life through six processes:

- decision making;
- control;
- communication;
- dedication to the organization;
- perception of the regulatory environment;
- justification of their behavior.

At the same time, V. Sate identifies two levels of organizational culture: surface (patterns of organizational behavior) and subsurface (values) [2]. The first of three processes (decision making, control, communication) relate to the surface level of corporate culture, and the next three to the subsurface level. The effectiveness of the organization depends on how the processes above.

American sociologist T. Parsons has developed a generalized model of the relationship between organizational culture and organizational performance - the AGIL model.

T. Parsons several a number of functions that any social system, including the organization, must perform to survive and succeed:

- Adaptation;
- Achievement of goals (Goal achievement);
- Integration;
- Legitimacy.

To survive and be successful, an organization must be able to adapt to the environment, achieve its goals, integrate its parts into a coherent whole, and be recognized by people and other organizations.

T. Parsons calls the values of the organization the most important means of fulfilling these functions: for successful activities, the recognized beliefs and values in the organization must contribute the adaptation, achievement of goals, unification and usefulness of people, and other organizations [3].

The T. Parsons model was developed by R. Quinn and J. Rohrbach in their model, called «Competing Values and Organizational Effectiveness» [4]. They viewed the impact of organizational culture in three dimensions, which were called competing values:

1. Integration / Differentiation: the advantage of control (stability, order, predictability) or flexibility (innovation, change).
2. Internal focus / External focus: preference for organizing an interest in internal issues (co-ordination and employee satisfaction), or strengthening the organization's position in the external environment.
3. Funds / Tools – Outputs / Indicators: The degree of focus on processes and procedures (planning, goal setting, etc.), and deliverables and performance (productivity, efficiency, etc.).

A Swiss researcher, D. Denison, has developed a model of organizational culture's impact on organizational performance, based on a description of the interdependent influence on the organizational performance of four factors of organizational culture: engagement, consistency,

adaptability, and mission. In this model, an active organization is an organization capable of solving the problems of internal integration and external adaptation.

At the present stage of research in the field of corporate culture, the following areas of research can be identified.

Authors of publication [5] study the differences in perceptions of corporate or organizational culture by different generations. The study was conducted based on European transport companies. It has been established that after five years of working for the transport companies, loyalty and teamwork go to the first level. This is due to the specifics of the transport industry. Based on the results of the study, the authors state that there are no intergenerational problems in the corporate culture among European transport companies.

OCTAPACE method was used in [6]. The technique uses eight indicators of Openness, Confrontation, Trust, Authenticity, Proactive, Autonomy, Collaboration, and Experimentation. With these indicators, you can determine the state of the organizational culture of the enterprise. This will identify problems at the entry-level.

The article [7] analyzes the motivation of senior managers and blue-collar workers in small and medium-sized transport enterprises. There is a large gap between the needs of these categories of workers. The study was conducted on 30 indicators of motivation. The authors of the research could not offer a single program of motivation. The authors also concluded that it is necessary to study the state of motivation in enterprises constantly. Senior managers work with finance. Blue-collar workers need a good team, a safe workplace, and a professional manager.

The interplay between organizational culture and knowledge sharing through socialization is also important. There is a close correlation between socialization in the enterprise and the transfer and accumulation of knowledge [8].

The study [9] analyzed the leadership style for employee motivation and satisfaction.

Canadian scientists [10] are looking at the relationship between stress and the organizational culture of an enterprise.

Organizational culture is a factor that can result in the development of strategic thinking in organizations [11]. The advantage of this study is that the authors do not examine each employee individually, but the whole organizational level. The results showed that corporate managers should pay attention to corporate culture to enhance and promote strategic thinking at corporate levels. Because market culture has an impact on all aspects of strategic thinking, it is recommended that managers encourage employees to be innovative and creative [11].

The paper [12] proposes two methods for improving the level of human capital management. The first one is the increase of human capital through training, and the second consists of metrics for assessing how effectively the enterprises use human capital.

As we can see, the issue of organizational culture is essential and relevant.

Basic research materials

Let's establish the basic concepts and terms of this part of the study. Involvement is a condition in which employees feel that their activities are closely linked to the goals of the organization, that they are empowered, that teamwork is valued. Priority is given to the development of human capabilities. Consistency is a high level of integration and coordination. Adaptability is a state in which an organization responds flexibly to customer demands, takes risks, learns from its mistakes, and is capable of change. The mission is a description of the goals and directions of strategic development of the organization based on the formed on the organizations' ideas of the future.

The impact of organizational culture on the activities of organization should be considered in one direction, namely

1. on the processes occurring in the organization,
2. on the structure of the organization,
3. on the behavior of organizations,
4. on competitiveness,
5. on the overall performance of organizations.

This approach will allow us to take into account and analyze the cumulative impact of organizational culture on the enterprise, including all aspects of the activity and condition of the organization, which will give a comprehensive understanding of it. Consider all five main directions.

a) The influence of organizational culture on internal regulatory processes.

The list of these processes is as follows:

1. communication;
2. decision-making, career, socialization;
3. production and labor processes.

1. The method of communication is the transmission of information and understanding using verbal and non-verbal symbols. Communication activity is the activity of transferring data from the sender (source) to the recipient. The influence of organizational culture on the communication process and communication activities are presented in Fig. 1.

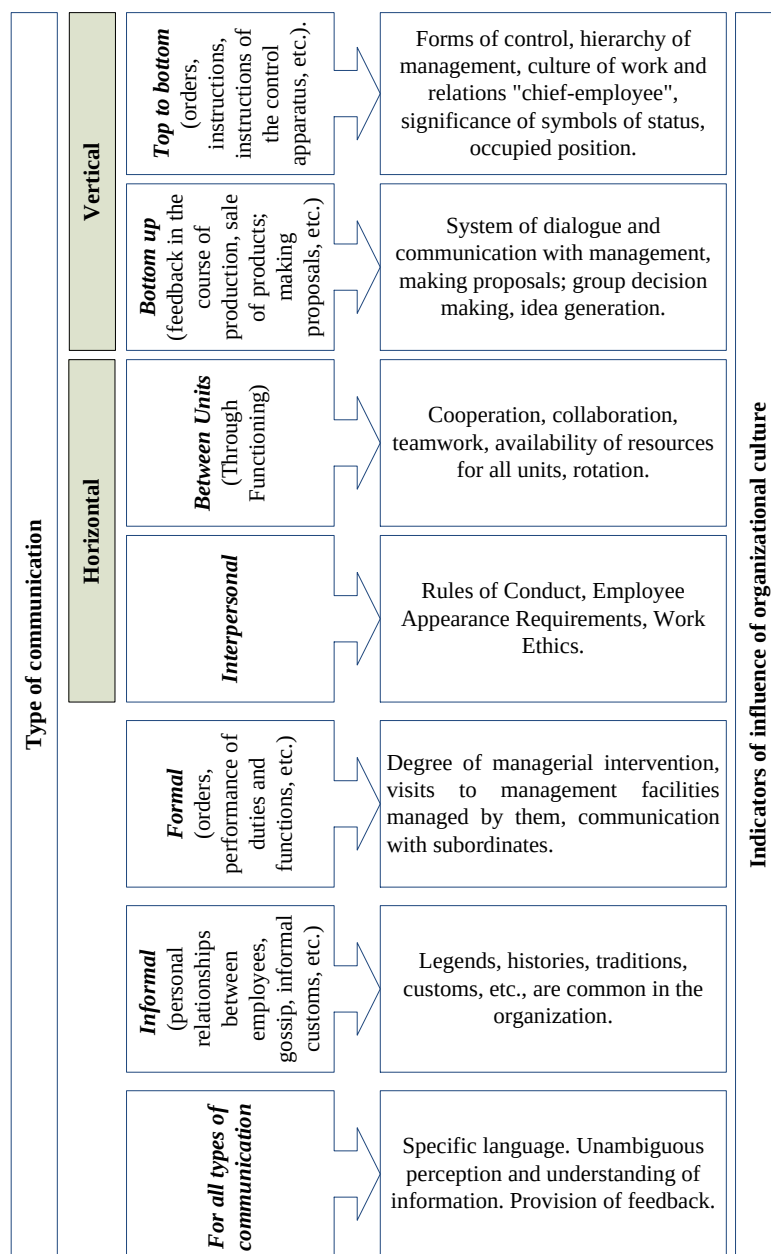


Fig. 1. The influence of organizational culture on the communication process.

2. The impact of corporate culture on decision-making, career, and socialization processes are given in Fig. 2.

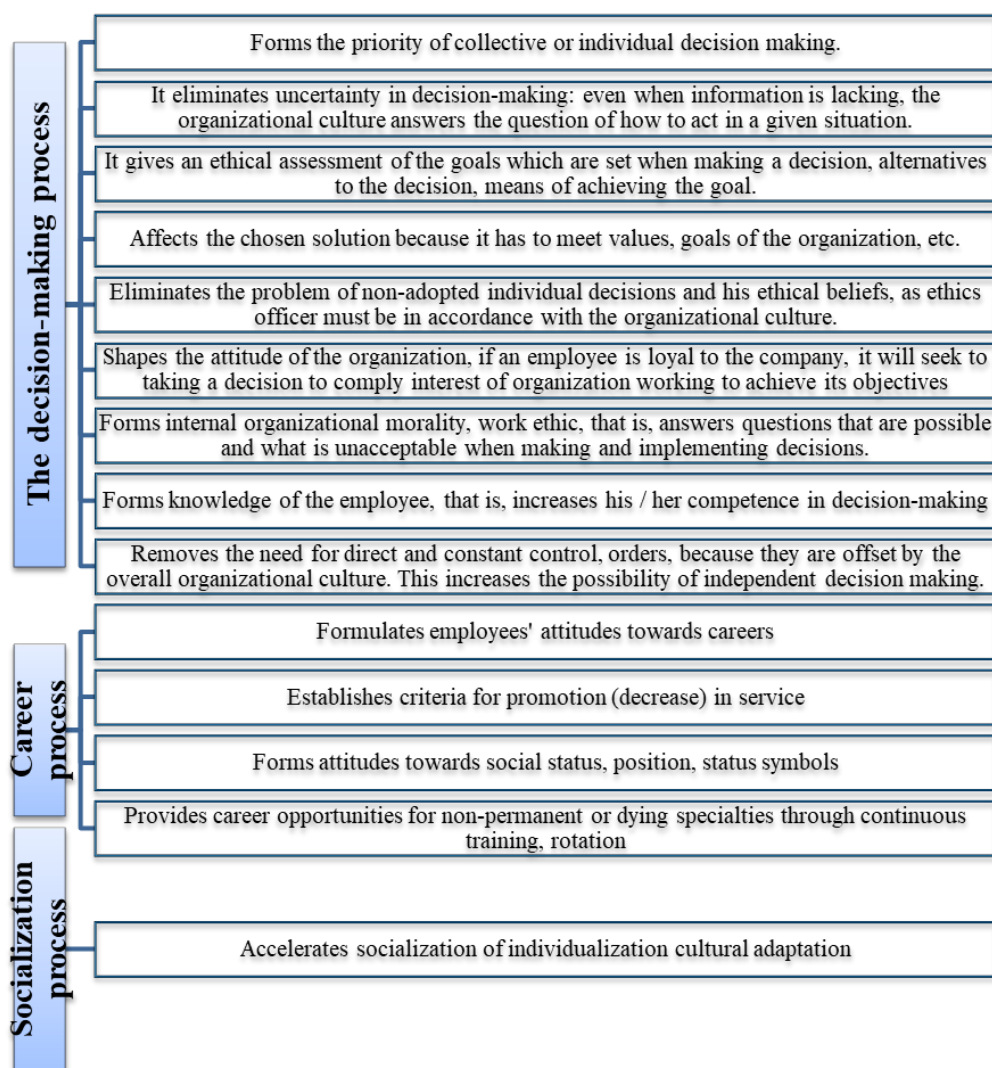


Fig 2. The influence of organizational culture on the processes of career and socialization

In the general sense, *socialization* refers to the process of assimilation by the individual of the system of knowledge, norms, and values that allow him to function as a full member of society [13]. Socialization is the norm of conformity and similarity. Socialization takes place in the process of entry of an individual into the organization, the transformation of the individual from an outsider for the organization in its part.

Thus, socialization is an activity undertaken by management to combine the goals of the organization and the goals of the employees.

3. The influence of organizational culture on the production and labor process is given in Fig. 3.

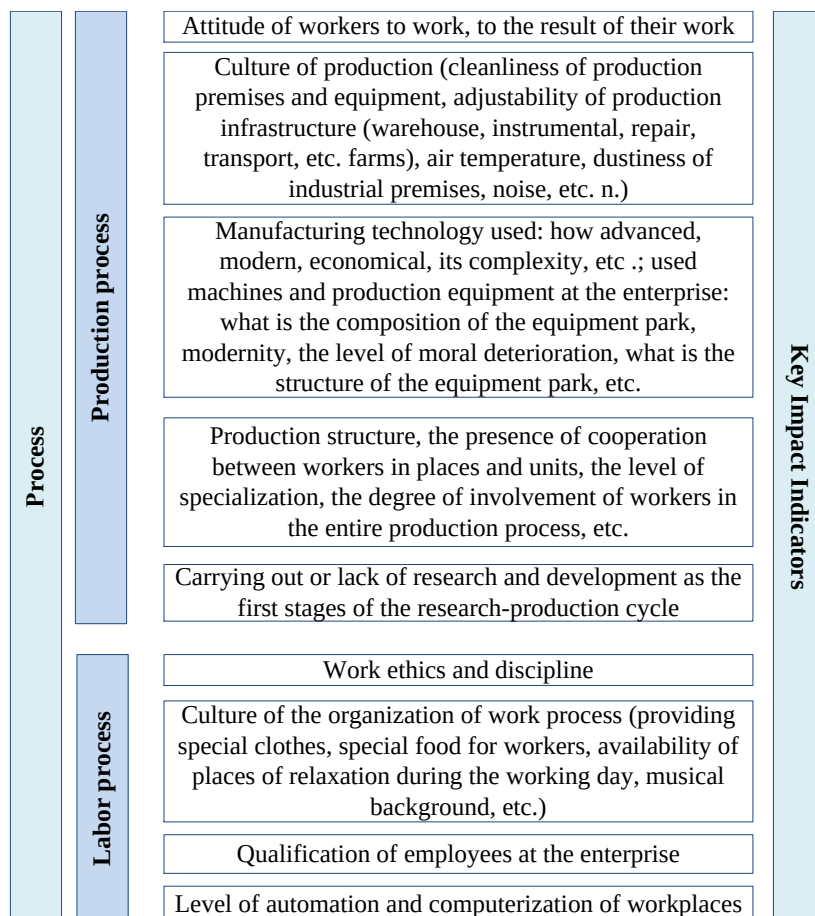


Fig 3. The influence of organizational culture on the production process and organization of work processes

в) The relationship between the structure of the organization and corporate culture is given in Fig. 4.

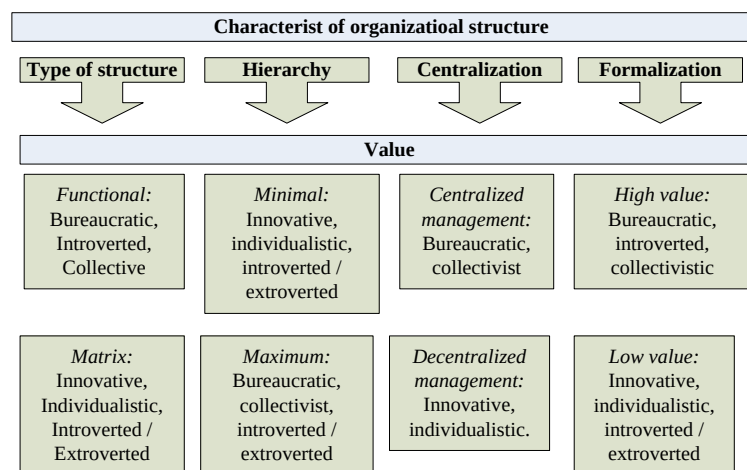


Fig 4. The relationship between organizational structure and organizational culture

c) Organizational culture is the basis for organizational behavior. That is, the culture of the organization is manifested in its behavior. **The influence of corporate culture on organizational action is** presented in Fig. 5.

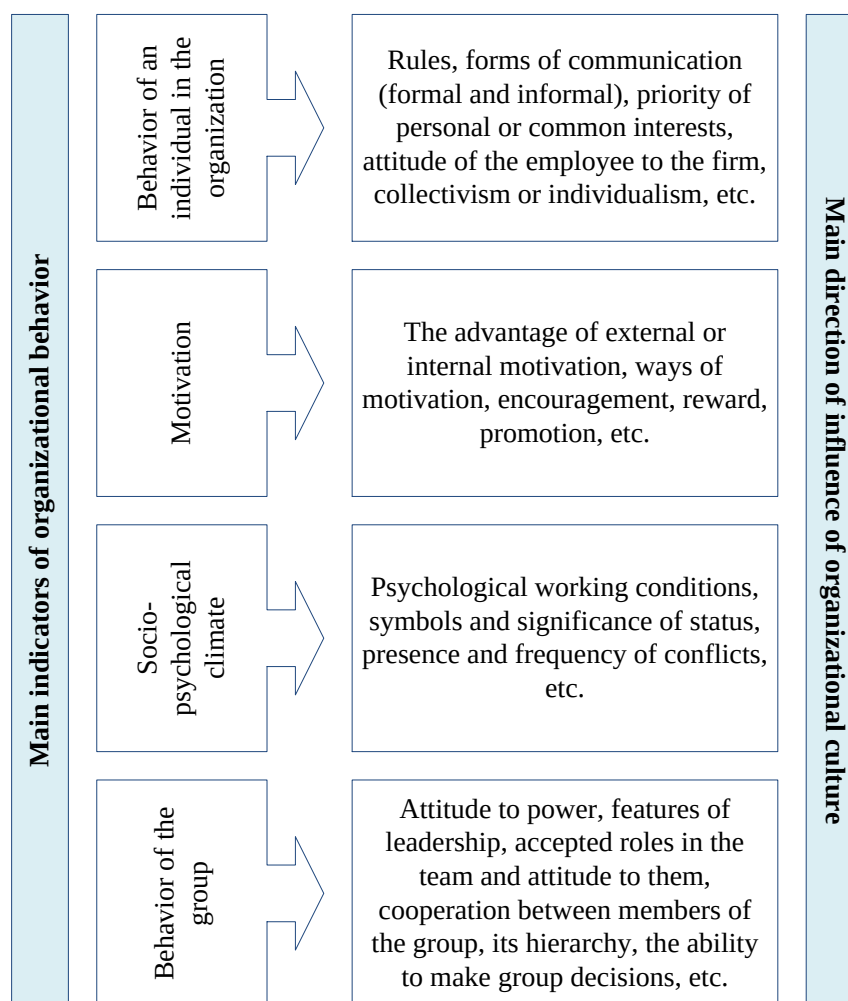


Fig. 5. The influence of organizational culture on organizational behavior

d) The influence of organizational culture on the competitiveness of the organization is manifested in the formation of a positive reputation and attractive image of the company and the manufactured product (product or service) among consumers, business partners, and the public. Organizational culture, focused on innovation, enhancing the labor potential of employees, forms of the intellectual property of the organization, which increases the competitiveness of the company due to the presence of unique developments, technologies, products [14, 15].

e) The influence of organizational culture on the overall performance of the organization consists of the totality of the areas of influence discussed above. In general, processes, structures, behavior, the level of competitiveness of the organization, and shape the overall effectiveness of its activities. Therefore, it can be said that organizational culture, in one way or another influences all performance characteristics.

The influence of organizational culture on the activities of the organization is manifested in the achievement of the primary purpose of corporate culture - ensuring self-organization of socio-economic system with the help of staff, increasing the labor potential of the organization, which is a part of the overall economic potential of the enterprise.

Achievement of primary objective (purpose) of organizational culture – the increase of possible labor results in growth of jurisdiction of personnel. In an eventual outcome, extension of authority is meant by the growth of income, the profitability of the organization. It is related to the fact that as more competent workers can work on sound equipment, after anymore by an ideal method, they can generate ideas creatively to go near work. All of it will positively affect the quality of products, will allow organizations to develop their own unique technologies, products, the same promoting profitability.

The influence of organizational culture on the economic efficiency of activity of the organization is represented in the financial results of the activity of an organization, especially in the growth of the market value of a firm.

The generalized chart of influence of organizational culture on the activity of organizations results in Fig.6.



Fig. 6. General chart of influence of organizational culture on the activity of the organization

An external environment influences both on organizational culture and on organization. Feedback, which is very needed for a high-quality change, carried out precisely through organizational culture. As a result of feedback there is an adaptation of corporate culture to the external environment, which changed, which draws change in the different aspects of the activity of enterprises.

Results and conclusions

1. Of communication processes occupy a considerable place in the activity of propulsion JSC «Ukrainian Railways» Difficulties that arise up as a result of their realization negatively influence on the development of the company. An organizational culture allows minimizing the origin of such complications.

2. Applying principles of organizational culture, the management of railway enterprises is formed workers, encouraged, and explained on the increase of personal potential. The total growth of individual possibilities brings to growth of potential labor enterprises over the whole.

3. The increase of labor potential positively affects the results of the economic activity of the enterprise. In the conditions of the deep and protracted crisis of propulsion JSC «Ukrainian Railways» an organizational culture can promote the competitiveness of the company.

REFERENCES

1. Pyters T., Uoterman-ml. R. (2018) *V poyskax sovershenstva: Uroky samyx uspešnyx kompanij Ameriky [In Search of Perfection: Lessons from America's Most Successful Companies]*. Moskva: Alpyna Pablysher [in Russian].
2. Spyvak V.A. (2001) *Korporativnaya kultura [Corporate culture]*. SPetersburg: Pyter [in Russian].

3. Tihomirova O.G. (2008) *Organizatsionnaya kultura: formirovanie, razvitie i otsenka: Uchebnoe posobie [Organizational culture: formation, development and evaluation: Textbook]*. SPetersburg: SPbSU ITMO [in Russian].
4. After Parsons – a theory of social action for the 21st century/ Renée C. Fox a.o., eds. New York: Russell Sage Foundation, 2005 [in English].
5. Kampf, R.; Lorincová, S.; Hitka, M.; Stopka, O. (2017) *Generational Differences in the Perception of Corporate Culture in European Transport Enterprises. Sustainability*, 9, 1561 [in English].
6. Fatima S. (2017) *A Study of Organizational Culture: Octapace*. IOSR Journal of Business and Management, 19 (2), 87 – 92 [in English].
7. Kampf, R., Lorincova, S., Kapustina, L. M., & Lizbetinova, L. (2017). *Motivation Level and its Comparison Between Senior Managers and Blue-Collar Workers in Small and Medium-Sized Transport Enterprises*. Communications-Scientific Letters of the University of Zilina, 19 (4), 43 – 49 [in English].
8. Baker, A., Ellis, T. (2018). *The Interaction Between Organizational Culture and Knowledge Sharing via Socialization in a Technology Company*. Twenty-fourth Americas Conference on Information Systems, New Orleans, 2 – 10 [in English].
9. Nica, E. Potcovaru, A. (2017) *The relationship among leadership, organizational culture and employees' job satisfaction*. Proceedings of the 11th international management conference «The Role of Management in the Economic Paradigm of the XXIst Century», Bucharest, 393 – 399 [in English].
10. Dextras-Gauthier, J. Marchand, A (2018) *Does organizational culture play a role in the development of psychological distress?*, The International Journal of Human Resource Management, 29:12, 1920 – 1949
11. Arayesh, M. B., Golmohammadi, E., Nekooeezadeh, M., Mansouri, A. (2017) *The Effects of Organizational Culture on the Development of Strategic Thinking at the Organizational Level*. International Journal of Organizational Leadership 6, 261 – 275 [in English].
12. Kucharčíková, A., Mičiak M. (2018) *Human Capital Management in Transport Enterprises with the Acceptance of Sustainable Development in the Slovak Republic. Sustainability*, 10 (7), 2530 [in English].
13. Spirkin A.G. (2004) *Filosofiya [Philosophy]*. Moskva: Gardaryky [in Russian].
14. Daft Rychard (2002) *Orhanyzatsyy. Uchebnyk dlia psikhologov y ekonomystov [Organizations. A textbook for psychologists and economists]*. SPb, Praim-evroznak [in Russian].
15. Gari Dessler (2004) *Upravlenie personalom [Personnel Management]*. Moscow, Litres [in Russian].

ЛІТЕРАТУРА

1. Питерс Т., Вотерман-мл. Р.: В поисках совершенства: Уроки самых успешных компаний Америки. Москва: Альпина Паблишер, 2018. 524 с.
2. Стивак В.А., Корпоративная культура. Санкт Петербург: Питер, 2001. 352 с.
3. Тихомирова О.Г. Организационная культура: формирование, развитие и оценка: Учебное пособие. Санкт Петербург: СПбГУИТМО, 2008. 156 с.
4. Renée C. Fox After Parsons a theory of social action for the 21st century. New York: Russell Sage Foundation, 2005. 368 с.
5. Kampf, R.; Lorincová, S.; Hitka, M.; Stopka, O. Generational Differences in the Perception of Corporate Culture in European Transport Enterprises // *Sustainability*, 2017. № 9, P. 1561.
6. Fatima S. A Study of Organizational Culture: Octapace // *IOSR Journal of Business and Management*, 2017. № 19 (2), P. 87 – 92.
7. Kampf, R., Lorincova, S., Kapustina, L. M., Lizbetinova, L. Motivation Level and its Comparison Between Senior Managers and Blue-Collar Workers in Small and Medium-Sized Transport Enterprises // *Communications-Scientific Letters of the University of Zilina*, 2017. № 19 (4), P. 43 – 49 [in English].
8. Baker, A., Ellis, T. The Interaction Between Organizational Culture and Knowledge Sharing via Socialization in a Technology Company // *Twenty-fourth Americas Conference on Information Systems*, New Orleans, 2018. P. 2 – 10.
9. Nica, E. Potcovaru, A. The relationship among leadership, organizational culture and employees' job satisfaction // *Proceedings of the 11th international management conference «The Role of Management in the Economic Paradigm of the XXIst Century»*, Bucharest, 2017. P. 393 – 399.
10. Dextras-Gauthier, J. Marchand, A. Does organizational culture play a role in the development of psychological distress? // *The International Journal of Human Resource Management*, 2018. № 29:12, P. 1920 – 1949.
11. Arayesh, M. B., Golmohammadi, E., Nekooeezadeh, M., Mansouri, A. The Effects of Organizational Culture on the Development of Strategic Thinking at the Organizational Level // *International Journal of Organizational Leadership*, 2017. № 6, P. 261 – 275.
12. Kucharčíková, A., Mičiak M. Human Capital Management in Transport Enterprises with the Acceptance of Sustainable Development in the Slovak Republic // *Sustainability*, 2018. № 10 (7), P. 2530.
13. Спиркин А.Г. Философия. - Москва: Гардарики, 2004. 813с.
14. Дафт Ричард. Организации. Учебник для психологов и экономистов. СПб: Прайм-еврознак, 2002. 352 с.
15. Десслер Гари. Управление персоналом. Москва: Литрес, 2004. 802 с.

Самсонкин В.Н., д.т.н., профессор

(профессор кафедры технологий транспорта и управления процессами перевозок Государственного университета инфраструктуры и технологий)

Горецкий О.А., к.и.н., доцент

(доцент кафедры технологий транспорта и управления процессами перевозок Государственного университета инфраструктуры и технологий)

Щербина Р.С., к.т.н., доцент

(доцент кафедры технологий транспорта и управления процессами перевозок Государственного университета инфраструктуры и технологий)

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ КУЛЬТУРЫ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ ТРАНСПОРТА

В условиях затяжного управленческого кризиса ПАО «Українська залізниця» теряет привлекательность для инвесторов. Ситуация требует эффективно использовать трудовой потенциал. Авторы статьи рассматривают влияние организационной культуры на деятельность предприятий железнодорожного транспорта. Влияние организационной культуры на деятельность организации проявляется в обеспечении самоорганизации социально-экономической системы с помощью повышения трудового потенциала организации, который является составляющей общего экономического потенциала предприятия. Авторами предложена обобщенная схема влияния организационной культуры на деятельность организаций.

Ключевые слова: организационная культура, организационное поведение, ПАО «Українська залізниця», мотивация, социализация, вовлеченность

Самсонкін В.М., д.т.н., професор

(професор кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Державного університету інфраструктури та технологій)

Горецький О.А., к.і.н., доцент

(доцент кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Державного університету інфраструктури та технологій)

Щербина Р.С., к.т.н., доцент

(доцент кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Державного університету інфраструктури та технологій)

АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ ВПЛИВУ ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ КУЛЬТУРИ НА ДІЯЛЬНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВ ТРАНСПОРТУ

Попри значний потенціал компанія АТ «Українська залізниця» залишається неповороткою і малоефективною. Але водночас вона є однією з найбільших державних компаній та одним із найважливіших стратегічних активів у країні. Не додає інвестиційної привабливості АТ УЗ і калейдоскоп зміни керівництва та наглядових рад. В результаті імідж компанії падає.

В таких умовах ситуація вимагає ефективно використовувати трудовий потенціал. Авторі статті розглядають вплив організаційної культури на діяльність підприємств залізничного транспорту. Визначення цього впливу розглядається як сукупність впливу на кожен напрямок життя і діяльності підприємства. Наголошено, що організаційна культура позитивно впливає на процес комунікації в компанії, а також на виробничий і трудовий процеси. Також корпоративна культура оптимізує процес прийняття рішень.

Розглянуто вплив організаційної культури на організаційну поведінку. Наголошено на підвищення мотивації та покращення соціально-психологічного клімату під впливом організаційної культури.

Наголошується, що вплив організаційної культури дозволяє збільшити трудовий потенціал підприємств залізничного транспорту. Це, в свою чергу, дозволяє покращити економічні результати діяльності ПАТ УЗ.

Вплив організаційної культури на діяльність організації проявляється в досягненні головної цілі організаційної культури – забезпеченні самоорганізації соціально-економічної системи за допомогою персоналу, підвищенні трудового потенціалу організації, який є складовою загального економічного потенціалу підприємства.

Авторами запропонована узагальнена схема впливу організаційної культури на діяльність організації.

Ключові слова: організаційна культура, організаційна поведінка, ПАТ «Українська залізниця», мотивація, соціалізація, залученість.