

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

**ЗБІРНИК
НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

СЕРІЯ

**«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ
І ТЕХНОЛОГІЇ»**

ВИПУСК 36

Київ·ДУІТ·2020

Збірник містить статті, присвячені теоретичним, методологічним і прикладним проблемам транспортної галузі. У статтях збірника розглядаються питання транспортної інфраструктури та рухомого складу, технології та організації транспортних процесів, інформаційних та комп'ютерних технологій на транспорті, математичного моделювання об'єктів транспорту, екологічної безпеки на транспорті.

У підготовці випуску брали участь відомі вчені, фахівці в галузі транспорту, викладачі провідних вищих навчальних закладів України, члени Центрального наукового центру Транспортної академії України.

Для науковців, викладачів, студентів вищих навчальних закладів і працівників транспорту та зв'язку.

Редакційна колегія:

О.М. Горобченко, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» (головний редактор);

Н.С. Брайковська, кандидат технічних наук, професор, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» (заступник головного редактора);

В.М. Твердомед, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» (заступник головного редактора);

О.В. Фолін, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» (заступник головного редактора);

В.В. Панін, доктор технічних наук, професор, ректор Державного університету інфраструктури та технологій;

П.О. Скок, кандидат наук з державного управління, доцент, проректор з наукової роботи Державного університету інфраструктури та технологій;

Е.І. Даніленко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», академік Транспортної академії України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, Заслужений діяч науки і техніки України;

О.І. Стасюк, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», член-кореспондент Транспортної академії України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки;

В.К. Мироненко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць», академік ТАНУ, академік Міжнародної академії життєдіяльності;

В.П. Ткаченко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць»;

Л.І. Тимченко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика»;

В.М. Самсонкін, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Управління процесами перевезень»;

С.Ю. Сапронова, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство»;

М.Б. Кельріх, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство»;

В.М. Іщенко, кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри «Вагони та вагонне господарство»;

В.В. Косарчук, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка»;

О.Г. Стрелко, доктор історичних наук, професор, професор кафедри «Управління процесами перевезень»;

О.А. Герцій, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту»;

В.І. Мацюк, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Управління процесами перевезень»;

С.А. Ісасенко, кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри «Іноземні мови»;

А.І. Кириченко, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Управління процесами перевезень»;

О.Я. Пилипчук, доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності»;

О.М. Шикіла, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри «Комп'ютерні науки»

Державного університету телекомунікацій;

Б.Г. Любарский, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Електричний транспорт і тепловозобудування» НТУ «Харківський політехнічний інститут»;

А.П. Фалендиш, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Транспортні технології підприємств» Приазовського державного технічного університету;

А.В. Прохорченко, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри «Управління експлуатаційною роботою» Українського державного університету залізничного транспорту;

В.Г. Пузир, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» Українського державного університету залізничного транспорту;

М.І. Горбунов, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підійомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля;

А.В. Пуцято, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Локомотиви» Білоруського державного університету транспорту (Республіка Білорусь);

С. Андонова (S. Andonova), Assos. Prof. Eng., PhD, завідувач кафедри «Машинобудівна техніка і технології», Південно-Західний університет "Неофіт Рилські" (Болгарія);

Ю. Герліці (J. Gerlici), Prof., Dr. Ing., завідувач кафедри транспорту та підйомно-транспортних машин Жилінського університету (Словацька Республіка);

В. Хаусер (V. Hauser), Ing., PhD, науковий співробітник кафедри транспорту та підйомно-транспортних машин Жилінського університету (Словацька Республіка);

Я. Діжо (J. Dižo), Ing., PhD, доцент кафедри транспорту та підйомно-транспортних машин Жилінського університету (Словацька Республіка);

Р. Кершис (R. Keršys), PhD, Assoc. Prof., кафедра транспортної інженерії, Каунаський технологічний університет (Литва);

Г.М. Голуб, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» (технічний секретар);

І.О. Саяніна, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» (технічний секретар).

Статті збірника проходять обов'язкове рецензування членами редакційної колегії, друкуються мовою оригіналу. Редакція не обов'язково поділяє думку автора і не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився.

Рекомендовано до друку Вченою радою ДУІТ (протокол № 3 від 10 грудня 2020 р.).

Засновник і видавець – Державний університет інфраструктури та технологій
Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 23070-12910ПР від 27.12.2017

Збірник внесено до Переліку наукових фахових видань України,
в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора
та кандидата наук у технічній галузі

(Додаток 11 до наказу Міністерства освіти і науки України 29.12.2014 № 1528)
та відноситься до категорії «Б» (відповідно до Порядку формування Переліку наукових фахових видань України,
затвердженого наказом МОН України від 15 січня 2018 року № 32) періодичних фахових видань України.

© Державний університет інфраструктури та технологій, 2020

УДК 621.869.888.2: 629.541.22

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

*Фомін Олексій, д.т.н., професор
(професор кафедри Вагони та вагонне господарство, Державний університет інфраструктури та технологій)*

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

*Федосов-Ніконов Дмитро, к.т.н.
(старший науковий співробітник, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»)*

*Рибін Андрій,
(старший викладач кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)*

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ КОНТЕЙНЕРА, РОЗМІЩЕНОГО НА РОЛ-ТРЕЙЛЕРІ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ

Проведено визначення динамічної навантаженості контейнера типорозміру ІСС, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні залізничним поромом. Встановлено, що при відсутності переміщень рол-трейлера відносно палуби та контейнера на рол-трейлері (І схема) максимальні прискорення, що діють на контейнер складають 0,33g. При відсутності переміщень рол-трейлера відносно палуби та наявності переміщень контейнера на рол-трейлері (ІІ схема) максимальні прискорення, що діють на контейнер дорівнюють 0,43g. Отримані прискорення враховано при дослідженні стійкості контейнера на рол-трейлері при перевезенні залізничним поромом. Встановлено, що стійкість контейнера на рол-трейлері з урахуванням типової схеми взаємодії (фітінг-упор – фітінг) для І схеми забезпечується при кутах крену до 27⁰, а при ІІ схемі – до 25⁰.

Визначено власні частоти коливань контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні морем.

Проведені дослідження сприятимуть забезпеченню безпеки перевезень контейнерів на залізничних поромах морем, а також підвищенню ефективності функціонування комбінованих перевезень в міжнародному сполученні.

Ключові слова: *контейнер, рол-трейлер, динамічна навантаженість, стійкість, модальний аналіз, залізнично-поромні перевезення.*

Вступ. Перспективи подальшого розвитку зовнішньоекономічних зв'язків між євроазіатськими країнами зумовлюють необхідність впровадження в експлуатацію комбінованих транспортних систем. Найбільш поширеними серед таких на сьогоднішній день є контейнерні перевезення. Це пояснюється можливістю перевезення контейнерів майже на всіх

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-1

видах транспорту. Така універсальність контейнера зумовлює і різні режими навантаження його конструкції в залежності від типу транспорту на якому він перевозиться. Для забезпечення надійності та безпеки експлуатації контейнерних перевезень важливим є на стадії проектування контейнерів урахуванням уточнених навантажень, що діють на них в експлуатації. Однією з найбільш поширених схем завантаження та перевезення контейнерів морем на залізничних поромах є використання рол-трейлерів (рис. 1). Під рол-трейлером розуміють низькорамний спеціальний напівприцеп, який має опорну передню стійку. Рол-трейлери не оснащені сигнальними вогнями та гальмами. Буксирування рол-трейлерів здійснюється портовими сідельними тягачами, оснащеними гужнеками на сідельному пристрої [1].

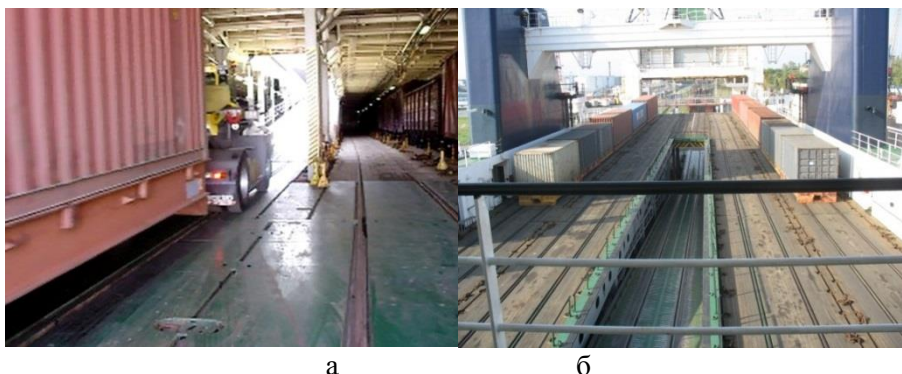


Рис. 1. Перевезення контейнерів, розміщених на рол-трейлерах морем
а) накочування рол-трейлера з контейнерами на залізничний пором; б) розміщення рол-трейлерів з контейнерами на палубі

При проектуванні контейнерів до уваги не приймаються навантаження, що можуть діяти на них при такій схемі транспортування. Тому важливим є визначення динамічної навантаженості та стійкості контейнерів при перевезенні на залізничних поромах. Це дозволить визначити основні вимоги до перевезення контейнерів на залізничних поромах та забезпечити безпеку експлуатації таких комбінованих перевезень.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Аналіз конструкції контейнера з вуглецевого волокна проводиться у [2]. Встановлено, що використання запропонованого матеріалу дозволяє знизити тару контейнера на 80% у порівнянні з прототипом. Наведені результати розрахунку на міцність контейнера при основних схемах навантаження. Однак автором не приділено уваги визначенню динаміки та стійкості контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні залізничним поромом.

Огляд конструкцій спеціалізованих кузовів контейнерів проводиться у роботі [3]. Проведений аналіз міцності контейнера в програмному середовищі ANSYS.

Особливості розрахунку на міцність підлоги 40-футового контейнера у програмному комплексі Abaqus/CAE v 6.1 наведені у роботі [4]. Запропоновані рекомендації щодо безпечної експлуатації даного типу контейнера.

Авторами вищезазначених робіт не прийнята до уваги схема навантаження контейнера при перевезенні на залізничному поромі.

Особливості проектування контейнерів, призначених для перевезення довгомірних труб морем висвітлюються у [5]. Наведені результати розрахунку каркасу контейнера на міцність при перевезенні довгомірних труб.

В роботі [6] наведені особливості проектування контейнера для перевезення плодоовочевої продукції. Висвітлені результати розрахунку на міцність контейнера. Зазначені технічні вимоги до контейнерів для перевезення плодоовочевої продукції.

Однак в роботах [5, 6] автори обмежилися нормативними значеннями динамічних навантажень, які діють на контейнер.

Визначення динамічної навантаженості контейнера при експлуатаційних режимах навантаження проведено у [7]. Отримані величини динамічних навантажень враховано при розрахунках на міцність контейнера в середовищі програмного забезпечення Ansys. При проведенні розрахунків на міцність не враховано динамічних навантажень, що діють на контейнер при перевезенні на залізничному поромі.

Дослідження динамічної навантаженості та міцності контейнерів при перевезенні у складі комбінованих поїздів на залізничних поромках проводиться у роботах [8, 9]. Наведені математичні моделі, які дозволяють отримати уточнені значення динамічних навантажень, що діють на контейнера. Визначено стійкість контейнерів відносно вагонів-платформ при коливаннях залізничного порому. Разом з цим дослідженню динамічної навантаженості та стійкості контейнерів, розміщених на рол-трейлерах при перевезенні на залізничних поромках уваги не приділялося.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є висвітлення особливостей визначення динамічної навантаженості та стійкості контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні на залізничному поромі. Для досягнення зазначеної мети поставлені такі задачі:

1. Визначити динамічну навантаженість контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні на залізничному поромі.
2. Визначити стійкість контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні на залізничному поромі.
3. Розрахувати власні частоти коливань контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні на залізничному поромі з урахуванням типової схеми їх взаємодії.

Матеріали та методи дослідження. Для забезпечення стійкості контейнера на рол-трейлері при перевезенні на залізничному поромі відбувається його закріплення за схемою “фітингові упори рол-трейлера – фітинги контейнера”. При цьому кріплення рол-трейлерів здійснюється в залежності від ваги вантажу на ньому у відповідності до схеми, наведеної на рис. 2 [1].

Для визначення стійкості суховантажного контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні на залізничному поромі проведено математичне моделювання динамічної навантаженості. До уваги прийняті дві схеми взаємодії рол-трейлера з контейнером:

відсутність переміщень рол-трейлера відносно палуби та контейнера відносно рол-трейлера (I схема);

відсутність переміщень рол-трейлера відносно палуби та наявність переміщень контейнера відносно рол-трейлера (II схема).

До уваги прийнятий найбільш неблагоприємний випадок навантаження несучої конструкції контейнера – кутові переміщення залізничного порому навколо повздовжньої осі (крен). Розрахунки проведені стосовно залізничного порому “Грейфсвальд” при русі акваторією Чорного моря. Як прототип обрано контейнер типорозміру 1СС, розміщеного на рол-трейлері довжиною 6,09 м та вантажопідйомністю 20 т.

$$\left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_1 + \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_1 = p'_{31} \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \quad (1)$$

де $q_1 \approx \theta_n$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздовжньої осі залізничного порому, завантаженого рол-трейлерами з контейнерами. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому.

D – вагове водовитіснення; B – ширина залізничного порому; h – висота борта; Λ_θ – коефіцієнт опору коливанням; z_g – координата центру ваги залізничного порому; p'_{31} – вітрове навантаження на надводну проекцію залізничного порому; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збудує рух залізничного порому.

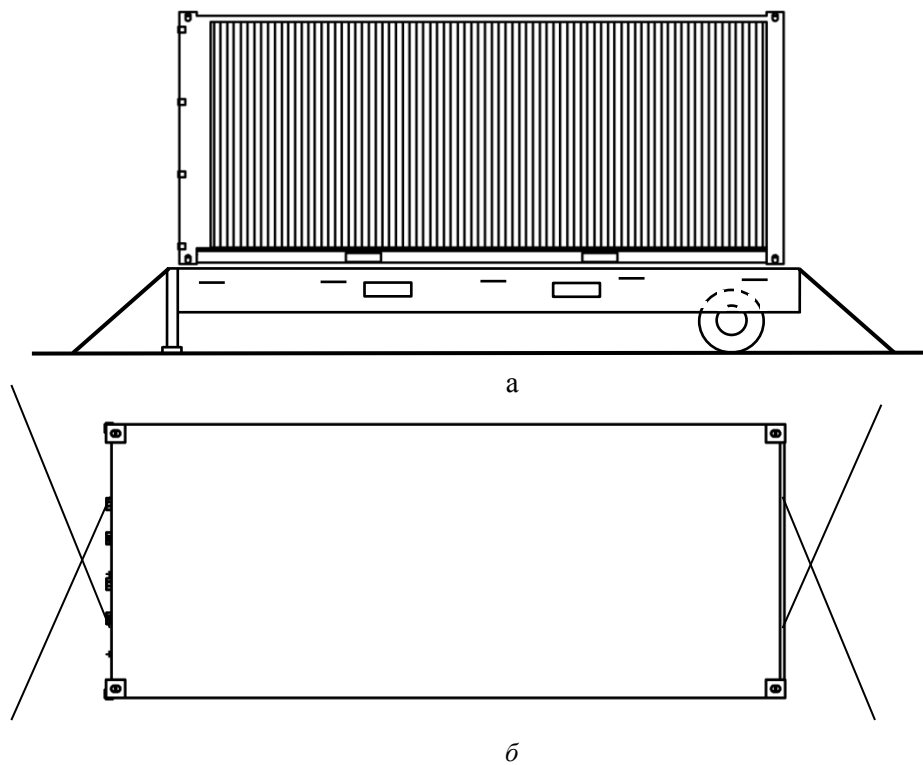


Рис. 2. Кріплення рол-трейлера на палубі залізничного порому
а) вид збоку; б) вид зверху

Розв'язок математичної моделі здійснений в програмному середовищі MathCad [10, 11]. При цьому початкові переміщення та швидкості покладені рівними нулю. До уваги прийняті різні курсові кути хвилі по відношенню залізничного порому ($0^{\circ} - 180^{\circ}$). При цьому загальна величина прискорення також включає горизонтальну складову прискорення вільного падіння, обумовлену кутом крену залізничного порому. Враховано, що крен залізничного порому викликаний дією на його надводну поверхню статичної дії вітру. При значенні тиску вітру $P = 1,47$ кПа отриманий кут крену $\theta = 18,8^{\circ}$. Результати розрахунку наведені на рис. 3. З боку осі ординат винесені курсові кути хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому. При цьому прискорення мають значення близько $0,33g$.

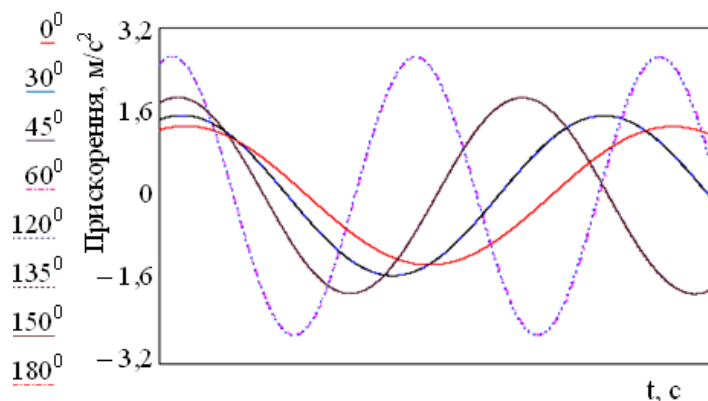


Рис. 3. Прискорення, які діють на контейнер, розміщений на рол-трейлері (I схема)

Для випадку наявності переміщень контейнера на рол-трейлері математична модель має вигляд:

$$\begin{cases} \left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_1 + \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_1 = p'_{зп} \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \\ I_k^\theta \cdot \ddot{q}_2 = p'_k \cdot \frac{h_{впф}}{2} + M_k^\Pi, \end{cases} \quad (2)$$

де $q_1 \approx \theta_n$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо поздовжньої осі залізничного порому; $q_2 \approx \theta_k$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо поздовжньої осі контейнера, розміщеного на рол-трейлері. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому.

для залізничного порому:

D – вагове водовитіснення; B – ширина; h – висота борта; Λ_θ – коефіцієнт опору коливанням; z_g – координата центру ваги; $p'_{зп}$ – вітрове навантаження на надводну проекцію; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збудує рух залізничного порому.

для контейнера:

I_k^θ – момент інерції контейнера; h_k – висота бокової поверхні контейнера; p'_k – вітрове навантаження на бокову поверхню контейнера; M_k^Π – момент сил, що виникає між контейнером та палубою при кутових переміщеннях відносно поздовжньої осі.

При складанні моделі не враховані сили тертя між горизонтальними поверхнями фітінгів контейнера та фітінговими упорами на рол-трейлері.

Результати проведених розрахунків наведені на рис. 4. При цьому максимальне значення прискорення, яке діє на контейнер складає близько 0,43g.

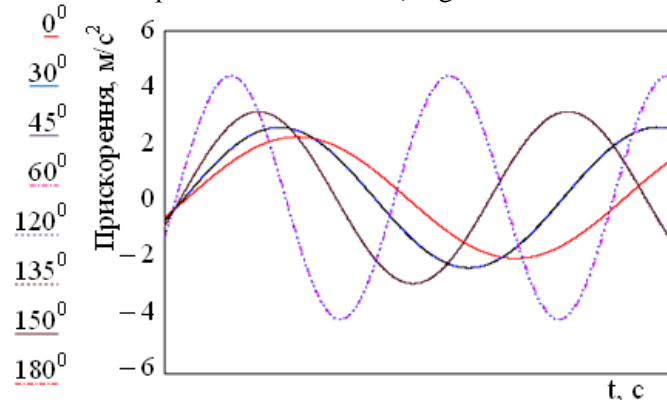


Рис. 4. Прискорення, які діють на контейнер, розміщений на рол-трейлері (II схема)

Отримані прискорення враховані при визначенні стійкості контейнера на рол-трейлері при перевезенні морем. Розрахункова схема контейнера наведена на рис. 5.

Умова рівноваги при цьому має вигляд:

$$k_c = \frac{M_{відн}}{M_{пер}} \geq 1, \quad (3)$$

де $M_{відн}$ – величина відновлюючого моменту; $M_{пер}$ – величина перекидаючого моменту.

$$M_{пер} = p'_k \cdot \frac{h_k}{2} + M_{оп} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{\theta}_2) \cdot \frac{h_k}{2}, \quad (4)$$

$$M_{відн} = P_{бр} \cdot \cos \theta \cdot \frac{B_k}{2} + n_\phi \cdot \left(M_{бр} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{q}_k) \right) \cdot \frac{h_\phi}{2}, \quad (5)$$

де $M_{бр}$ – маса брутто контейнера; $P_{бр}$ – вага брутто контейнера; B_k – ширина контейнера; n_ϕ – кількість фітингових упорів на які здійснюється обпирання контейнера при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі; h_ϕ – висота фітингового упора.

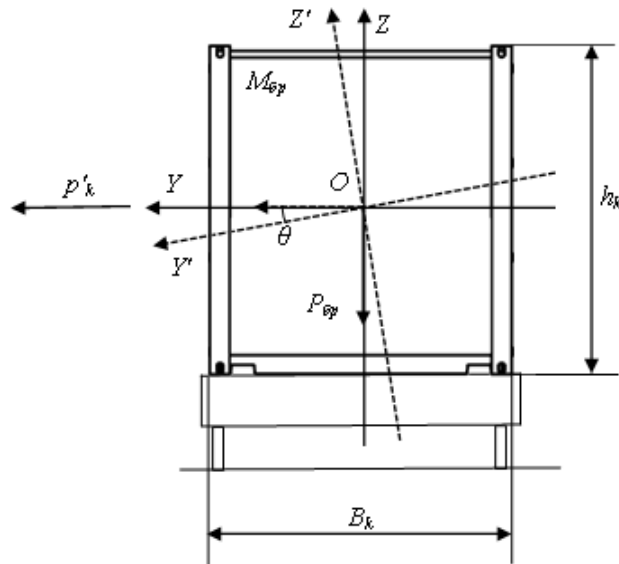


Рис. 5. Розрахункова схема контейнера

На підставі проведених досліджень отримано залежність коефіцієнту стійкості контейнера відносно рол-трейлера (рис. 6).

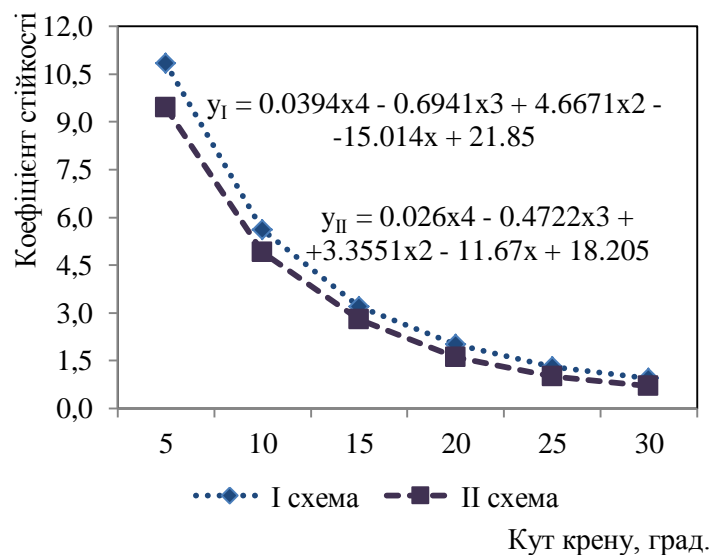


Рис. 6. Залежність коефіцієнту стійкості контейнера на рол-трейлері

На підставі проведених досліджень встановлено, що стійкість контейнера на рол-трейлері з урахуванням типової схеми взаємодії для I схеми забезпечується при кутах крену до 27° , а при II схемі – до 25° .

В рамках дослідження проведено визначення власних частот коливань контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні морем. Для цього створено просторову модель контейнера типорозміру 1СС (рис. 7). Розрахунок проведено в програмному середовищі CosmosWorks за методом скінчених елементів [12 – 14]. Оптимальну кількість елементів скінчено-елементної моделі визначено графоаналітичним методом [15, 16]. Кількість вузлів моделі склала 39823, елементів – 123310. Максимальний розмір елемента склав 120 мм, а мінімальний – 4 мм. Відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох – 19,1, більше десяти – 47,3. Матеріал несучої конструкції контейнера – сталь марки 09Г2С. Закріплення моделі здійснювалося в зонах обпирання на рол-трейлер.

При складанні розрахункової схеми контейнера враховано, що на нього діє вертикальне статичне навантаження P_v , горизонтальне навантаження P_z на фітинги, зумовлене кутом крену залізничного порому, а також вітрове навантаження на бокову стіну контейнера P_{vimp} (рис. 8).



Рис. 7. Контейнер типорозміру 1СС

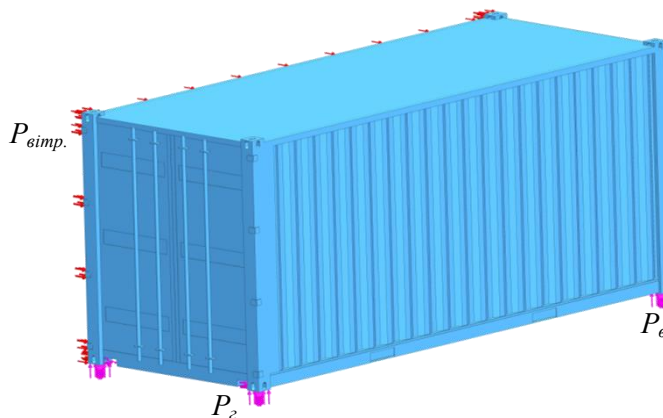


Рис. 8. Розрахункова схема контейнера

Результати розрахунку наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Значення власних частот коливань контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні залізничним поромом

Мода	Частота, Гц	Мода	Частота, Гц
1	33,003	11	149,85
2	36,421	12	152,31
3	69,639	13	161,23
4	69,891	14	164,71
5	83,102	15	189,47
6	103,23	16	193,46
7	114	17	210,49
8	137,87	18	220,75
9	139,2	19	223,42
10	141,24	20	235,39

Дані результати отримані для кута крену залізничного порому 25^0 (II схема). Отже при завданому куті крену значення власних частот коливань знаходяться в межах допустимих [17 – 19]. Тобто перевезення контейнера з урахуванням типової схеми взаємодії з рол-трейлером є можливим.

Висновки

1. Встановлено, що при відсутності переміщень рол-трейлера відносно палуби та контейнера відносно рол-трейлера (I схема) максимальні прискорення, що діють на контейнер складають 0,33g. При відсутності переміщень рол-трейлера відносно палуби та наявності переміщень контейнера на рол-трейлері (II схема) максимальні прискорення, що діють на контейнер дорівнюють 0,43g.

2. Встановлено, що стійкість контейнера на рол-трейлері з урахуванням типової схеми взаємодії (фітинговий упор – фітинг) для I схеми забезпечується при кутах крену до 27^0 , а при II схемі – до 25^0 .

3. Визначено, що власні частоти коливань контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні залізничним поромом, знаходяться в межах допустимих.

Для забезпечення безпеки комбінованих перевезень в міжнародному сполученні важливим є уточнення нормативних документів, в яких наведені навантаження, що діють на транспортні засоби. При цьому необхідно зазначити додаткові умови навантаженості контейнерів при перевезенні на рол-трейлерах залізничними поромами. Отримані результати можуть сприяти створенню рекомендацій щодо проектування контейнерів, як інтермодальних одиниць транспорту.

Проведені дослідження дозволять підвищити безпеку перевезень контейнерів на залізничних поромах морем, а також ефективність функціонування комбінованих перевезень в міжнародному сполученні.

Подяка

Дані дослідження проведені в рамках наукової теми молодих вчених “Інноваційні засади створення ресурсозберігаючих конструктивів вагонів шляхом урахування уточнених динамічних навантажень та функціонально-адаптивних флеш-концептів”, яка виконується за рахунок коштів державного бюджету України з 2020 р.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наставление по креплению генеральных грузов при морской перевозке для т/х “Герои Шипки”. Cargo securing manual for m/v “Geroi Shipky” № 2512. 02. Офиц. изд. Одесса: Мин. транспорта Украины. Гос. департамент морского и речного транспорта. 1997. 51 с.

2. Turkey Yildiz. Design and Analysis of a Lightweight Composite Shipping Container Made of Carbon Fiber Laminates. *Logistics*. 2019, Vol. 3, Issue 18. doi:10.3390/logistics3030018
3. Мишута Д. В. Опыт создания кузовов контейнеров специального назначения. *Механика машин, механизмов и материалов*. 2012. № 3 (20)-4 (21). С. 208–212.
4. Arkadiusz Rzczycki, Bogusz Wisnicki. Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 252. P. 81–90.
5. Панасенко Н. Н., Яковлев П. В. Проектирование контейнеров для морской перевозки длинномерных труб. *Вестник Астраханского государственного технического университета*. Серия: Морская техника и технология. 2014. №3. С. 97–107.
6. Ибрагимов Н. Н., Рахимов Р. В., Хаджимухамедова М. А. Разработка конструкции контейнера для перевозки плодоовощной продукции. *Молодой ученый*. 2015. №21(101). С. 168–173.
7. Stephen Tiernan, Martin Fahy. Dynamic fea modelling of iso tank containers. *Journal of materials processing technology*. 2002. №124 (1). P. 126–132.
8. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Pištěk Václav, Kučera Pavel. Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. *MM SCIENCE JOURNAL*. 2020. March. P. 3728– 3733.
9. Fomin O., Lovska A., Pištěk V., Kučera P. Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation. *VIBROENGINEERING PROCEDIA*. 2019. Vol. 29. P. 118–123.
10. Кирьянов Д. В. Mathcad 13. Петербург: БХВ, 2006. 608 с.
11. Дьяконов В. MATHCAD 8/2000: специальный справочник. СПб.: Питер, 2000. 592 с.
12. Алямовский А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов. Москва: ДМК, 2007. 784 с.
13. Fomin Oleksij, Alyona Lovska, Radkevych Valentyna, Horban Anatoliy, Skliarenko Inna, Gurenkova Olga. The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol. 14. No. 21. P. 3747–3752.
14. Fomin O., Lovska A., Melnychenko O., Shpylovyi I., Masliyev V., Bambura O., Klymenko M. Determination of dynamic load features of tank containers when transported by rail ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 5/7 (101). P. 19–26.
15. Vatulia G., Falendysh A., Orel Y., Pavliuchenkov M. Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 187. P. 301–307.
16. Kitov Y., Verevicheva M., Vatulia G., Orel Y., Deryzemlia S. Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 133(1–3). 03001.
17. ДСТУ 7598:2014. Вагоны вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015. 250 с.
18. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. [Действителен от 2016-07-01]. Москва, 2016. 54 с.
19. EN 12663-2. Railway applications – structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2: Freight wagons. [Valid from 30.04.2010]. В., 2010. 54 p.

REFERENCES

1. Min. transporta Ukrainy. (1997) Nastavlenie po krepleniyu generalnykh gruzov pri morskoy perezovzke dlya t/h “Geroi Shipki”/Cargo securing manual for m/v “Geroi Shipky” № 2512. 02]. Odessa: Gos. departament morskogo i rechnogo transporta.
2. Turkey Yildiz. (2019). Design and Analysis of a Lightweight Composite Shipping Container Made of Carbon Fiber Laminates. *Logistics*, 3, 18. doi:10.3390/logistics3030018 (in English).
3. Mishuta, D. V. (2012). Opyt sozdaniya kuzovov kontejnerov speczial'nogo naznacheniya [Experience in creating special-purpose container bodies]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov [Mechanics of machines, mechanisms and materials]*, 3 (20)-4 (21). 208–212. (in Russian).
4. Arkadiusz Rzczycki, Bogusz Wisnicki. (2016). Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*, 252, 81–90. (in English).
5. Panasenko, N. N., Yakovlev, P. V. (2014). Proektirovanie kontejnerov dlya morskoy perezovzki dlinnomernykh trub [Design of containers for sea transportation of long pipes]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology]*, 3, 97–107. (in Russian).
6. Ibragimov, N. N., Rakhimov, R. V., Khadzhimukhamedova, M. A. (2015). Razrabotka konstrukcii kontejnera dlya perezovzki plodoovoshhnoy produkcii. *Molodoj uchenyj*, 21(101), 168–173. (in Russian).
7. Stephen Tiernan, Martin Fahy. (2002). Dynamic fea modelling of iso tank containers. *Journal of materials processing technology*, 124 (1), 126–132. (in English).
8. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Pištěk Václav, Kučera Pavel. (2020). Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. *MM SCIENCE JOURNAL*, March, 3728– 3733. (in English).
9. Fomin, O., Lovska, A., Pištěk, V., Kučera, P. (2019). Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation. *VIBROENGINEERING PROCEDIA*, 29, 118–123. (in English).

10. Kiryanov, D. V. (2006). Mathcad 13. Peterburg: BHV, 608 s. (in Russian).
11. D'yakonov, V. (2000). MATHCAD 8/2000. Sankt-Petrburg: Piter, 592 s. (in Russian).
12. Alyamovskiy, A. A. (2007). SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Inzhenernyiy analiz metodom konechnykh elementov [SolidWorks / COSMOSWorks 2006 - 2007. Finite Element Engineering Analysis]. M.: DMK, 784 s., il. (Seriya "Proektirovanie"). (in Russian).
13. Fomin Oleksij, Alyona Lovska, Radkevych Valentyna, Horban Anatolii, Skliarenko Inna, Gurenkova Olga. (2019). The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14, 21, 3747–3752. (in English).
14. Fomin, O., Lovska, A., Melnychenko, O., Shpylovyi, I., Masliyev, V., Bambura, O., Klymenko, M. (2019). Determination of dynamic load features of tank containers when transported by rail ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/7 (101), 19–26. (in English).
15. Vatulia, G., Falendysh, A., Orel, Y., Pavliuchenkov, M. (2017). Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages. *Procedia Engineering*, 187, 301–307. (in English).
16. Kitov, Y., Verevicheva, M., Vatulia, G., Orel, Y., Deryzemia, S. (2017). Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. *MATEC Web of Conferences*, 133(1–3), 03001. (in English).
17. DSTU 7598:2014 (2015) Vagony vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih) [Freight wagons. General requirements for the calculation and design of new and upgraded 1520 mm (non-self-propelled) railcars]. 162. (in Ukrainian).
18. GOST 33211-2014 (2016) Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam [Freight cars. Strength and Dynamic Requirements], 54. (in Russian).
19. Railway applications – structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2: Freight wagons, 54. EN 12663–2 (2010). (in English).

*Ловская Алена, к.т.н., доцент
(доцент кафедры вагонов, Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта)*

*Фомин Алексей, д.т.н., профессор
(профессор кафедры "Вагоны и вагонное хозяйство" Государственного университета
инфраструктуры и технологий)*

*Скурихин Дмитрий, к.т.н., доцент
(доцент кафедры вагонов, Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта)*

*Федосов-Никонов Дмитрий, к.т.н.
(старший научный сотрудник, Государственное предприятие "Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения")*

*Рыбин Андрей,
(старший преподаватель кафедры вагонов, Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ КОНТЕЙНЕРА, РАЗМЕЩЕННОГО НА РОЛЛ-ТРЕЙЛЕРЕ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПАРОМЕ

Проведено определение динамической нагруженности контейнера типоразмера ІСС, размещенного на ролл-трейлере при перевозке железнодорожным паромом. Установлено, что при отсутствии перемещений ролл-трейлера относительно палубы и контейнера на ролл-трейлере (І схема) максимальные ускорения, которые действуют на контейнер составляют 0,33g. При отсутствии перемещений ролл-трейлера относительно палубы и наличии перемещений контейнера на ролл-трейлере (ІІ схема) максимальные ускорения, которые действуют на контейнер равны 0,43g. Полученные ускорения учтены при исследовании устойчивости контейнера на ролл-трейлере при перевозке железнодорожным паромом. Установлено, что устойчивость контейнера на ролл-трейлере с учетом типовой схемы взаимодействия (фитинговый упор – фитинг) для І схемы обеспечивается при углах крена до 27°, а при ІІ схеме – до 25°.

Определены собственные частоты колебаний контейнера, размещенного на ролл-трейлере при перевозке морем.

Проведенные исследования способствуют обеспечению безопасности перевозок контейнеров на железнодорожных паромов морем, а также повышению эффективности функционирования комбинированных перевозок в международном сообщении.

Ключевые слова: контейнер, ролл-трейлер, динамическая нагруженность, устойчивость, модальный анализ, железнодорожно-паромные перевозки.

Alyona Lovska, PhD (Technical Sciences), Associate Professor

(Associate Professor of Wagons Chair, Ukrainian State University of Railway Transport)

Oleksij Fomin, Doctor of Technical Sciences, Professor

(Professor of Department of Cars and Carriage Facilities, State University of Infrastructure and Technologies)

Dmytro Skurikhin, PhD (Technical Sciences), Associate Professor

(Associate Professor of Wagons Chair, Ukrainian State University of Railway Transport)

Dmytro Fedosov-Nikonov, PhD (Technical Sciences)

(senior researcher, State Enterprise "Ukrainian Research Institute of WagonBuilding")

Andrij Rybin

(Senior Lecturer of Wagons Chair, Ukrainian State University of Railway Transport)

DETERMINATION OF DYNAMIC LOAD AND STABILITY OF A CONTAINER PLACED ON A ROLL TRAILER DURING TRANSPORTATION BY RAILWAY FERRY

The determination of the dynamic loading of a container of ICC standard size, placed on a roll-trailer during transportation by a railway ferry, has been carried out. It was found that in the absence of movements of the roller trailer relative to the deck and the container relative to the roller trailer (I diagram), the maximum accelerations that act on the container are 0.33g. In the absence of movements of the roller trailer relative to the deck and the presence of movements of the container on the roller trailer (II diagram), the maximum accelerations that act on the container are equal to 0.43g. The resulting accelerations were taken into account when studying the stability of a container on a roll-trailer during transportation by a rail ferry. It has been established that the stability of a container on a roller trailer, taking into account the typical interaction scheme (fitting stop - fitting), for the first scheme is provided at roll angles up to 270, and for the second scheme - up to 250.

The natural frequencies of vibrations of a container placed on a roll-trailer during transportation by sea have been determined.

The research carried out contributes to ensuring the safety of container transportation by rail ferries by sea, as well as increasing the efficiency of the functioning of combined transport in international traffic.

Keywords: *container, roll-trailer, dynamic loading, stability, modal analysis, rail-ferry transportation.*

УДК 629.4.027

Дацун Юрій Миколайович, к.т.н., доцент

(доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту)

Саркісян Карен Мікаелович

(аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту)

Мірошниченко Олександр Володимирович

(магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту)

Ісаєв Дмитро Сергійович

(магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту)

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЛЮДСЬКОГО ФАКТОРА НА ПРОЦЕСИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВУЗЛІВ РУХОМОГО СКЛАДУ ПІД ЧАС ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Проведено аналіз технологічного процесу визначення параметрів вузлів рухомого складу. Виявлено всі типи помилок, що можуть бути допущені людиною-оператором.

Визначено що помилки на початку технологічного процесу характеризуються вагою, що в два рази менше ваги помилок в кінці технологічного процесу. Це вказує на першочергову необхідність автоматизації операцій реєстрації результатів контролю та прийняття рішень про технічний стан вузлів.

***Ключові слова:** помилка людини, рухомий склад, визначення параметрів, технологічний процес, дерево відмов.*

Вступ. Безпека руху на залізничному транспорті є ключовим принципом його роботи. Технічний стан рухомого складу здійснює суттєвий вплив на показники безпеки руху залізниць. Для підтримання технічного стану і підвищення експлуатаційної надійності рухомого складу застосовують систему його технічного обслуговування і ремонту (ТОіР). Вона включає в себе сукупність виробничих площ, технічних засобів, документації та персоналу з ТОіР рухомого складу. Недостатнє фінансування ремонтної складової рухомого складу залізниць на протязі багатьох років призвело до ситуації коли більшість основного технологічного обладнання та інструменту ремонтних виробництв морально та фізично застаріла. Крім того функціональність існуючої системи ТОіР базується на застарілих принципах і підходах, коли отримання ключової інформації про технічний стан вузлів та прийняття рішень про придатність їх до експлуатації здійснюються персоналом. Отже людський фактор ремонтної складової є одним із основних, що впливають на технічний стан рухомого складу. Дослідження людського фактору з метою визначення пріоритетних напрямків його усунення дозволить в подальшому підвищити технічний стан рухомого складу та безпеку руху на залізниці.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-2

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Переважна частина технічних систем стають взаємопов'язаними тільки завдяки наявності такої ланки, як людина. За даними наукових досліджень, від 20 до 80% промислових та системних відмов прямо чи опосередковано пов'язані з помилками людини, а 10-15% всіх відмов безпосередньо пов'язані з ними [1-4].

Причиною значної частини відмов та технологічних порушень на залізничному транспорті є помилкові дії персоналу або так званий людський фактор [5, 6].

Відмови рухомого складу залізниць, викликані впливом персоналу відносять до двох групи: експлуатаційної та виробничої (під час ТОіР).

Суттєвий вплив на безпеку руху залізниці здійснює саме експлуатаційний персонал. Оцінці та підвищенню його функціональної надійності присвячено ряд досліджень [7-9].

Вплив виробничого персоналу має менш виражений характер на показники безпеки руху оскільки між здійсненою помилкою під час ТОіР та відмовою локомотива в шляху прямування може існувати певний часовий період. Це можливо є причиною меншого обсягу досліджень в цьому напрямі. Існуючі дослідження базуються на експертних методах оцінки ступеня впливу людського фактора [6, 10], чи розглядають загальний вплив на виробничий процес в цілому [11, 12].

Такі дослідження не дозволяють оцінити вплив окремих технологічних процесів. Для розробки конкретних заходів щодо усунення впливу людського фактора на окремі технологічні процеси доцільне проведення додаткових досліджень.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є аналіз впливу людського фактору на процеси визначення параметрів вузлів рухомого складу під час технічного обслуговування із застосуванням методів структурно-логічного аналізу надійності систем.

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити такі завдання:

дослідження технологічного процесу визначення параметрів вузлів рухомого складу з метою встановлення видів ймовірних помилок людини під час виконання кожної операції;

визначення графологічної структури причинних взаємозв'язків помилок людини шляхом побудови дерева відмов. Формалізація дерева відмов шляхом отримання функції працездатності системи;

визначення ступеня впливу кожного виду помилки людини на кінцеву подію.

Матеріали та методи дослідження. Стратегія ТОіР рухомого складу залізниць України передбачає проведення технічних обслуговувань, поточних та капітальних ремонтів. Вони включають в себе технологічні процеси з ревізії, заміни або відновлення окремих складальних одиниць, а також випробування і регулювання. Дослідження [13] показують, що контрольні операції мають найбільший ступінь впливу на стан вузла після ремонту.

Для проведення аналізу, був обраний технологічний процес визначення параметрів бандажів колісних пар рухомого складу під час технічного обслуговування. Оскільки колісні пари з одного боку є вузлами, що напряму впливають на безпеку руху, а з іншого – схильні до різкої зміни технічного стану внаслідок зношувань та пошкоджень в експлуатації [14].

Визначення параметрів бандажів колісних пар тягового рухомого складу залізниць України проводять згідно вимог відповідної нормативної документації [15].

Технологічний процес передбачає використання ручного вимірювального інструмента «Гребневимірювач ГУ-1» та ручну реєстрацію результатів. Такий підхід природно може призводити до спотворення результатів. Якщо техніка по замірам представити як людину-оператора, то в його діяльності можна виділити наступні види помилок, пов'язаних з роботою психічних механізмів:

сприйняття (не зміг розрізнити, не впізнав);

уваги (не зміг сконцентруватись, швидко втомився);

пам'яті (забув, не встиг запам'ятати, не зміг утримати в пам'яті);

мислення (не зрозумів, не розібрався) [16, 17].

Аналіз технологічного процесу визначення параметрів бандажів колісних пар дозволив оцінити всі операції за видом ймовірних помилок людини (табл. 1).

Таблиця 1. Встановлення ймовірних видів помилок людини під час визначення параметрів бандажів колісних пар

Назва технологічної операції	Зміст технологічної операції	Вид ймовірної помилки людини
Підготовка ГУ та місця контролю	Звільняють усі затискні гвинти, відводять вимірювальні рамки та піднімають лінійку. Місце для установки ГУ на внутрішній стороні бандажа очищають від бруду.	- сприйняття - уваги
Встановлення ГУ, фіксація вимірювальних органів	ГУ встановлюють в радіальній площині колеса. Зрушуючи лінійку по вертикалі вниз до зіткнення її торця з вершиною гребеня і зміщуючи рамку по горизонталі ліворуч до упору виступу лінійки з поверхнею гребеня, фіксують положення лінійки і рамки гвинтами. Потім переміщують рамку по горизонтальній штанзі ліворуч до упору кінця вимірювальної ніжки у поверхню гребеня колеса і фіксують рамку гвинтом.	- сприйняття - уваги
Зчитування показань ГУ	Знявши ГУ із колеса, зчитують показання	- сприйняття - уваги
Реєстрація результатів у відповідну облікову форму	Результати у відповідну облікову форму заносяться вручну	- сприйняття - уваги - пам'яті
Прийняття рішення про технічний стан	Проводиться порівняння даних, що занесені до облікової форми із нормативними вимогами.	- уваги - пам'яті - мислення

Отже під час визначення параметрів бандажів колісних пар техніком із застосуванням контактного вимірювального інструменту, людина може допускати всі види помилок психічного характеру.

Результатом допущеної помилки є визначення справної колісної пари як несправної та навпаки. І якщо у першому випадку наслідком буде затримання видачі локомотива, то у другому – збільшення ймовірності пошкодження колісної пари в експлуатації з подальшими негативними наслідками.

Для формування організаційно-технічних заходів зниження впливу людського фактору на технологічний процес, необхідно провести кількісний аналіз із визначенням величини впливу кожного виду помилок.

Помилки людини можуть виникати протягом всього технологічного процесу, мають ймовірнісний характер та причинно-наслідкові зв'язки з результуючою подією. Для символічного представлення існуючих умов, що призводять до певної результуючої події, в ряді відповідальних галузей використовують метод «Дерева відмов» [18, 19]. Воно являє собою багаторівневу графологічну структуру причинних взаємозв'язків, отриманих в результаті простеження небезпечних ситуацій в зворотному порядку.

Якщо подію визначення несправної колісної пари як справної представити в якості результуючої V , а помилки людини під час визначення параметрів бандажу – базисними подіями, то дерево відмов матиме вигляд (рис. 1).

Кількісний аналіз дерева відмов проводять за умов відомих інтенсивностей чи ймовірностей виникнення базисних подій. Ймовірність виникнення помилок під час визначення параметрів вузлів рухомого складу людиною залежить від великої кількості суб'єктивних та випадкових факторів. Тому представлення ймовірнісних характеристик помилок людини в будь-якому випадку також носитиме суб'єктивний характер.

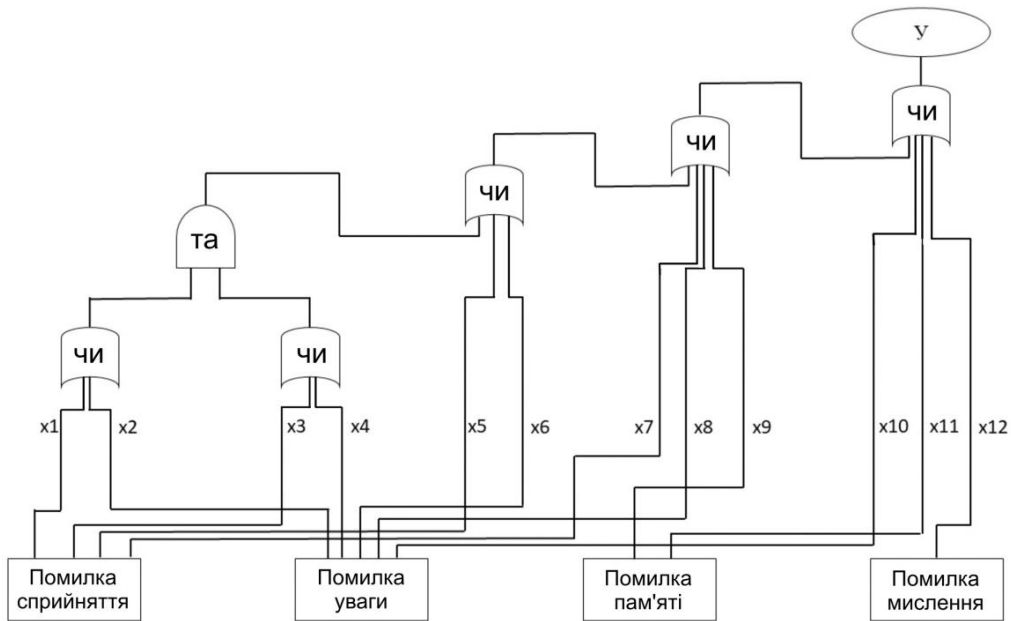


Рис. 1. Дерево відмов технологічного процесу визначення параметрів бандажів колісних пар

В [20] аналізуються методи визначення величини впливу окремих елементів на систему, та зазначається що більшість з них також побудована на оцінці ймовірностей вихідних подій. У випадку відсутності кількісних характеристик подій, що розглядаються як елементи системи, їх вплив на надійність всієї системи визначається із застосуванням поняття «вага» елемента в структурі [21].

Під час формалізації дерева відмов, зв'язок між базисними та результуючою подіями можна описати за допомогою функції працездатності системи (ФПС) в матричній формі

$$y(x_1, \dots, x_{12}) = \begin{array}{c} x_{12} \\ x_{11} \\ x_{10} \\ x_9 \\ x_8 \\ x_7 \\ x_6 \\ x_5 \\ x_4 \\ x_3 \end{array} \left| \begin{array}{c} x_2 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_1 \end{array} \right. \quad (1)$$

Приведення функції (1) до диз'юнктивно-нормальної форми (ДНФ), дає можливість проаналізувати всі можливі перетини дерева відмов:

$$y(x_1, \dots, x_{12}) = x_{12} \vee x_{11} \vee x_{10} \vee x_9 \vee x_8 \vee x_7 \vee x_6 \vee x_5 \vee x_4 x_2 \vee \vee x_4 x_1 \vee x_3 x_2 \vee x_3 x_1 \quad (2)$$

Як видно з (2), у шести випадках з восьми, навіть одна допущена помилка може призводити до негативної результуючої події.

Під час застосування логіко-ймовірнісного аналізу надійності систем, ДНФ використовують для переходу функцій алгебри логіки до імовірнісних функцій. У разі відсутності статистичних даних по ймовірностям базисних подій, вплив елемента на стан системи можна оцінювати за його вагою [13], що відповідає показнику структурної значимості елемента системи та згідно з [22] визначається як:

$$g_{x_i} = \frac{k_1^{(i)} - l_0^{(i)}}{2^{m-1}}, \quad (3)$$

де (і) k_1 – число кон'юнкцій, що містять x_i в функції, записаній в досконалій диз'юнктивно-нормальній формі (ДДНФ);

$l_0^{(i)}$ – число кон'юнкцій, що містять заперечення \bar{x}_i в тій же функції;

m – загальне число елементів в системі.

Функція (2) перетворена до досконалої ДНФ має вигляд (фрагмент):

$$y(x) = \overline{x_{12} x_{11} x_{10} x_9 x_8 x_7 x_6 x_5 x_4 x_3 x_2 x_1} + \overline{x_{12} x_{11} x_{10} x_9 x_8 x_7 x_6 x_5 x_4 x_3 x_2 x_1} + \overline{x_{12} x_{11} x_{10} x_9 x_8 x_7 x_6 x_5 x_4 x_3 x_2 x_1} + \dots + \overline{x_{12} x_{11} x_{10} x_9 x_8 x_7 x_6 x_5 x_4 x_3 x_2 x_1} \quad (4)$$

Обчислення структурної значимості кожного елемента за (3, 4), показало, що помилки на початку технологічного процесу $x_1 - x_4$ характеризуються вагою 0,05, що в два рази менше ваги помилок $x_5 - x_{12}$ – (0,1). Об'єднання отриманих значень за типами помилок показало прямо пропорційну залежність між кількістю ймовірних помилок в технологічному процесі та їх сумарною вагомістю (табл. 2).

Таблиця 2. Показники впливу різних типів помилок людини на технологічний процес визначення параметрів бандажів колісних пар

Тип помилки людини	Позначення	Вагомість	Питома вагомість	Нормована питома вагомість
Помилки сприйняття	x_1, x_3, x_5, x_7	0,3	0,075	0,21
Помилки уваги	$x_2, x_4, x_6, x_8, x_{10}$	0,4	0,08	0,22
Помилки пам'яті	x_9, x_{11}	0,2	0,1	0,28
Помилки мислення	x_{12}	0,1	0,1	0,28

Однак той факт, що помилки пам'яті та мислення можуть виникати тільки під час кінцевих операцій технологічного процесу, їх питома вагомість є дещо більшою інших типів помилок.

Значить під час вирішення питань удосконалення технології контролю, цим операціям слід приділяти першочергову увагу. Адекватність отриманих результатів підтверджується існуючими технічними засобами контролю, що автоматизують саме ці операції [23, 24].

Висновки. 1. Аналіз технологічного процесу визначення параметрів вузлів рухомого складу (на прикладі бандажів колісних пар) дозволив визначити, що його здійснення людиною із застосуванням контактного вимірювального інструменту та ручної реєстрації результатів може призводити до появи всіх видів помилок психічного характеру. Причому помилки людини можуть виникати на протязі всього технологічного процесу.

2. Застосуванням методів структурно-логічного аналізу дозволило отримати всі можливі перетини побудованого дерева відмов. У шести випадках з восьми перетинів, навіть одна допущена помилка може призводити до негативної результуючої події.

3. Обчислення структурної значимості кожної можливої помилки показало, що помилки, допущені на початку технологічного процесу $x_1 - x_4$ характеризуються вагою 0,05, що в два рази менше ваги помилок в кінці технологічного процесу $x_5 - x_{12} - (0,1)$. Об'єднання отриманих значень за типами помилок показало прямопропорційну залежність між кількістю ймовірних помилок в технологічному процесі та їх сумарною вагомістю.

4. Дещо більша питома вагомість помилок пам'яті та мислення вказують на першочергову необхідність автоматизації операцій реєстрації результатів контролю та прийняття рішень про технічний стан.

ЛІТЕРАТУРА

1. Senders J. W., Moray N. P. Human error: Cause, prediction, and reduction. CRC Press, 2020. 168 p.
2. Dhillon B. S. Transportation Systems Reliability and Safety. CRC Press, 2016. 236 p.
3. Wiegmann D. A., Shappell S. A. A human error approach to aviation accident analysis: The human factors analysis and classification system. Routledge, 2017. 184 p.
4. Proctor R. W., Van Zandt T. Human factors in simple and complex systems. CRC press, 2018. 676 p.
5. Сидоренко Г. Г., Никифорова О. А. Людський чинник як основа безпеки руху залізничного транспорту: аналітичний огляд. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2013. №6. С. 86–89.
6. Dadashi N., Scott A., Wilson J. R., Mills A. Rail Human Factors: Supporting reliability, safety and cost reduction. CRC Press, 2013. 762 p.
7. Tartakovskiy E., Gorobchenko A., Antonovych A. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. № 5 (3). С. 4-11.
8. Brusentsov V., Brusentsov O., Vorozhbiiian M., Puzyr V. Research of the correlation between individual characteristics and functional reliability level indicators of railway operators. *Construction, materials science, mechanical engineering*. 2018. № 105. P. 111–117.
9. Flammini F. Railway safety, reliability, and security: Technologies and systems engineering: Technologies and systems engineering. IGI Global, 2012. 487 p.
10. Galar, D., Stenström, C., Parida, A., Kumar, R., Berges, L. Human factor in maintenance performance measurement. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. IEEE. 2011. P. 1569–1576.
11. Shaposhnyuk V. Y. Human factor influence on performing technical maintenance and repair of freight cars. *Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. 2018. №. 6. С. 165–175.
12. Virovac D., Domitrović A., Bazijanac E. The influence of human factor in aircraft maintenance. *Promet-Traffic&Transportation*. 2017. Т. 29. №. 3. P. 257–266.
13. Datsun, Y. M. "Determination of the degree of influence of repair processes on serviceability of units of the traction rolling stock. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Т. 1. №. 7. P. 56–61.
14. Дацун Ю. М., Філатов А. І. Дослідження відмов колісних пар тепловозів в експлуатації із застосуванням FMEA-методології. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2014. №. 147. С. 87–91.
15. Інструкція з формування, ремонту й утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм (Нова редакція). ВНД 32.0.07.001.2001. Міністерство транспорту України. Київ: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2011. 170 с.
16. Сергеев С.Ф. Инженерная психология и эргономика: исполнительные системы и деятельность человека-оператора. *Образовательные технологии*. № 1/2012. С. 28–38
17. Dhillon B. S. Human reliability: with human factors. Elsevier, 2013. 260 p.
18. Ruijters E., Stoelinga M. Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools. *Computer science review*. 2015. Т. 15. P. 29–62.
19. Kabir S. An overview of fault tree analysis and its application in model based dependability analysis. *Expert Systems with Applications*. 2017. Т. 77. P. 114-135.

20. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Политехника, 2012. 248 с.
21. Ryabinin I. A. Logical probabilistic analysis and its history. *International Journal of Risk Assessment and Management*. 2015. Т. 18. №. 3-4. P. 256-265.
22. Rafols I., Meyer M. Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity: case studies in bionanoscience. *Scientometrics*. 2010. Т. 82. №. 2. P. 263-287.
23. Демченко В. О. Аналіз використання різних методів контролю поверхні кочення коліс рухомого складу. *Наукові праці SWorld*. 2015. Т. 1. №. 2. С. 42-47.
24. Саркісян К.М. Устенко О.В. Аналіз методів та експертна оцінка оперативного контролю технічного стану колісних пар рухомого складу. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2017. № 173. С. 107 – 114.

REFERENCES

1. Senders J. W., Moray N. P. (2020) Human error: Cause, prediction, and reduction. *CRC Press*, 168. (in English).
2. Dhillon B. S. (2016) Transportation Systems Reliability and Safety. *CRC Press*, 2016. 236. (in English).
3. Wiegmann, D. A., Shappell, S. A. (2017). A human error approach to aviation accident analysis: The human factors analysis and classification system. *Routledge*, 184. (in English).
4. Proctor, R. W., Van Zandt, T. (2018). Human factors in simple and complex systems. *CRC press*, 676. (in English).
5. Sydorenko, H. H. Nykyforova O.A. (2013) Liudskiy chynnyk yak osnova bezpeky rukhu zaliznychnoho transportu: analitychnyi ohliad [The human factor as a basis for traffic safety of railway transport: analytical survey]. *Transportni systemy ta tekhnolohii perevezhen*. 87-91. (in Ukrainian).
6. Dadashi, N., Scott, A., Wilson, J. R., & Mills, A. (Eds.). (2013). Rail Human Factors: Supporting reliability, safety and cost reduction. *CRC Press*. 762. (in English).
7. Tartakovskiy E., Gorobchenko A., Antonovych A. (2016) Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 5 (3). 4-11. (in English).
8. Brusentsov V., Brusentsov O., Vorozhbiian M., Puzyr V. (2018) Research of the correlation between individual characteristics and functional reliability level indicators of railway operators. *Construction, materials science, mechanical engineering*. 105. 111-117. (in English).
9. Flammini, F. (Ed.). (2012). Railway safety, reliability, and security: Technologies and systems engineering: Technologies and systems engineering. *IGI Global*. 487. (in English).
10. Galar, D., Stenström, C., Parida, A., Kumar, R., Berges, L. (2011) Human factor in maintenance performance measurement. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. 1569-1576. (in English).
11. Shaposhnyk V. Y. (2018) Human factor influence on performing technical maintenance and repair of freight cars. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk DNUZT im. akad. V. Lazariana*. 6. 165-175. (in English).
12. Virovac D., Domitrović A., Bazijanac E. (2017) The influence of human factor in aircraft maintenance. *Promet-Traffic&Transportation*. 29. 3. 257-266. (in English).
13. Datsun, Y. M. (2016). Determination of the degree of influence of repair processes on serviceability of units of the traction rolling stock. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 1(7). 56-61. (in English).
14. Datsun Y. M., Filatov A. I. (2014) Doslidzhennia vidmov kolisnykh par teplovoziv v ekspluatatsii iz zastosuvanniam FMEA-metodolohii [Investigation of failures of wheel pairs of locomotives in operation using FMEA-methodology]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT*. 2014. 147. 87-91. (in Ukrainian).
15. VND 32.0.07.001-2001. Instruktisiia z formuvannia, remontu ta utrymannia kolisnykh par tiahovoho rukhomoho skladu zaliznyts Ukrainy kolii 1520 mm. Nova redakcija [Instruction for formation, repair and examination of wheel couples of traction rolling stock of the railroads of Ukraine of a track of 1520 mm. New release]. *Kiev*. 2011. (in Ukrainian).
16. Sergeev S.F. (2012) Inzhenernaya psikhologiya i ergonomika: ispolnitelnye sistemy i deyatelnost cheloveka-operatora [Engineering psychology and ergonomics: executive systems and human operator activity]. *Obrazovatelnye tekhnologii*. 1. 28-38. (in Russian).
17. Dhillon, B. S. (2013). Human reliability: with human factors. *Elsevier*. 260. (in English).
18. Ruijters E., Stoelinga M. (2015) Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools. *Computer science review*. 15. 29-62. (in English).
19. Kabir S. (2017) An overview of fault tree analysis and its application in model based dependability analysis. *Expert Systems with Applications*. 77. 114-135. (in English).
20. Ryabinin, I. A. (2012) Nadezhnost i bezopasnost strukturno-slozhnykh system [Reliability and safety of structurally complex systems]. *SPb.: Politekhnik*, 2000. 248. (in Russian).
21. Ryabinin, I. A. (2015). Logical probabilistic analysis and its history. *International Journal of Risk Assessment and Management*. 18(3-4), 256-265. (in English).
22. Rafols, I., Meyer, M. (2010). Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity: case studies in bionanoscience. *Scientometrics*. 82(2). 263-287. (in English).
23. Demchenko V. O. (2015) Analiz vykorystannia riznykh metodiv kontroliu pverkhni kochennia kolis rukhomoho skladu [Analysis of the use of different methods of surface control of rolling stock wheels.]. *Naukovi pratsi SWorld*. 1. 2. 42-47. (in Ukrainian).

24. Sarkisian K.M. Ustenko O.V. (2017) Analiz metodiv ta ekspertna otsinka operatyvnoho kontroliu tekhnichnoho stanu kolisnykh par rukhomoho skladu [Analysis of methods and expert evaluation of operational control of the technical state of charged parts of mobile composition]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDUZT*. 173. 107 – 114. (in Ukrainian).

Дацун Юрий Николаевич, к.т.н., доцент

(доцент кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта)

Саркисян Карен Микаелович

(аспирант кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта)

Мирошниченко Александр Владимирович

(магистрант кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта)

Исаев Дмитрий Сергеевич

(магистрант кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ПРОЦЕСС ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УЗЛОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ

Проведен анализ технологического процесса определения параметров узлов подвижного состава. Выявлены все типы ошибок, которые могут быть допущены человеком-оператором.

Определено, что ошибки в начале технологического процесса характеризуются весом, в два раза меньше веса ошибок в конце технологического процесса. Это указывает на первоочередную необходимость автоматизации операций регистрации результатов контроля и принятия решений о техническом состоянии узлов.

Ключевые слова: ошибка человека, подвижной состав, определение параметров, технологический процесс, дерево отказов.

Yurii Datsun, Ph.D.,

(Associate Professor of the Maintenance and Repair of Rolling Stock Department, Ukrainian State Academy of Railway Transport)

Karen Sarkisian

(Postgraduate student of the Maintenance and Repair of Rolling Stock Department, Ukrainian State Academy of Railway Transport)

Olexander Miroshnichenko

(Master student of the Maintenance and Repair of Rolling Stock Department, Ukrainian State Academy of Railway Transport)

Dmytro Isaev

(Master student of Maintenance and Repair of Rolling Stock Department, Ukrainian State Academy of Railway Transport)

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE HUMAN FACTOR ON THE PROCESS OF DETERMINING THE PARAMETERS OF ROLLING STOCK UNITS DURING TECHNICAL MAINTENANCE

The analysis of the technological process of determining the parameters of rolling stock units (using the example of wheel set bandages) has been carried out in the article. It has been determined that its implementation by a person using a contact measuring instrument and manual recording of the results can lead to the appearance of errors in perception, attention, memory and thinking. These human errors can occur throughout the entire technological process.

The use of methods of structural and logical analysis made it possible to obtain all possible cuts of the constructed fault tree. In six cases out of eight cuts, even one mistake made can lead to a negative resulting event.

Due to the lack of statistical data on the probabilities of errors, their influence was assessed by weight, which corresponds to the indicator of the structural significance of an element in the constructed structural system.

Calculation of the structural significance of each possible error has shown that errors at the beginning of the technological process are characterized by a weight that is half the weight of errors at the end of the technological process. The somewhat greater specific significance of errors in memory and thinking indicates the primary need to automate the operations of registering control results and making decisions about the technical condition.

Keywords: *human error, rolling stock, determination of parameters, technological process, fault tree.*

УДК 629.4.07

Неведров Олександр
(аспірант кафедри тягового рухомого складу залізниць Державного університету інфраструктури та технологій)

РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ОЦІНКИ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ ТЯГОВИМ РУХОМИМ СКЛАДОМ

Виконано аналіз та класифікацію основних причин помилок людини при керуванні локомотивом. На різних етапах управління поїздом постає завдання вибору найкращого варіанту з множини допустимих керуючих рішень. Процес прийняття рішення при оптимальному управлінні характеризують такі основні риси: наявність критеріїв оптимальності і альтернативних варіантів управління. Виконано дослідження адитивних, мультиплікативних та мінімаксних критеріїв.

Ключові слова: керування поїздом, оптимальне керування, помилка машиніста, безпека руху.

Безпека руху на залізничному транспорті напряму залежить від якості керуючої діяльності машиніста локомотива. Як показує аналіз, машиніст локомотива виявляється регулятором двох самостійних систем, кожна з яких має свої канали зворотного зв'язку і свої специфічні керовані об'єкти.

В одній системі керованим об'єктом служить локомотив. За допомогою зору машиніст сприймає повідомляючу інформацію про стан шляху, сигналів, простору поряд з колією і т. д. Обсяг інформації такого роду досить великий. Підрахунок подразників, що діють на машиніста за період одного рейсу, показав, що загальна сума їх становить 18-20 тис., з яких лише 10% виявляються виробничо важливими (світлофори, переїзди, обмежувачі швидкості, покажчики профілю колії і т. д.). [1,2] Інші, не будучи виробничо важливими, в будь-який момент можуть стати ними.

Іншим об'єктом управління в діяльності машиніста є енергосистема локомотива. Повідомляюча інформація про роботу її блоків сприймається машиністом за допомогою зору (показання приладів) і слуху (шум працюючої машини). Крім того, про роботу агрегатів машиніст судить по вібрації корпусу локомотива, яку він сприймає за допомогою спеціальних органів почуттів – виброрецепторів. Регулюючі впливи в цьому контурі управління передаються прямо – через відповідні важелі – й опосередковано – через помічника машиніста.

Ця друга функція дозволяє розглядати машиніста як оператора полуавтоматизованої системи. Так, професійно важливою інформаційною моделлю для машиніста електровоза стає модель електросхеми локомотива, в особливості – схеми високовольтної камери. Модель положення основних реле і контактів цієї схеми (як, втім, і інших агрегатів) стає основою для контролю за роботою машин.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Проблема якості керування локомотивом є досить актуальною, тому дослідники та науковці постійно розробляють все нові шляхи її вирішення [3–6]. Необхідна для діяльності машиніста безперервна зорова оцінка різних ділянок шляху часто здійснюється у край несприятливих умовах, вночі, в туманну або дощову погоду і т. д. Така оцінка залежить насамперед від того, наскільки правильно вміє машиніст порівнювати різні просторові величини в нормальних умовах. Сформована в ході виробничого навчання інформаційно-моторна система дозволяє машиністові сприймати величину відрізка шляху в кожен даний момент поїздки.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-3

Особливу значимість така безперервна оцінка набуває у випадках необхідності екстреного гальмування.

Відомо, що одним з основних понять, пов'язаних з безпекою руху поїздів, є гальмівний шлях [7]. При розрахунку гальмівного шляху в тих чи інших конкретних умовах приймаються до уваги лише такі об'єктивні критерії, які пов'язані зі станом гальмівних механізмів і довжиною ділянки шляху в його відношенні до ваги і швидкості поїзда. Психологічний аналіз поведінки машиніста [8,9] у випадках запобігання аварій показує, що суттєвим компонентом, що визначає довжину гальмівного шляху, є стан машиніста, рівень готовності його інформаційно-моторних систем. Тому час, що визначає гальмівний шлях, складається з часу технічної готовності гальмівного механізму, латентного часу робочої реакції машиніста і часу гальмування, тобто мінімального відрізка часу, протягом якого поїзд зупиняється.

Розглянемо природу помилок людини, які вона може здійснити під час трудової діяльності. В роботах [10] сформульовано, що надійність роботи людини визначається як імовірність успішного виконання нею роботи або поставленої задачі на заданому етапі функціонування системи протягом заданого інтервалу часу при певних вимогах до тривалості виконання роботи. Помилка людини визначається як невиконання поставленої задачі [11] (або виконання забороненої дії), яке може призвести до пошкодження обладнання або порушення нормального протікання запланованих операцій.

Мета і завдання дослідження. Виходячи з аналізу існуючих наукових праць за напрямком удосконалення керуючої діяльності машиніста локомотива, можна визначити напрямки досліджень, що отримали не достатній розвиток. А саме необхідно надати більш явно визначити причини транспортних подій з вини локомотивних бригад та надати їх класифікацію. Також недостатньо розробленим залишилось питання теоретичного обґрунтування показників якості керуючої діяльності машиніста. Необхідно поєднати процес прийняття рішень з керування поїздом з процесом визначення критеріїв якості управління залежно від поточної мети.

Матеріали та методи дослідження. Основні транспортні події, що трапляються з вини машиніста локомотива можна охарактеризувати такими ознаками:

машиніст прагне досягти помилкової мети. Практично такі події відбуваються найчастіше тоді, коли машиніст неправильно сприймає команди диспетчера, сигнали світлофора, тощо і прагне виконати дії, що призводять до небезпечних наслідків;

мета не може бути досягнута з причини помилкових дій машиніста. Як правило ці дії обумовлені недостатньою кваліфікацією, втому, відволіканням від управління локомотивом;

машиніст залишається бездіяльним у ситуаціях, що загрожують безпеці руху. Тривале відволікання від керування та сон є такими факторами під час ведення поїзда.

Виходячи з вищенаведеного цілком можливо застосувати таку класифікацію помилок з вини людини:

1. Помилки управління – виникають у тих випадках, коли людина неправильно виконує встановлені процедури.

2. Помилки технічного обслуговування – виникають у процесі експлуатації і, як правило, з-за неякісного ремонту обладнання або недбалості при проведенні передрейсового контролю.

3. Помилки проектування – обумовлені незадовільним проектуванням, наприклад розташування засобів управління та індикації у кабіні локомотива відпрацьовується конструкторами протягом значного часу, однак у процесі подальших модернізацій можуть вноситися зміни, які впливають на рівень зручності управління, і тим самим збільшують імовірність помилкових дій.

4. Помилки контролю – пов'язані з помилковим прийманням несправного вузла чи пристрою за справні і навпаки.

5. Привнесені помилки – помилки для яких неможливо визначити – виникли вони з вини людини чи пов'язані з обладнанням.

Серед основних причин помилок людини-оператора можливо виділити такі :
незадовільна підготовка або низький рівень кваліфікації;

недотримання передбачених процедур експлуатаційної роботи;
незадовільні умови праці, пов'язані з такими негативними явищами як надмірний шум, вібрація, температурні коливання у кабіні машиніста (особливо на тепловозах);
відсутність привабливих стимулюючих факторів для досягнення оптимального рівня якості роботи.

Залежність між якістю роботи людини-оператора і діючими навантаженнями відображена на рис. 1.



Рис. 1. Залежність ефективної роботи людини– оператора від рівня навантаження

На різних етапах управління поїздом постає завдання вибору найкращого варіанту з множини допустимих керуючих рішень, що задовольняють висунутим вимогам [12]. Процес прийняття рішення при оптимальному управлінні характеризують такі основні риси: наявність мети (критеріїв оптимальності) і альтернативних варіантів розвитку, і врахування суттєвих факторів при керуванні.

Поняття «оптимальне рішення» при управлінні має цілком певне тлумачення – краще в тому чи іншому сенсі керуюче рішення, яке допускається обставинами. У переважній більшості випадків одна і та ж технічна задача може бути вирішена декількома способами, що призводять не тільки до різних вихідних характеристик, схем і конструкцій, але навіть і до фізичним принципам, покладеним в основу побудови об'єкта. При цьому одне з рішень може перевершувати іншого за одним властивостями і поступатися йому з іншим. В цих умовах годину-то надзвичайно важко сказати, не тільки яка з систем оптимальна, але навіть яка з них краще.

Якщо виділяють один параметр, який характеризує властивості, то цей параметр приймається за цільову функцію. При цьому інші параметри підпадають під категорію обмежень. При вирішенні однокритеріальних задач застосовується математичний апарат дослідження операцій. При створенні обчислювальної мережі в більшості випадків однокритеріальні завдання не задовольняють отриманим рішенням. Складні обчислювальні мережі характеризуються багатьма параметрами (ємність пам'яті, час рахунку, пропускна здатність каналів тощо), що визначають її якість. Серед цих параметрів є такі, значення яких бажано всіляко збільшувати, але є й такі, які бажано мінімізувати.

Таким чином, обмеження і зв'язки між окремими параметрами обчислювальної системи призводять до необхідності йти на компроміс вибирати для кожної характеристики не максимально можливе в принципі значення, а менше, але таке, при якому і інші важливі характеристики теж будуть мати прийнятні значення. Тому необхідно брати до уваги всю сукупність характеристик. Завдання керування, що проводяться за кількома критеріями оптимізації, носять назву багатокритеріальних, або задач векторної оптимізації.

Відомі методи векторної оптимізації [13,14] прямо або побічно зводять розв'язувані задачі до задач скалярної оптимізації, тобто часткові критерії тим чи іншим способом об'єднуються в складний критерій, який потім максимізується (або мінімізується). Якщо складний критерій відображає фізичну суть розрахунку і розкриває об'єктивний зв'язок між частковими критеріями і складним критерієм, то оптимальне рішення є об'єктивним.

На практиці через складності зазвичай складний критерій об'єднує часткові, що веде до суб'єктивності рішення; такий критерій є узагальненим, або інтегральним. Залежно від того, яким чином часткові критерії об'єднуються в узагальнений критерій, розрізняють критерії адитивні, мультиплікативні та мінімаксні (максимін).

Якщо оптимізація ведеться без урахування статистичного розкиду характеристик, то відповідний критерій оптимальності називають детермінованим критерієм; якщо розкид параметрів враховується, то маємо статистичний критерій. Статистичний критерій оптимальності найбільш повно відображає якість розрахунку, але його використання вимагає великих витрат машинного часу.

Часткові критерії

При керуванні за частковими критеріями якості цільової функції $F(X)$ приймається найбільш важливий вихідний параметр системи управління локомотивом, всі інші параметри у вигляді відповідних умов працездатності відносяться до обмежень. В цьому випадку задача оптимального керування є однокритеріальною задачею математичного програмування: максимізувати (або мінімізувати) значення цільової функції $P(X)$ $max(min)$ при наявності обмежень на параметри обчислення.

З постановки задачі випливає, що параметри, для яких виконуються обмеження у вигляді строгих нерівностей, мають певний запас порівняно з заданими технічними вимогами. Ряд параметрів, для яких умови працездатності мають вигляд нерівностей, запасів взагалі не має, і будь-які зміни технічних вимог для цих параметрів приводять до зміни характеристик і структури проектного об'єкта, так і до зміни значення цільової функції.

Адитивні критерії

У цих критеріях цільова функція утворюється шляхом додавання нормованих значень часткових критеріїв. Приватні критерії мають різну фізичну природу і відповідно до цього – різну розмірність. Тому при утворенні узагальненого критерію слід оперувати не з «натуральними» критеріями, а з їх нормованими значеннями. Нормовані критерії являють собою відношення «натурального» приватного критерію до деякої нормуючої величини, вимірюваної в тих же одиницях, що і сам критерій. При цьому вибір нормуючого дільника повинен бути логічно обґрунтований. Можливі кілька підходів до вибору нормуючого дільника.

Перший підхід пропонує приймати як нормуючого дільника директивні значення параметрів, що задані замовником. Логічно слабким моментом такого підходу є негласне припущення того, що в завданні на проектувану обчислювальну систему визначено оптимальні значення параметрів об'єкта, і що сукупність заданих значень критеріїв розглядається як взірцева.

Другий підхід передбачає вибір в якості нормуючих дільників максимальних значень критеріїв, що досягаються в області існування проектних рішень (в області компромісу). Можливий підхід, при якому в якості нормуючих дільників вибирають різницю між максимальним і мінімальним значеннями критерію в області компромісу.

Вибір підходу до формування безрозмірної форми часткових критеріїв іноді носить суб'єктивний характер і повинен обґрунтовуватися в кожному конкретному випадку. Нехай при проектуванні роботи керуючої локомотивної системи існує n приватних критеріїв. Тоді цільова функція задачі оптимізації у разі застосування адитивного критерію визначається

$$F(X) = \sum_{i=1}^n c_i \frac{F_i(X)}{F_i^{(0)}(X)} = \sum_{i=1}^n c_i f_i(X), \quad (1)$$

де c_i – ваговий коефіцієнт i -го часткового критерію;

$F(X)$ – i -й нормуючий дільник;

$f_i(X)$ – нормоване значення i -го приватного критерію.

Така цільова функція дозволяє здійснити компроміс, при якому покращення значення одного нормованого приватного критерію компенсує погіршення значень інших.

Введення вагових коефіцієнтів має враховувати різну значимість часткових критеріїв при формуванні адитивного критерію. Визначення вагових коефіцієнтів стикається з серйозними труднощами і зазвичай зводиться або до використання формальних процедур, або до застосування експертних оцінок. З появою узагальненого критерію зникають логічні проблеми, пов'язані з встановленням взаємозв'язків між приватними критеріями різної розмірності і вибором найкращого варіанту обчислювальної системи, і залишаються лише обчислювальні труднощі. Але адитивний критерій має ряд недоліків, головний з яких полягає в тому, що він не впливає з об'єктивної ролі часткових критеріїв у функціонуванні обчислювальної системи і виступає тому як формальний математичний прийом, надає задачі зручний для рішення вигляд.

Інший недолік полягає в тому, що в адитивному критерії може відбуватися взаємна компенсація часткових критеріїв. Це означає, що значне зменшення одного з критеріїв аж до нульового значення може бути покрито зростанням іншого критерію. Для усунення цього недоліку слід вводити обмеження на мінімальні значення частинних критеріїв та їх вагових коефіцієнтів.

Незважаючи на слабкі сторони, узагальнений адитивний критерій дозволяє в ряді випадків успішно вирішувати багатокритеріальні задачі і отримувати корисні результати.

Мультиплікативні критерії

Адитивні критерії засновані на використанні принципу справедливої компенсації абсолютних значень нормованих часткових критеріїв. Але іноді доцільним є оперування не з абсолютними, а відносними змінами значень часткових критеріїв.

Принцип справедливої відносної компенсації формулюється наступним чином: справедливим слід вважати такий компроміс, коли сумарний рівень відносного зниження значень одного або декількох критеріїв не перевищує сумарного рівня відносного збільшення значень інших критеріїв. Умови оптимальності на основі принципу справедливої відносної компенсації мають вигляд

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta F_i(X)}{F_i(X)} = 0, \quad (2)$$

де $\Delta F_i(X)$ – приріст величини i -го критерію;

$F(X)$ – первісна величина i -го критерію.

З цього виразу випливає, що принцип справедливої відносної компенсації призводить до мультиплікативного узагальненого критерію оптимальності:

$$F(X) = \prod_{i=1}^n F_i(X) \quad (3)$$

Мультиплікативний критерій утворюється шляхом простого множення приватних критеріїв в тому випадку, якщо всі вони мають однакову важливість.

Перевагою мультиплікативного критерію є те, що при його використанні не потрібно нормування часткових критеріїв. Недоліки критерію: критерій компенсує недостатню величину одного приватного критерію надмірною величиною іншого і має тенденцію згладжувати рівні приватних критеріїв за рахунок нерівнозначних початкових значень часткових критеріїв.

Мінімаксні критерії

В теорії векторної оптимізації особливе місце займає принцип компромісу, заснований на ідеї рівномірності. На основі цього принципу складені мінімаксні (максимін) критерії.

Сутність принципу максимуму полягає в такому. При створенні моделі керування і наявності великого числа часткових критеріїв досить важко, а часом і неможливо встановити аналітичну залежність між критеріями. Тому, ґрунтуючись на ідеї рівномірного компромісу, намагаються знайти такі значення змінних проектування $X = (x_1 \dots x_m)$, при яких нормовані значення всіх приватних критеріїв стають рівними між собою, тобто $f_i(X) = K$, $i = (1, n)$. З урахуванням вагових коефіцієнтів важливості частинних критеріїв вираження трансформуються в співвідношення виду $c_i f_i(X) = K$, $(i=1, n)$.

При великому числі часткових критеріїв із-за складних взаємозв'язків іноді важко досягти співвідношень зазначених вище. Тоді застосовують принцип максиміна, що полягає в такій варіації значень змінних проектування X , при якій послідовно підвищуються ті нормовані критерії, чисельні значення яких в початковому рішенні виявилися найменшими. Завищення одного критерію неминуче призводить до зниження значень решти критеріїв. Але при проведенні певних операцій можна домогтися певної міри зрівнювання суперечливих (конфліктних) часткових критеріїв, що і є метою принципу максиміна.

Принцип максиміна формулюється наступним чином: необхідно вибрати таке X^0 , на якому реалізується максимум з мінімальних значень приватних критеріїв, тобто

$$F(X^{(0)}) = \max_X \min_i \{f_i(X)\}, i = \overline{1, n}, X = (x_1, \dots, x_n). \quad (4)$$

Такий принцип вибору X^0 іноді носить назву принципу «гарантованого результату». Він запозичений з теорії ігор, де, по суті, є основним принципом.

Якщо часткові критерії $f_i(X)$ потрібно мінімізувати, то самим «відстаючим» критерієм є той, який приймає максимальне значення. У цьому випадку принцип рівномірної компенсації формулюється у вигляді мінімаксної задачі

$$F(X^{(0)}) = \max_X \min_i \{f_i(X)\}, i = \overline{1, n}, X = (x_1, \dots, x_n). \quad (5)$$

Геометрична інтерпретація принципу мінімаксу полягає в наступному. Нехай проектується деякий об'єкт за n приватними критеріями

$$v_i = f_i(X), i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Кожен варіант об'єкта представлений в просторі E_n , у вигляді точки A^1 з координатами $A^1 = (v_1^1, \dots, v_n^1)$, а множина варіантів може бути відображено в кінцеве безліч точок $A = (A^1, \dots, A^k)$, укладену в опуклу оболонку $s(A)$. Тобто прийняття рішень при проектуванні обмежена опуклою оболонкою $s(A)$ в просторі E_n (рис. 2).

Нехай всі часткові критерії мінімізуються. Тоді областю компромісу є ліва нижня межа опуклої оболонки $S(A)$, а рішення повинно знаходитися в області компромісу. У загальному випадку при нерівнозначних критерії $v_i = f_i(X)$ рішення на основі принципу рівномірної компенсації буде відповідати точці A_0 , що лежить в області компромісу, для якої будуть задовольнятися співвідношення

$$c_i v_i = K, c \geq 0, \sum_{i=1}^n c_i = 1, i = \overline{1, n}.$$

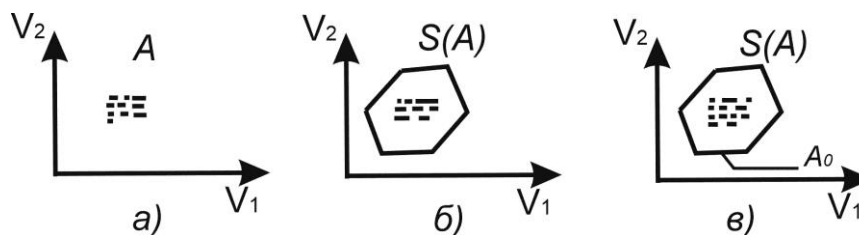


Рис. 2. Графічна інтерпретація принципу мінімаксу:

а – множина варіантів об'єкта; б – обмеження варіантів; в – область прийняття рішень

Напрям, обумовлений вектором $C = (c_1, \dots, c_n)$, задається в першому октанті в просторі E_n . Довільний вектор вагових коефіцієнтів C дозволяє віддавати перевагу один перед одним приватним критерієм $V_i = f_i(X)$, виражених у кількісній шкалі.

Висновки. Серед основних причин помилок людини-оператора можливо виділити такі:
незадовільна підготовка або низький рівень кваліфікації;
недотримання передбачених процедур експлуатаційної роботи;
незадовільні умови праці, пов'язані з такими негативними явищами як надмірний шум, вібрація, температурні коливання у кабіні машиніста (особливо на тепловозах);
відсутність привабливих стимулюючих факторів для досягнення оптимального рівня якості роботи.

Висновки щодо вибору критеріїв оптимальності полягають у такому:

вибір критерію може проводитися неоднозначно. Джерелом складності служить суперечливість цілей (вартість і надійність функціонування, енергоємність і продуктивність, обсяг запам'ятовуючого пристрою і швидкість зчитування завжди будуть знаходитися в протиріччі один з одним).

якщо потрібно оптимізувати один з параметрів при дотриманні обмежувальних вимог на інші параметри, то формується частковий критерій $F(X)$.

при наявності декількох критеріїв оптимальності адитивний критерій вибирають тоді, коли істотне значення мають абсолютні величини критеріїв при вибраному векторі параметрів X .

якщо суттєву роль відіграють зміни абсолютних величин – часткових критеріїв при варіації вектору змінних X , то застосовують мультиплікативний критерій оптимальності.

якщо стоїть завдання досягнення рівності нормованих значень конфліктних часткових критеріїв, то оптимальне керування виконують за мінімакним критерієм.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пузир В. Г., Устенко О. В., Крот В.С. Технічні засоби для виявлення причин транспортних подій. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ «Безпека руху та людський фактор на транспорті»*. 2007. Вип. 82. С. 173–177.
2. Горобченко О. М. Розробка методики оцінки інформаційного навантаження на локомотивну бригаду. *Збірник наукових праць ДонІЗТ*. 2013. Вип.36. С. 141–147.
3. Zhu S. et al. Modeling and verification of running process control for underground mine locomotive. *Computers & Electrical Engineering*. 2020. Т. 87. Р. 106790.
4. Самсонкин В. Н., Петин Я. П. Математическая модель информационно-управляющей системы контроля операционной деятельности машиниста скоростного поезда. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2016. № 3. С. 3–10.
5. Брусенцов В. Г. та ін. Ергономічне забезпечення діяльності машиністів у швидкісному русі. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. № 160. С. 120–123.
6. Tartakovsky E., Gorobchenko A., Antonovych A. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2016. № 5 (3). С. 4–11.
7. Serajian R., Mohammadi S., Nasr A. Influence of train length on in-train longitudinal forces during brake application // *Vehicle system dynamics*. 2019. Т. 57. № 2. С. 192–206.
8. Gu, G. Z., Yu, S. F., Wu, H., Zhou, W. H., Kang, L., Chen, R. Relationship between depressive symptoms and occupational stress in locomotive drivers. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*, 2018. 36(5), 347–352.
9. Shahbazi, A., Rahmani, N., Abbasi, M., Nabi Amjad, R., Marioryad, H., Khammar, A., Poursadeghiyan, M. Association between occupational stress and risk factors of cardiovascular disease in locomotive operators. *Iranian Heart Journal*. 2018. 19(2). 20–26.
10. Пузир В.Г., Ремез І.В. Оцінка надійності операторів людино-машинних комплексів залізничного транспорту. *Науково-техн. зб. Комунальне господарство міст: Серія «Архітектура і технічні науки»*. Вип.47. С. 219–223.
11. Aalipour, M., Ayele, Y. Z., & Barabadi, A. Human reliability assessment (HRA) in maintenance of production process: a case study. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. (016. №7(2). P.229–238.
12. Gorobchenko, O., Fomin, O., Gritsuk, I., Saravas, V., Grytsuk, Y., Bulgakov, M., Zinchenko, D. Intelligent Locomotive Decision Support System Structure Development and Operation Quality Assessment. In 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) (pp. 239-243). IEEE.
13. Lucambio Pérez, L. R., Prudente, L. F. Nonlinear conjugate gradient methods for vector optimization. *SIAM Journal on Optimization*. 2018. 28(3). P.2690–2720.
14. Durea, M., Strugariu, R., Tammer, C. On some methods to derive necessary and sufficient optimality conditions in vector optimization. *Journal of Optimization Theory and Applications*. 2017. №175(3), P.738–763.

REFERENCES

1. Пузир, В. Г., Устенко, О. В., & Крот, В. С. (2007). Технічні засоби для виявлення причин транспортних подій. Зб. наук. праць УкрДАЗТ «Безпека руху та людський фактор на транспорті», №, 173-177.
2. Горобченко, О. М. (2013). Розробка методики оцінки інформаційного навантаження на локомотивну бригаду. Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта, (36).
3. Zhu, S., Zhang, J., Zhao, S., Wei, Z., Lu, Y., & Cheng, L. (2020). Modeling and verification of running process control for underground mine locomotive. Computers & Electrical Engineering, 87, 106790.
4. Самсонкин, В. Н., & Петин, Я. П. (2016). Математическая модель информационно-управляющей системы контроля операционной деятельности машиниста скоростного поезда. Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті, (3), 3-10.
5. Брусенцов, В. Г., Ворожбян, М. И., Пузир, В. Г., Брусенцов, О. В., & Ворожбян, М. И. (2016). Ергономічне забезпечення діяльності машиністів у швидкісному русі.
6. Tartakovskiy, E., Gorobchenko, A., & Antonovych, A. (2016). Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, (5 (3)), 4-11.
7. Serajian, R., Mohammadi, S., & Nasr, A. (2019). Influence of train length on in-train longitudinal forces during brake application. Vehicle system dynamics, 57(2), 192-206.
8. Gu, G. Z., Yu, S. F., Wu, H., Zhou, W. H., Kang, L., & Chen, R. (2018). Relationship between depressive symptoms and occupational stress in locomotive drivers. Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi, 36(5), 347-352.
9. Shahbazi, A., Rahmani, N., Abbasi, M., Nabi Anjad, R., Marioryad, H., Khammar, A., ... & Poursadeghiyan, M. (2018). Association between occupational stress and risk factors of cardiovascular disease in locomotive operators. Iranian Heart Journal, 19(2), 20-26.
10. Пузир В.Г., Ремез І.В. Оцінка надійності операторів людино-машинних комплексів залізничного транспорту. Науково-техн. зб./ Комунальне господарство міст: Серія «Архітектура і технічні науки. 47. С. 219-223.
11. Aalipour, M., Ayele, Y. Z., & Barabadi, A. (2016). Human reliability assessment (HRA) in maintenance of production process: a case study. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 7(2), 229-238.
12. Gorobchenko, O., Fomin, O., Gritsuk, I., Saravas, V., Grytsuk, Y., Bulgakov, M., ... & Zinchenko, D. (2018, September). Intelligent Locomotive Decision Support System Structure Development and Operation Quality Assessment. In 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) (pp. 239-243). IEEE.
13. Lucambio Pérez, L. R., & Prudente, L. F. (2018). Nonlinear conjugate gradient methods for vector optimization. SIAM Journal on Optimization, 28(3), 2690-2720.
14. Durea, M., Strugariu, R., & Tammer, C. (2017). On some methods to derive necessary and sufficient optimality conditions in vector optimization. Journal of Optimization Theory and Applications, 175(3), 738-763.

Неведров Александр

(аспірант кафедри тягового подвижного состава железных дорог Государственного университета инфраструктуры и технологий)

**РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ОПТИМИЗАЦИИ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Выполнен анализ и классификация основных причин ошибок человека при управлении локомотивом. На разных этапах управления поездом стоит задача выбора наилучшего варианта из множества допустимых управляющих решений .. Процесс принятия решения при оптимальном управлении характеризуют следующие основные черты: наличие критериев оптимальности и альтернативных вариантов управления. Выполнены исследования аддитивных, мультипликативных и минимаксных критериев.

Ключевые слова: *управление поездом, оптимальное управление, ошибка машиниста, безопасность движения.*

Nevedrov Oleksandr
(graduate student of the Department of Traction Rolling Stock of the State University of Infrastructure and Technology)

**DEVELOPMENT OF THEORETICAL FUNDAMENTALS OF OPTIMIZATION AND
QUALITY ASSESSMENT OF TRACTION ROLLING STOCK MANAGEMENT**

Among the main causes of human operator errors are the following: unsatisfactory training or low level of qualification; non-compliance with the prescribed operating procedures; unsatisfactory working conditions associated with such negative phenomena as excessive noise, vibration, temperature fluctuations in the driver's cab (especially on locomotives); lack of attractive incentives to achieve the optimal level of quality of work. The choice of the criterion of optimal control can be ambiguous. The source of complexity is the inconsistency of goals. If you want to optimize one of the parameters in compliance with the restrictive requirements for other parameters, then a partial criterion is formed. In the presence of several optimality criteria, the additive criterion is chosen when the absolute values of the criteria are significant for the selected parameter vector. If a significant role is played by changes in absolute values of partial criteria in the variation of the vector of variables, then apply the multiplicative criterion of optimality. If the task is to achieve equality of normalized values of conflicting partial criteria, then the optimal design is performed by the minimum criterion.

Keywords: train control, optimal control, driver error, traffic safety.

УДК 629.463.65

Фомін Олексій Вікторович, д.т.н., проф.,
(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)

Кара Сергій Віталійович, к.т.н.,
(начальник управління інжинірингу, філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця», м. Київ)

Прокопенко Павло Миколайович,
(аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)

Горбунов Микола Іванович, д.т.н., професор
(професор, завідувач кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, м. Сєверодонецьк)

Фомін Володимир Вікторович, к.т.н.,
(начальник виробничого підрозділу, філії «Панютинський вагоноремонтний завод» АТ «Укрзалізниця», м. Лозова)

ОЦІНКА ДИНАМІЧНИХ ЯКОСТЕЙ РУХУ ПЕРЕОБЛАДНАНИХ ВАГОНІВ-ХОПЕРІВ ПІСЛЯ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У роботі викладені дослідження показників якості руху вагонів-хоперів переобладнаних з цементовоза та мінераловоза після тривалої експлуатації. В рамках роботи було проведено теоретичне та експериментальне дослідження (на основі проведення ходових динамічних випробувань) ходових якостей порожніх вагонів-хоперів, що переобладнані з цементовозів і мінераловозів. Проведено комп'ютерне моделювання динаміки порожніх вагонів-хоперів, що переобладнані з цементовозів і мінераловозів у залежності від стану колії, технічного стану вагонів та маси тари.

Ключові слова: вагон-хопер, випробування, моделювання, динаміка, сход з рейок, технічний стан, безпека руху.

Вступ. Вагомим недоліком роботи залізничного транспорту України є обмеження швидкості руху поїздів з окремими вантажними вагонами в порожньому стані, які обладнані візками моделі 18-100. У числі причин сходів коліс вагонів з рейок є: несправностями ходових частин вагонів (злам бічних рам і надресорних балок візків, несправності роликів підшипників буксового вузла), знос елементів фрикційних гасителів коливань, неприпустимі відхилення розмірів елементів візка та залізничної колії та особливості конструкції вагонів після ремонтів та модернізацій. В рамках роботи було проведено теоретичне та експериментальне дослідження (на основі проведення ходових динамічних випробувань) ходових якостей порожніх вагонів-хоперів, що переобладнані з цементовозів і мінераловозів. Комп'ютерне моделювання динаміки порожніх вагонів-хоперів, що переобладнані з цементовозів і мінераловозів у залежності від стану колії, технічного стану вагонів та маси тари та проведені дослідження залежності запасу

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-4

стійкості коліс від сходу при однократній та багатократній наявності граничних вертикальних відхилень і горизонтальних відхилень рейкової колії.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. На теперішній час питанню досліджень показників якості руху вантажних вагонів присвячено ряд праць, це пояснює їхню актуальність. Робота [1] описує результати досліджень несівної здатності вантажного вагона. Але мета цих досліджень була оцінка конструктивних резервів, а не показників якості руху вантажних вагонів.

У матеріалі [2] описані перспективи покращення конструкцій вагонів шляхом збільшення строку експлуатації. Але збільшення терміну експлуатації вантажного вагона пропонується досягати через покращення їхніх конструктивних властивостей.

У праці [3] приведений аналіз властивостей матеріалів кузовів вагонів нового покоління. Зазначено перевагу впровадження нових сучасних матеріалів для окремих частин конструкції вагону. Але питання оцінки динамічних показників таких вагонів не висвітлено.

Робота [4] описує удосконалення несівної конструкції кузова вагона для забезпечення надійного кріплення на палубі залізничного порому. Створення і використання динамічної моделі, яка враховуватиме показники якості руху вагонів не описано.

Оцінка динаміки вагона з відкритою з платформою описано в [5]. Розрахунок виконаний в MSC Adams.

Робота [6] описує пропускну можливість залізничних шляхів, що призначаються для транспортування сировини і готової продукції металургійної промисловості.

Проектування рухомого складу який перевозить великовагові вантажів викладені у [7], але в роботі не описаний процес оцінки динаміки руху таких вагонів.

Матеріал [10] описує вплив профілю кочення коліс візка на загальну динаміку рухомого складу. При цьому імітації відповідних експлуатаційних зносів та дослідженню динамічних якостей в такому випадку увага не була приділена.

У праці [11] аналізувались особливості руху та взаємодії рухомого складу з параметрами, які відповідають новій техніці. А відповідні дослідження для одиниць з параметрами, які відображають якість руху вагонів після тривалої експлуатації не проведені.

Робота [12] присвячена описанню результатів удосконалення динамічних якостей рухомого складу при проходженні кривих ділянок колії шляхом покращення відповідних конструктивних елементів.

У статті [14] описано розробку несучої конструкції критого вантажного вагона, особливість якої є, що елементи кузова виготовлено з труб круглого перерізу, але в роботі не описано як саме визначаються показники динаміки руху вагона.

У праці [16] викладено особливості проектування та виготовлення відкритих вантажних вагонів нового покоління їхні несучі системи з круглих труб що дає змогу зменшити витрати.

У статті [17] автори розглядають якісні показники керованості рельсових екіпажей, пов'язуючи їх з додатковим впливом на екіпаж з боку шляху в процесі управління.

Праця [19] автор описують моделювання сходу з рейок коліс з врахуванням повної моделі фрикційної взаємодії з рейками набігаючих та не набігаючих коліс.

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що в даний час питанню оцінки показників якості руху вантажних вагонів після тривалої експлуатації приділено недостатньо уваги.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – вирішення поставленої задачі з теоретичного та практичного оцінювання показників якості руху переобладнаних вагонів-хоперів після тривалої експлуатації та розробка комп'ютерної моделі для проведення досліджень з різними варіаціями відхилень від технічного стану рухомого складу та інфраструктури.

Завданням ходових динамічних випробувань є визначення, оцінка показників ходових динамічних якостей вагонів при русі з різними швидкостями по ділянці залізничної колії.

Матеріали та методи дослідження. Об'єктами досліджень є вагони для сипучих вантажів моделі 19-923-01, 1988 року побудови (рис 1) та вагон-хопер моделі 11-715-01, 1988 року побудови (рис 2) в порожньому стані.

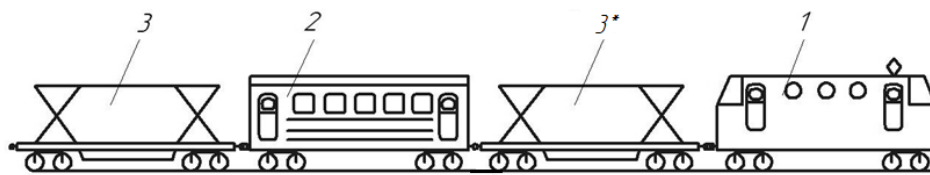


Рис. 1. Вагон-хопер моделі 19-923-01



Рис. 2. Вагон-хопер моделі 11-715-01

Ходові динамічні випробування проводились фахівцями НВЦ філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» у порожньому стані в складі дослідного зчепу. Дослідний зчеп був сформований з: локомотива, дослідного вагона-хопера моделі 19-923-01, вагона-лабораторії, вагона-хопера моделі 11-715-01 (рис 3), на ділянці «Дарниця-Миронівка-Дарниця» Південно-Західної залізниці. Ділянка колії на якій проводились випробування за складом прямих і кривих ділянок, відповідає вимогам до колії для проведення ходових динамічних випробувань.



1 – локомотив, 2– вагон-лабораторія, 3, 3* – дослідні вагони для перевезення сипучих вантажів

Рис. 3. Схема дослідного зчепу

Приклад візка дослідних вагонів на якому встановлені засоби вимірювальної техніки (рис 4) для запису даних які в подальшому будуть використані для оцінки показників руху дослідних вагонів.



Рис. 4. Візок з встановленим обладнанням

В ході підготовки до ходових динамічних випробувань проводиться тарування вертикальних і горизонтальних сил. Тарування вертикальних сил проводиться шляхом навантаження візка кузовом вагона, а горизонтальних сил проводиться шляхом стиснення щелеп візка тарувальним пристроєм.

Коефіцієнт запасу стійкості від сходження з рейок коліс визначається за формулою:

$$K_{yc} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \cdot \frac{Q_{ш} \left(\frac{2(b-a_2)}{l} - K_o^n \frac{2b-a_2}{l} + K_o^{nn} \frac{a_2}{l} \right) + q \frac{b-a_2}{l} + \frac{r}{l} H_p}{\mu Q_{ш} \left(\frac{2(b-a_1)}{l} - K_o^n \frac{a_1}{l} + K_o^{nn} \frac{2b-a_2}{l} \right) + \mu q \frac{b-a_1}{l} + \left(1 - \frac{r}{l} \mu\right) H_p} \quad (1)$$

де β – кут нахилу твірної гребеня колеса до горизонтальної осі; $\beta = 60^\circ$; – коефіцієнт μ тертя, $\mu = 0,25$;

q – сила тяжіння маси невідресорених частин, які приходять на колісну пару, Н; $2b$ – відстань між серединами шийок осі колісної пари, м;

a_1, a_2 – розрахункова відстань від точок контакту коліс з рейками до середини відповідних (набігаючих і ненабігаючих) шийок осі колісної пари приймаються відповідно 0,250 і 0,220м;

r – радіус кола кочення колеса, $r=0,45$ м (для середньо зношеного колеса) або за результатами вимірювання колес дослідного зразка;

K_o^n – коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесі; значення коефіцієнта приймається додатнім у випадку розвантаження коліс;

K_o^{nn} – коефіцієнт вертикальної динаміки на небігаючому колесі; значення коефіцієнта приймається додатнім у випадку розвантаження коліс;

H_p – горизонтальна бокова рамна сила.

$Q_{ш}$ – сила тяжіння надресорних частин вагона, діюча на шийку осі колісної пари, кН.

Коефіцієнт вертикальної динаміки K_d в загальному вигляді визначено з наступного виразу:

$$K_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_{cm}} \quad (2)$$

де σ_d – динамічне напруження від вертикального навантаження в перерізі даного елемента;

σ_{cm} – статичне навантаження від вертикального навантаження у тому ж перерізі.

Коефіцієнт горизонтальної динаміки (рамна сила в долях осьового навантаження) $-K_r$ визначено за формулою:

$$K_r = \frac{H_p}{P_o} \quad (3)$$

де H_p – горизонтальна бокова рамна сила;

P_o – вертикальне статичне навантаження від осі на рейки.

Результати ходових динамічних випробувань вагонів у порожньому стані наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати випробувань вагонів у порожньому стані

Швидкість, км/год	Показник коефіцієнта запасу стійкості колеса вагона не менше 1,3	
	Модель 19-923-01	Модель 11-715-01
40±5	1,58	1,56
50±5	1,53	1,51
60±5	1,42	1,41
70±5	1,39	1,38
80	1,38	1,37

Для дослідження динаміки вантажного вагона розроблено динамічну модель в ліцензійному програмному комплексі «UM 6.0» з урахуванням конструктивних особливостей переобладнаних вагонів-хоперів на візках моделі 18-100 (кузов, база вагона, центри мас) з можливістю варіації стану колії, технічного стану вагонів та маси тари.

Модель вагона побудовано з використанням підходу системи твердих тіл (СТТ), відповідно до якого досліджувана механічна система представляється набором твердих тіл, з'єднаних за допомогою шарнірних і силових елементів. Модель вагона включає 19 твердих тіл: кузов, 2 надресорні балки, 4 бокові рами, 8 клинів, 4 колісні пари. Для кожного твердого тіла передбачено 6 степенів вільності, таким чином механічна система має 114 степенів вільності.

При розробці комп'ютерної моделі динаміки вантажного вагона застосовано підхід підсистем. Застосування при моделюванні підходу підсистем надає можливість сформулювати однотипні підсистеми одноразово й використовувати їх в моделі потрібну кількість раз.

Візуалізація актуальної динамічної моделі приведена на рис. 4.

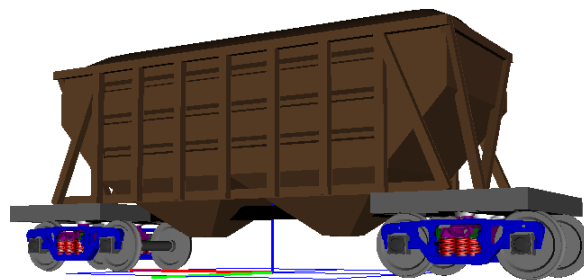


Рис. 4. Візуалізація динамічної моделі вагона-хопера переобладнаного моделі 11-715-01

Моделювання дослідного вагону у технічно справному стані вагона та колії. Для моделювання застосовано усереднений профіль колії. Загальні результати моделювання (табл. 2).

Таблиця 2. Загальні результати моделювання при технічно справному стані вагона та колії

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд	Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн	Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії
40-50 км/год	0,30–0,40	0,39–0,49	1,50–2,00
50-60 км/год	0,31–0,41	0,40–0,52	1,46–1,70
60-70 км/год	0,33–0,45	0,50–0,56	1,42–1,75
70-80 км/год	0,38–0,51	0,51–0,60	1,38–1,42
80-90 км/год	0,39–0,50	0,52–0,60	1,38–1,41

Вагон, при моделюванні руху в технічно справному стані вагона та колії, має достатній рівень показників динаміки для забезпечення безпечної експлуатації.

Моделювання дослідного вагону у технічно справному стані колії при зменшенні маси тари. Для моделювання застосовано усереднений профіль колії. Загальні результати моделювання приведені у табл. 3, 4 з двома кроками зниження маси тари: до 18,5 т та до 17,0 т для вагона моделі 11-715-01; до 20 т та до 19 т для вагона моделі 19-923-01.

Вагони, при моделюванні руху в технічно справному стані колії та зменшеними масами тари кузовів мають достатній рівень показників динаміки для забезпечення безпечної експлуатації. Присутня тенденція щодо зниження коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок, але значення знаходиться на допустимому рівні.

Таблиця 3. Загальні результати моделювання при технічно справному стані колії та зменшеній масі тари вагона моделі 11-715-01

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд		Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн		Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії	
	Маса тари - 18,5 т	Маса тари - 17,0 т	Маса тари - 18,5 т	Маса тари - 17,0 т	Маса тари - 18,5 т	Маса тари - 17,0 т
40-50 км/год	0,29–0,40	0,26–0,35	0,39–0,48	0,38–0,52	1,49–2,00	1,42–2,00
50-60 км/год	0,31–0,40	0,30–0,39	0,40–0,51	0,39–0,54	1,45–1,65	1,42–1,62
60-70 км/год	0,32–0,46	0,29–0,45	0,49–0,55	0,48–0,56	1,42–1,73	1,39–1,58
70-80 км/год	0,37–0,50	0,35–0,50	0,50–0,59	0,51–0,61	1,37–1,44	1,34–1,42
80-90 км/год	0,38–0,51	0,35–0,52	0,50–0,60	0,53–0,55	1,35–1,42	1,32–1,39

Таблиця 4. Загальні результати моделювання при технічно справному стані колії та зменшеній масі тари вагона моделі 19-923-01

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд		Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн		Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії	
	Маса тари - 20,0 т	Маса тари - 19,0 т	Маса тари - 20,0 т	Маса тари - 19,0 т	Маса тари - 20,0 т	Маса тари - 19,0 т
40-50 км/год	0,29–0,39	0,29–0,38	0,40–0,48	0,39–0,51	1,55–1,90	1,53–1,88
50-60 км/год	0,31–0,39	0,31–0,38	0,41–0,52	0,39–0,53	1,50–1,68	1,48–1,64
60-70 км/год	0,32–0,45	0,31–0,44	0,48–0,56	0,48–0,56	1,43–1,70	1,40–1,60
70-80 км/год	0,38–0,49	0,38–0,50	0,51–0,60	0,52–0,62	1,39–1,50	1,39–1,46
80-90 км/год	0,39–0,52	0,39–0,51	0,51–0,60	0,52–0,61	1,39–1,49	1,38–1,44

Моделювання дослідного вагона у технічно справному стані при наявності відхилень колії. Для моделювання застосовано усереднений профіль колії з додатковими коефіцієнтами нерівностей колії (коэф. нерівн. колії) – 1,5 та 2,0. З досвіду проведення моделювання динаміки вагонів встановлено, що коэф. нерівн. колії в діапазоні 1,0...1,5 відповідає реальному технічному стану колії АТ «Укрзалізниця», значення 1,5 приблизно відповідає гранично допустимому рівню відхилень, значення коефіцієнта нерівності колії на рівні 2,0 відповідає перевищенню допустимих значень відхилень. Загальні результати моделювання приведені у табл. 5.

Таблиця 5. Загальні результати моделювання вагона у технічно справному стані при наявності відхилень колії

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд		Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн		Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії	
	Коеф.нерівн. колії – 1,5	Коеф.нерівн. колії – 2,0	Коеф. нерівн. колії – 1,5	Коеф.нерівн. колії – 2,0	Коеф. нерівн. колії – 1,5	Коеф.нерівн. колії – 2,0
40-50 км/год	0,38–0,48	0,40–0,49	0,44–0,50	0,48–0,56	1,51–1,81	1,50–1,81
50-60 км/год	0,39–0,52	0,41–0,48	0,45–0,58	0,49–0,66	1,44–1,55	1,43–1,56
60-70 км/год	0,40–0,52	0,45–0,59	0,51–0,65	0,53–0,71	1,38–1,42	1,32–1,40
70-80 км/год	0,41–0,51	0,51–0,68	0,55–0,71	0,57–0,75	1,32–1,37	1,29–1,37
80-90 км/год	0,41–0,53	0,55–0,71	0,59–0,74	0,60–0,80	1,32–1,37	1,28–1,36

Вагон, при моделюванні руху в технічно справному стані при наявності відхилень колії має тенденцію до зниження рівнів показників динаміки. При значному збільшенні нерівностей колії можливе зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок до недопустимого рівня. Швидкість, при якій починається зменшення рівня запасу стійкості – 70 ± 5 км/год.

Моделювання дослідного вагону з відхиленнями у технічному стані. Для моделювання застосовано усереднений профіль колії, візок з відхиленням технічного стану у вигляді максимальних зносів (буксового прорізу, фринкійних клинів, пятнику), візок з відхиленням технічного стану у вигляді максимальних зносів, збільшених на 15%. Загальні результати моделювання приведені у табл. 6.

Таблиця 6. Загальні результати моделювання вагону з відхиленнями у технічному стані

Діапазон швидкостей	Коефіцієнт вертикальної динаміки обресореної маси візка, Кд		Коефіцієнт вертикальної динаміки необресореної рами візка, Кдн		Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок на прямих і кривих ділянках колії	
	Максимальні зноси	Максимальні зноси +15%	Максимальні зноси	Максимальні зноси +15%	Максимальні зноси	Максимальні зноси +15%
40-50 км/год	0,30–0,41	0,32–0,42	0,40–0,49	0,42–0,49	1,50–1,91	1,50–1,91
50-60 км/год	0,31–0,41	0,33–0,44	0,41–0,52	0,43–0,55	1,45–1,57	1,43–1,53
60-70 км/год	0,33–0,45	0,37–0,39	0,51–0,56	0,53–0,58	1,37–1,48	1,28–1,37
70-80 км/год	0,38–0,50	0,38–0,50	0,53–0,61	0,56–0,62	1,31–1,40	1,28–1,39
80-90 км/год	0,39–0,50	0,39–0,50	0,54–0,62	0,56–0,66	1,33–1,37	1,29–1,40

Вагон, при моделюванні руху з відхиленнями у технічному стані має тенденцію до зниження рівнів показників динаміки. При збільшенні відхилень (зносів) елементів візка спостерігається зниження коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок до недопустимого рівня.

Ця публікація виконана в рамках проекту: «Розроблення концептуальних засад для відновлення ефективного функціонування застарілих вантажних вагонів (Development of conceptual frameworks for restoring the efficient operation of obsolete freight cars)» (Реєстраційний номер проекту: 2020.02/0122), фінансування якого здійснюється Національним фондом досліджень України за кошти державного бюджету.

Висновки. Узагальнюючи результати ходових динамічних випробувань та комп'ютерного моделювання динаміки руху вагонів-хоперів у порожньому стані було визначено:

результати ходових динамічних випробувань дослідних вагонів вказують, що показники динаміки знаходилися в допустимих межах для руху із швидкостями до 80 км/год включно.

За результатами комп'ютерного моделювання встановлено, що:

при справному технічному стані вагонів та колії, показники динаміки знаходяться у межах допустимих значень.

при відхиленнях у технічному стані вагонів та колії відбувається погіршення динаміки вагонів до недопустимого рівня.

швидкість, при якій рівень запасу стійкості зменшується менше мінімально-допустимого при наявності відхилень – 70 ± 5 км/год.

одночасна наявність відхилень в утриманні колії та у технічному стані вагона зменшує швидкість, при якій запас стійкості досягає значення менше мінімально-допустимого.

Моделювання окремих нерівностей колії у вигляді хвиль із заданою висотою 6 мм, заданими довжинами, зсувами нерівностей лівої від правої рейки, заданими параметрами горизонтальних хвильових нерівностей дає підстави стверджувати, що вплив реальних нерівностей колії (вертикальних та горизонтальних) на динаміку вагону є значно більшим ніж вплив вищезазначених хвильових нерівностей. Фактична залежність стійкості вагону від нерівностей колії має розглядатися системно з урахуванням і значень найбільших відхилень, і значень всіх інших вертикальних і горизонтальних відхилень на дослідній ділянці колії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. O.V. Fomin. Scientific and technical journal «*Metallurgical and Mining Industry*». 2015, №1. P.45-48.
2. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. M. Kelrykh, O. Fomin., Scientific and technical journal «*Metallurgical and Mining Industry*». 2014, №6. – P.64-67.
3. Fomin, Oleksij. "Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hause *Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21*, no. 1 (2019): 28-34.
4. Lovska A. A. Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. A. A. Lovska. Scientific and technical journal «*Metallurgical and Mining Industry*». 2015. №1. p. 49 – 54.
5. Mirosław, Nader. Kolejowy wagon transportowy jako nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne do przewozu naczez siodłowych i zestawów drogowych dla transportu intermodalnego. Mirosław Nader, Marian Sala, Jarosław Korzeb, Arkadiusz Kostrzewski. *Logistyka*. 2014. №4. P. 2272 – 2279.
6. Panchenko S.V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises. S.V. Panchenko, T.V. Butko, A.V. Prokhorchenko, L.O. Parkhomenko. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2015. №1 P. 49 – 54.
7. Divya Priya G. Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley. G. Divya Priya, A. Swarnakumari. *Intern. J. of Innovative Technology and Research*. 2014. – Vol. 2, №. 6. P. 1568–1580.
8. Krason W. Fe numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards. W. Krason, T. Niezgoda. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2014. Vol. 62. Iss. 4. P. 843–851.
9. Myamlin, S. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. S. Myamlin, L. P. Lingaitis, S. Dailydka, G. Vaičiūnas, M. Bogdevičius, G. Bureika. *Transport*. – 2015. – Vol. 30, Issue 1. P. 88–92.
10. Hauser V., Nozhenko O.S., Kravchenko K.O., Loulová M., Gerlici J., Lack T. Impact of wheelset steering and wheel profile geometry to the vehicle behavior when passing curved track. «*Manufacturing Technology*». June 2017, Vol. 17, No. 3, p. 306-312.
11. Tartakovskiy, E. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. E. Tartakovskiy, O. Gorobchenko, A. Antonovych. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. Vol. 5, Issue 3 (83). P. 4–11.
12. Vladimír Hauser, Olena S. Nozhenko, Kateryna O. Kravchenko, Mária Loulová, Juraj Gerlici, Tomáš Lack. Proposal of a Mechanism for Setting Bogie Wheelsets to Radisl Position while Riding Along Track Curve. «*Manufacturing Technology*». April 2017, Vol. 17 No 2. p. 186-192.
13. Богомаз, Г. И. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку. Г. И. Богомаз, Д. Д. Мехов, О. П. Пилипченко, Ю. Г. Черномащенко. *Зб. наук. праць "с" Київ: АНУ, Інститут технічної механіки*. 1992. С. 87 – 95.
14. Fomin, O. Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry. O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsymbaliuk, O. Burlutski. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 7, Issue 1 (97). P. 33–40.
15. Turpak, S.M. Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production. S.M. Turpak, I.O. Taran, O.V. Fomin, O.O. Tretiak. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018, Issue 1, p.162-169.
16. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hauser. Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21*, no. 1 (2019): 28-34.
17. Tkachenko, V., & Sapronova, S. Steerability of railway vehicles. *Transport problems*, 2. 2007. P. 9-16. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSL5-0022-0016>.
18. Воронько, А. Н., Сапронова, С. Ю., Ткаченко, В. П. Анализ критериев устойчивости железнодорожных экипажей от схода с рельсов. *Вестник ВНУ им. В. Даля*. (8)102. 2006. С.115-120.
19. Tkachenko, V., Sapronova, S., Zub, E., Tverdomed, V., Chimshir, V., & Morneva, M. The study of safety factor against derailment of vehicles on the track switch. In *Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2019-October 234-239*. ISSN 1822-296 X (print); ISSN 2351-7034 (on-line). <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-means-2019-Part-1.pdf>.

REFERENCES

1. Fomin, O. (2015), Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. Scientific and technical journal «*Metallurgical and Mining Industry*», 1, 45-48.
2. Kelrykh M., Fomin O. (2014), Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal «*Metallurgical and Mining Industry*», 6, 64-67.
- 3 Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hause. (2019). "Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its

- Transportation on the Railway Ferry. " Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21, no. 1: 28-34.
4. Lovska, 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, 49-54.
 5. Mirosław, Nader, Marian, Sala, Jarosław, Korzeb, Arkadiusz, Kostrzewski. (2014). Kolejowy wagon transportowy jako nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne do przewozu naczep siodłowych i zestawów drogowych dla transportu intermodalnego. Logistyka. 4, 2272 – 2279.
 6. Panchenko S.V., Butko T.V, Prokhorchenko A.V., Parkhomenko L.O. (2016). Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises. Naukovyi Visnyk NHU. 2, 93-99.
 7. Divya Priya G., Swarnakumari A. (2014) Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley. Of Innovative Technology and Research, Vol. 2, 6, 1568–1580.
 8. Krason W, Niezgoda T. (2014) Fe numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards. Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, Vol. 62, 4, 843–851.
 9. Myamlin, S., Lingaitis, L. P., Dailydka, S., Vaičiūnas, G., Bogdevičius, M., Bureika, G. (2015). Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. Transport, 30 (1), 88–92.
 10. Hauser V., Nozhenko O.S., Kravchenko K.O., Loulová M., Gerlici J., Lack T. (2017). Impact of wheelset steering and wheel profile geometry to the vehicle behavior when passing curved track. Manufacturing Technology. Vol. 17, 3, 306-312.
 11. Tartakovskiy, E., Gorobchenko, O., Antonovych, A. (2016). Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (3 (83)), 4–11.
 12. Vladimír Hauser, Olena S. Nozhenko, Kateryna O. Kravchenko, Mária Loulová, Juraj Gerlici, Tomáš Lack (2017). Proposal of a Mechanism for Setting Bogie Wheelsets to Radisl Position while Riding Along Track Curve. «Manufacturing Technology». Vol. 17 No 2. p. 186-192.
 13. Bogomaz, G. I., Mehov, D. D., Pilipchenko, O. P., Chernomashentseva, Yu. G. (1992). Nagruzhenost konteynerov-tsistern, raspolozhennyih na zheleznodorozhnoy platforme, pri udarah v avtostsepku [Loading of tank containers located on a railway platform, when hitting an automatic coupler]. Zb. nauk. prats "Dinamika ta keruvannya ruhom mehanichnih sistem" [Coll. Science. works "Dynamics and motion control of mechanical systems"]. 87 – 95.
 14. O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsybaliuk, O. (2019). Burlutski 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, Issue 1 (97). P. 33–40.
 15. S.M. Turpak, I.O. Taran, O.V. Fomin, O.O. Tretiak. (2018). Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production.. Scientific Bulletin of National Mining University. Issue 1, p.162-169.
 16. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hauser. (2019) Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry. Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21, no. 1. 28-34.
 17. Tkachenko, V., & Sapronova, S. Steerability of railway vehicles. Transport problems, 2. (2007). P. 9-16. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSL5-0022-0016>.
 18. Voronko, A. N., Sapronova, S. Yu., Tkachenko, V. P. (2006). Analysis of criteria for the stability of railway vehicles from derailment. VNU Bulletin V. Dahl. (8) 102. .S. 115-120.
 19. Tkachenko, V., Sapronova, S., Zub, E., Tverdomed, V., Chimshir, V., & Morneva, M. The study of safety factor against derailment of vehicles on the track switch. In Transport Means - Proceedings of the International Conference, (2019-October). 234-239. ISSN 1822-296 X (print); ISSN 2351-7034 (on-line). <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-means-2019-Part-1.pdf>.

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

Кара Сергей Витальевич, к.т.н.,
(начальник управления архитектуры филиала «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт железнодорожного транспорта» АО «Укрзалізниця», г. Киев)

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

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

Фомин Владимир Викторович, к.т.н.,
(начальник производственного подразделения, филиала «Панютинский вагоноремонтный завод» АО «Укрзалізниця», г. Лозовая)

**ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ ПЕРЕОБОРУДОВАННЫХ
ВАГОНОВ-ХОППЕРОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

В работе изложены исследования показателей качества движения вагонов-хопперов переоборудованных из цементовозов и минераловозов после длительной эксплуатации. В рамках работы было проведено теоретическое и экспериментальное исследование (на основе проведения ходовых динамических испытаний) ходовых качеств пустых вагонов-хопперов, переоборудованных из цементовозов и минераловозов. Проведено компьютерное моделирование динамики пустых вагонов-хопперов, переоборудованных из цементовозов и минераловозов в зависимости от состояния пути, технического состояния вагонов и массы тары.

Ключевые слова: вагон-хоппер, испытания, моделирование, динамика, сход с рельсов, техническое состояние, безопасность движения.

*Oleksiy Viktorovych Fomin, Doctor of Technical Sciences, Professor,
(Professor of the Department of Wagons and Carriage Economy, State University of
Infrastructure and Technologies, Kyiv)*

*Kara Serhii Vitalievich, Ph.D.,
(Head of Engineering Department, Branch "The Rail Transport Scientific and Engineering
Institute branch of JSC "Ukrzaliznytsia", Kyiv)*

*Pavlo Mykolayovych Prokopenko,
(Postgraduate student of the Department of Wagons and Carriage Economy, State University of
Infrastructure and Technologies, Kyiv)*

*Mykola Ivanovych Gorbunov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Professor, Head of the Department "Railway, Road Transport and Hoisting and Transport
Machines", V. Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk)*

*Fomin Vladimir Viktorovich, Ph.D.,
(Head of Production Unit, Panyutyn Car Repair Plant Branch of Ukrzaliznytsia JSC, Lozova)*

**EVALUATION OF DYNAMIC QUALITIES OF MOVEMENT OF RE-EQUIPPED
HOPPER CARS OF PILS OF LONG-TERM OPERATION**

As part of the work, a theoretical and experimental study (based on running dynamic tests) of the running qualities of empty hopper cars, converted from cement trucks and mineral trucks, was conducted. Computer simulation of the dynamics of empty hopper wagons converted from cement and mineral wagons depending on the condition of the track, the technical condition of the wagons and the weight of the container, the repeated presence of maximum vertical deviations and horizontal deviations of the track.

A significant disadvantage of the railway transport of Ukraine is the limitation of the speed of trains with individual freight cars in an empty state, which are equipped with carts model 18-100. Among the reasons for the descent of the wheels of cars from the rails are: malfunctions of the running gear of the cars (fracture of the side frames and spring beams of the carts, malfunctions of the roller bearings of the axle box), wear of friction damper elements, unacceptable deviations and upgrades. As part of the work, a theoretical and experimental study (based on running dynamic tests) of the running qualities of empty hopper cars, converted from cement trucks and mineral trucks, was conducted. Computer modeling of the dynamics of empty hopper wagons, converted from cement and mineral wagons depending on the condition of the track, the technical condition of the wagons and the weight of the container and studies of the dependence of the wheel stability on the east.

Keywords: hopper car, tests, modeling, dynamics, derailment, technical condition, traffic safety..

УДК 629.463

Булiч Дмитрiй, аспiрант

(аспiрант, Державний унiверситет iнфраструктури та технологiй)

Сапронова Свiтлана, д.т.н., проф.

(доктор технiчних наук, професор, Державний унiверситет iнфраструктури та технологiй)

Ткаченко Вiктор, д.т.н., проф.

(доктор технiчних наук, завiдувач кафедри «Тяговий рухомий склад залiзниць», Державний унiверситет iнфраструктури та технологiй)

Кошель Олексiй, аспiрант

(аспiрант, Державний унiверситет iнфраструктури та технологiй)

ДОСЛIДЖЕННЯ КОРОЗIЙНОГО ЗНОСУ НЕСУЧИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦIЙ ВАНТАЖНИХ ВАГОНIВ ПIД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЗАХОДIВ ЩОДО ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМIНУ СЛУЖБИ

Корозiйному зносу пiдлягають всi елементи несучих металевих конструкцiй вантажних вагонiв. У данiй статi проведено статистичний аналiз корозiйного зносу для кожного елементу несучих металевих конструкцiй. Розглянуто пошкодження несучих металевих конструкцiй напiввагонiв з врахуванням корозiйного зносу. Запропоновано заходи збiльшення можливого граничного корозiйного зносу, що можуть бути використанi для прогнозування залишкового ресурсу i конструктивного доопрацювання елементiв несучих металевих конструкцiй.

Ключовi слова: *вантажний вагон, несучi металевi конструкцiй, корозiйний знос, пошкодження, технiчне діагностування.*

Вступ. Залiзничний транспорт України є провiдною галуззю в дорожньо-транспортному комплексi краiни, який забезпечує майже 82% вантажних i 36% пасажирських перевезень вiд всiх видiв транспорту. Найбiльшим пiдприємством галузi є Акцiонерне товариство «Українська залiзниця». Загальний парк вантажних вагонiв в 2019 році становив 83,5 тисяч одиниць. Iз наявного парку вантажних вагонiв робочий парк складає 57,7 тисяч одиниць вагонiв (без врахування вагонiв на тимчасово окупованих територiях) [1-3].

На перiод з 2015 року по 2019 рiк знос наявного вантажного парку складає 24%, робочого парку 17%, неробочого парку 35% (рис. 1).

Через катастрофiчну зношенiсть вантажного парку iснує загроза незабезпечення потреб у перевезеннях вантажiв з вiдповiдними витратами для держбюджету, зниженням показникiв економiчного розвитку України.

Роботи по продовженню термiну служби проводяться вiдповiдно до «Положення о продленнi срока служби грузовых вагонов, курсирующих в международном сообщении» [5]. Для вирiшення питання про можливiсть подальшої експлуатацiї вагонiв з вичерпаним термiном служби проводиться їх технiчне діагностування [4]. За результатами діагностування встановлюється технiчний стан кожного обстеженого вагона. Це дає можливiсть обґрунтувати продовження термiну його експлуатацiї i, таким чином, запобiгти рiзкому скороченню вантажного парку, забезпечивши при цьому достатнiй рiвень надiйностi.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-5

На рис. 2 зображена схема технічного діагностування вантажних вагонів, яка включає в себе методи продовження їх терміну експлуатації [6, 9].

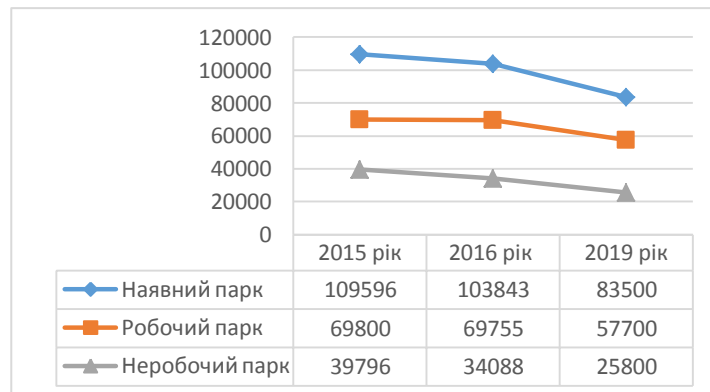


Рис. 1. Знос вантажного парку АТ «Українська залізниця» за 2015-2019 рік

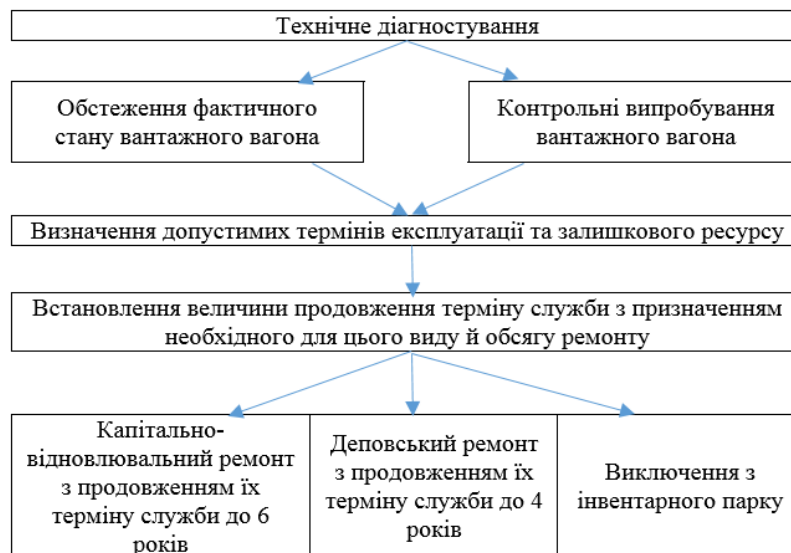


Рис. 2. Схема технічного діагностування вантажних вагонів

Система технічного діагностування являє собою сукупність об'єктів, методів і засобів, а також виконавців, що дозволяють здійснити діагностування за правилами, встановленими відповідно нормативно-технічної документації. Ця система призначається для вирішення таких завдань [6]:

оцінка технічного стану в даний момент часу, при цьому визначається якість виготовлення або ремонту вантажного рухомого складу;

технічний стан, в якому опиниться рухома одиниця через деякий період експлуатації;

встановлення технічного стану в минулому (наприклад, перед аварією, катастрофою, іншими надзвичайними подіями).

Завданням контрольних випробувань є експериментальна перевірка відповідності показників міцності конструкції вагону вимогам діючим нормативним документам [4], [7] та [8].

Контрольні випробування містять:

статичні випробування на міцність від дії вертикального навантаження;

скидання з клинів;

типів та ресурсні випробування на міцність при зіткненні.

Крім того, технічний стан вантажних вагонів багато в чому залежить від умов їх експлуатації, якості усунення типових пошкоджень під час експлуатації та виконання планових ремонтів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Комплекс робіт з продовження терміну служби передбачені методикою технічного діагностування вантажних та рефрижераторних вагонів [4]. Питання, що виникають під час технічного діагностування вантажних вагонів розглядалися в роботах [13,14,15,16]. Так в роботі [13] розглянуто зони і величини корозійного зносу листів шкворневої балки моделей напіввагонів 12-532 і 12-119, але недостатньо приділено увагу корозійному зносу інших вузлових елементів несучих металевих конструкцій вагона. В роботі [18] представлено аналіз проведених теоретичних та експериментальних досліджень міцнісних якостей елементів рухомого складу на прикладі хребтової балки вантажних вагонів. Методика розрахунків напруженого стану та експериментальних випробувань по визначенню рівня напружень, які створюються в умовах експлуатації в несучих конструкціях рухомого складу розглянуто в роботах [14,15], але не приділено увагу виникненню типових несправностей та корозійного зносу вантажних вагонів. Роботи [6, 9, 16, 20] містять оцінку стану робіт і перспективи щодо продовження терміну служби рухомого складу. В них описано та проаналізовано стан вантажного парку, методи продовження терміну служби, методи неруйнівного контролю які використовуються при проведенні технічного діагностування та показані типові несправності які виникають при обстеженні вантажних вагонів, але недостатньо приділено увагу причинам виникнення та можливості усунення корозійного зносу елементів несучих металевих конструкцій. В статті [19] проведено дослідження корозійної стійкості сталі 09Г2Д яка використовується в вагонобудівництві, але не надано оцінки гранично допустимої корозії елементам несучих металевих конструкцій вантажних вагонів.

На основі аналізу наукових публікацій з'ясовано, що корозійний знос несучих металевих конструкцій вивчено тільки частково, без систематизації фактичного корозійного пошкодження та визначення фактичної швидкості корозії елементів несучої металевої конструкції вантажних вагонів.

Мета дослідження – дослідження корозійного зносу несучих металевих конструкцій вантажних вагонів під час проведення заходів щодо продовження терміну служби.

Завдання дослідження: дослідження виникнення корозійного зносу несучих металевих конструкцій вантажних вагонів під час обстеження та проведення заходів щодо продовження їх терміну служби; оцінка залежності статистичного впливу корозії несучих металевих конструкцій від стану та строку експлуатації вантажних вагонів на основі аналізу виключених вагонів та наданої інформації з технічного діагностування.

Матеріали та методи дослідження. Метою технічного діагностування є дослідження залишкового ресурсу та обґрунтування можливості продовження експлуатації вантажних вагонів після закінчення призначеного заводом-виробником терміну служби, встановлення величини продовженого терміну служби, призначення необхідного для цього виду й обсягу ремонту (деповський чи капітальний) або виключення. На основі динаміки зносу вантажного парку за період 2015-2019 рр. (рис. 3) видно, що найбільша кількість зношених і виключених з експлуатації вагонів – напіввагони.

Фахівцями відділення надійності філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» запропоновано провести роботи з оцінки корозійного зносу несучих металевих конструкцій напіввагонів на основі наданої інформації, отриманої в процесі технічного діагностування в період з 01.01.2016 р. по 30.12.2016 р. [6, 7].

Під час технічного діагностування на кожному вагоні було виявлено ряд критичних пошкоджень несучих металевих конструкцій, які в сукупності не дають змогу безпечно експлуатувати надалі вказані вагони.

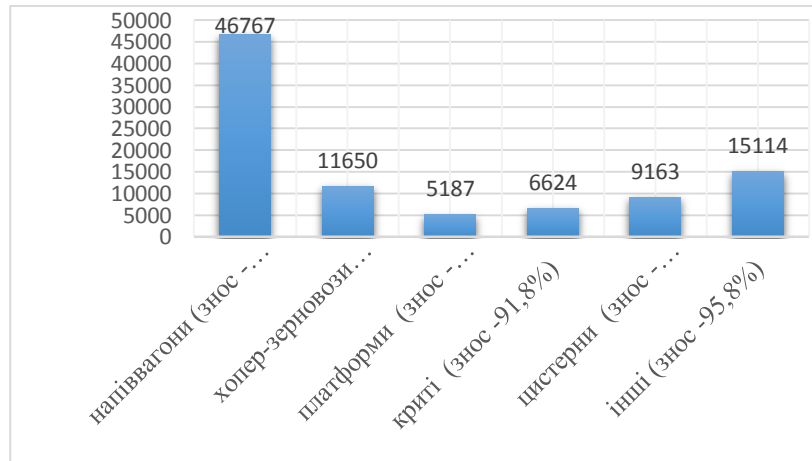


Рис. 3. Структурна діаграма зносу вантажного парку по типах вагонів

Основними пошкодженнями несучих металевих конструкцій напіввагонів були:
 наскрізна корозія двотаврової балки хребтової балки;
 тріщини, наскрізна корозія або корозія яка перевищують 30% номінальної товщини вертикального листа шкворневих балок;
 обрив поперечних стійок від поперечних балок;
 обрив шкворневих стійок від шкворневих балок;
 обрив поперечних балок від хребтової балки;
 деформації та тріщини поперечних балок;
 корозія яка перевищує 30% номінальної товщини вертикального листа поперечних балок
 деформації та тріщини верхньої обв'язки бокових стін;
 деформація та тріщини нижньої обв'язки бокових стін;
 наскрізна корозія кутових стійок;
 наскрізна корозія обшиви бокових стін;
 деформація торцевих стін.

Пошкодження несучих металевих конструкцій напіввагонів (тріщини, деформації та обриви) можна усунути під час деповського [12] або капітального [11] ремонту.

Порядок виявлення і усунення хімічних пошкоджень у вигляді корозії несучих металевих конструкцій ускладнюється завдяки проведенню низки додаткових заходів.

Для проведення оцінки корозії несучих металевих конструкцій було відібрано 10 напіввагонів моделей 12-532 та 12-757 різних років побудови та різними датами останнього ремонту (табл. 1).

Таблиця 1. Основна інформація для відібраних вагонів

№ п/п	Номер вагона	Модель вагона	Рік будови	Вид вантажу, що перевозиться	Вид і дата останнього ремонту
1	66605643	12-532	1984	сипучий і штучний вантаж	ДР 10.10.2015
2	67370684	12-532	1986	сипучий і штучний вантаж	ДР 05.09.2016
3	60614906	12-757	1992	сипучий і штучний вантаж	ДР 06.10.2016
4	65382004	12-757	1996	сипучий і штучний вантаж	ДР 22.09.2016
5	66039512	12-532	1982	сипучий і штучний вантаж	ДР 20.09.2016
6	63949218	12-757	1988	сипучий і штучний вантаж	ДР 30.03.2017

7	66820150	12-532	1983	сипучий і штучний вантаж	ДР 30.05.2013
8	65303380	12-757	1994	сипучий і штучний вантаж	ДР 26.12.2013
9	60856036	12-532	1985	сипучий і штучний вантаж	ДР 14.10.2014
10	67659037	12-757	1990	сипучий і штучний вантаж	ДР 19.04.2017

Техніко-економічні характеристики напіввагонів моделей 12-532 та 12-757 подані в табл. 2.

Таблиця 2. Основні техніко-економічні характеристики напіввагонів моделей 12-532 та 12-757

Основні технічні відомості	Модель напіввагона	
	12-532	12-757
Рік початку побудови	1973	1986
Рік закінчення побудови	1988	1998
Завод-виробник	5 (Уралвагонзавод)	27 (Крюківський вагонобудівний завод)
Вантажопідйомність, т	63, 64, 69	69
Маса- тара вагону (min /max), т	21,9/22,8; 21,1/23,1; 22,2/23,2	23,8/25
Обсяг кузова, м ³ :	73; 73; 74	85
Габарит (розмір)	0-ВМ (01-Т)	1-ВМ (0-Т)
Довжина, мм:		
- по осях зчеплення автотчепів	13920	13920
- по кінцевим балкам рами	12700	12800
Ширина максимальна, мм	3134	3220
Висота від рівня верху головок рейок, мм:		
- максимальна	3484	3746
- до нижньої обв'язки	1416	1423

Для виявлення хімічних пошкоджень несучих металевих конструкцій вагонів підчас технічного діагностування проводять заміри товщин стінок несучих конструкцій за допомогою ультразвукових товщиномірів із занесенням фактичних значень до відповідних карт контролю вантажного вагона. Після чого проводиться статистичний аналіз фактичної товщини елемента конструкції S_{ϕ} і фактичних замірів товщин стінок несучих металевих конструкцій $S_{ном}$ з номінальними товщинами, закладеними при виробництві несучих металевих конструкцій вантажного вагона. На основі отриманих замірів визначається відсоток корозійного пошкодження

$$S_{кор} = 100 - \left(\frac{S_{\phi} \cdot 100}{S_{ном}} \right), \% \quad (1)$$

і фактична швидкість корозії

$$V_{кор} = \frac{S_{ном} - S_{\phi}}{T}, \text{ мм/рік}, \quad (2)$$

де $S_{ном}$ – номінальна товщина елемента конструкції за результатами вимірювань, мм;

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

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

Для визначення фактичного корозійного пошкодження та фактичної швидкості корозії елементу несучої металевої конструкції проведемо розрахунок за формулами (1) та (2) на прикладі вертикального листа шкворневої балки вагона **66605643** ($S_{ном} = 8,0$ мм; $S_{ф} = 4,2$ мм)

$$S_{кор} = 100 - \left(\frac{S_{ф} \cdot 100}{S_{ном}} \right) = 100 - \left(\frac{4,2 \cdot 100}{8,0} \right) = 47,5 \%,$$

$$V_{кор} = \frac{S_{ном} - S_{ф}}{T} = \frac{8,0 - 4,2}{35} = 0,108 \text{ мм/рік}$$

Результати розрахунків фактичної корозії та фактичної швидкості корозії елементів несучих металевих конструкцій для 10 відібраних вагонів наведені в табл. 3 та табл. 4.

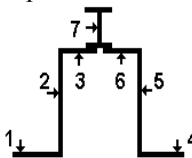
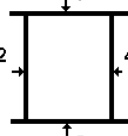

Статистичний аналіз корозійного зносу несучих металевих конструкцій показує, що найбільшу (100%) корозію несучої металевої конструкції має двотаврова балка хребтової балки. Достатньо велику корозію має вертикальний лист шкворневої балки - від 40 до 50%.

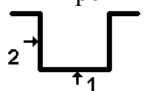
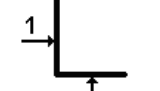
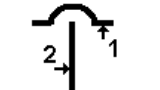
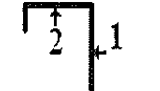
Також можна виділити декілька конструктивних елементів, корозія яких досягає 43%:

- кінцева балка – від 0 до 26%;
- стойки проміжні – від 1 до 18%;
- нижня обв'язка бокових стін – від 5 до 43 %;
- поперечні балки – від 1,4 до 43 %;
- стойки кутові – від 0 до 32%.

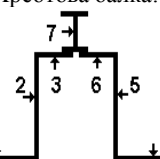
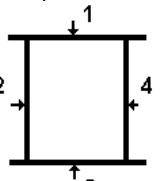

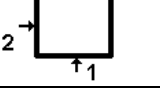
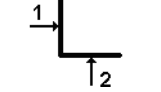
Швидкість $V_{кор}$ корозії елементу несучої металевої конструкції дуже сильно різняться в залежності від років побудови вагона. Наприклад, для вагона №63949218 швидкість корозії вертикального листа поперечної балки складає $V_{кор} = -0,006$. Це показує, що поперечна балка була замінена під час планового ремонту.

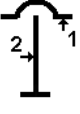

Таблиця 3. Результати розрахунків фактичної корозії та фактичної швидкості корозії елементів несучих металевих конструкцій відібраних вагонів

Схематичне зображення елементів вагона	Контр ольна точка	66605643		67370684		60614906		65382004		66039512	
		$S_{кор}$	$V_{кор}$	$S_{кор}$	$V_{кор}$	$S_{кор}$	$V_{кор}$	$S_{кор}$	$V_{кор}$	$S_{кор}$	$V_{кор}$
Хребтова балка: 	1	7,50	0,034	9,38	0,045	1,95	0,015	4,88	0,043	11,25	0,049
	2	6,67	0,017	17,78	0,048	4,17	0,019	3,33	0,017	10,00	0,024
	3	10,48	0,031	15,24	0,048	4,62	0,022	1,54	0,009	13,33	0,038
	4	7,50	0,034	10,00	0,048	0,98	0,007	1,95	0,017	10,00	0,043
	5	7,78	0,020	16,67	0,045	5,83	0,026	5,00	0,026	1,11	0,003
	6	7,62	0,023	16,19	0,052	7,69	0,037	3,85	0,022	14,29	0,041
	7	100,0	0,200	100,0	0,212	100,0	0,333	100,0	0,391	100,0	0,189
Шкворнева балка: 	1	8,00	0,023	12,00	0,036	-	-	7,00	0,030	-	-
	2	47,50	0,109	46,25	0,112	100,0	0,296	41,25	0,143	100,0	0,216
	3	10,00	0,034	13,33	0,048	-	-	6,67	0,035	-	-
	4	46,25	0,106	46,25	0,112	100,0	0,296	43,75	0,152	100,0	0,216
	1	9,00	0,026	16,00	0,048	-	-	10,00	0,043	-	-
	2	48,75	0,111	18,75	0,045	100,0	0,296	37,50	0,130	100,0	0,216
	3	48,33	0,166	48,33	0,176	-	-	6,67	0,035	-	-
	4	21,25	0,049	45,00	0,109	100,0	0,296	17,50	0,061	100,0	0,216
Кінцева балка: 	1	-34,29	-0,069	21,43	0,045	3,75	0,011	22,50	0,078	22,86	0,043
	1	-20,00	-0,040	22,86	0,048	8,75	0,026	22,50	0,078	25,71	0,049

Сійки проміжні: 	1	9,00	0,026	15,00	0,045	7,69	0,037	11,54	0,065	8,00	0,022
	2	6,67	0,017	16,67	0,045	8,89	0,030	7,78	0,030	10,00	0,024
	1	9,00	0,026	16,00	0,048	3,85	0,019	10,00	0,057	6,00	0,016
	2	6,67	0,017	18,89	0,052	6,67	0,022	5,56	0,022	7,78	0,019
Нижня обв'язка: 	1	9,00	0,026	17,00	0,052	36,00	0,133	7,00	0,030	10,00	0,027
	2	7,00	0,020	17,00	0,052	45,00	0,167	10,00	0,043	16,00	0,043
	1	6,00	0,017	16,00	0,048	40,00	0,148	6,00	0,026	9,00	0,024
	2	7,00	0,020	17,00	0,052	43,00	0,159	4,00	0,017	20,00	0,054
Поперечні основні балки: 	1	-	-	18,75	0,045	-	-	-	-	-	-
	2	12,86	0,026	22,86	0,048	22,86	0,059	41,43	0,126	28,57	0,054
	1	-	-	21,25	0,052	-	-	-	-	-	-
	2	8,57	0,017	22,86	0,048	14,29	0,037	44,29	0,135	25,71	0,049
	1	-	-	18,75	0,045	-	-	-	-	-	-
	2	11,43	0,023	24,29	0,052	25,71	0,067	14,29	0,043	27,14	0,051
	1	-	-	20,00	0,048	-	-	-	-	-	-
	2	12,86	0,026	24,29	0,052	8,57	0,022	12,86	0,039	27,14	0,051
Стойки кутові: 	1	16,00	0,023	32,00	0,048	24,00	0,089	10,00	0,043	20,00	0,027
	2	18,00	0,026	30,00	0,045	10,00	0,037	9,00	0,039	32,00	0,043
	1	18,00	0,026	34,00	0,052	17,00	0,063	2,00	0,009	22,00	0,030
	2	14,00	0,020	30,00	0,045	16,00	0,059	19,00	0,083	28,00	0,038

Таблиця 4. Результати розрахунків відібраних вагонів

Перетин елемента вагона	Кон. точка	63949218		66820150		65303380		60856036		67659037	
		$S_{кор}$	$V_{кор}$	$S_{кор}$	$V_{кор}$	$S_{кор}$	$V_{кор}$	$S_{кор}$	$V_{кор}$	$S_{кор}$	$V_{кор}$
Хребтова балка: 	1	1,95	0,013	3,75	0,017	6,34	0,052	0,63	0,003	3,90	0,028
	2	1,67	0,006	4,44	0,011	15,83	0,076	3,33	0,009	2,50	0,010
	3	0,77	0,003	2,86	0,008	12,31	0,064	4,76	0,015	5,38	0,024
	4	0,49	0,003	0,63	0,003	6,34	0,052	2,50	0,012	3,41	0,024
	5	1,67	0,006	3,33	0,008	13,33	0,064	7,78	0,021	5,00	0,021
	6	-0,77	-0,003	3,81	0,011	10,77	0,056	5,71	0,018	4,62	0,021
	7	100,00	0,290	100,0	0,194	100,0	0,360	100,0	0,206	100,0	0,310
Шкворнева балка: 	1	2,00	0,006	-	-	-	-	-	-	7,00	0,024
	2	7,50	0,019	100,0	0,222	100,0	0,320	100,0	0,235	5,00	0,014
	3	1,67	0,006	-	-	-	-	-	-	5,83	0,024
	4	1,25	0,003	100,0	0,222	100,0	0,320	100,0	0,235	8,75	0,024
	1	-8,00	-0,026	-	-	-	-	-	-	7,00	0,024
	2	2,50	0,006	100,0	0,222	100,0	0,320	100,0	0,235	3,75	0,010
	3	0,83	0,003	-	-	-	-	-	-	5,00	0,021
	4	2,50	0,006	100,0	0,222	100,0	0,320	100,0	0,235	7,50	0,021
Кінцева балка: 	1	2,50	0,006	20,00	0,039	10,00	0,032	5,71	0,012	5,00	0,014
	1	1,25	0,003	8,57	0,017	-	-	12,86	0,026	8,75	0,024
Сійки проміжні: 	1	2,31	0,010	10,00	0,028	6,15	0,032	2,00	0,006	5,38	0,024
	2	-	-	6,67	0,017	6,67	0,024	1,11	0,003	7,78	0,024
	1	0,77	0,003	12,00	0,033	6,92	0,036	2,00	0,006	5,38	0,024
	2	-	-	10,00	0,025	17,78	0,064	13,33	0,035	8,89	0,028
Нижня обв'язка: 	1	18,00	0,058	16,00	0,044	6,00	0,024	9,00	0,026	7,00	0,024
	2	16,00	0,052	17,00	0,047	17,00	0,068	10,00	0,029	7,00	0,024
	1	7,00	0,023	15,00	0,042	13,00	0,052	9,00	0,026	3,00	0,010
	2	24,00	0,077	-	-	19,00	0,076	5,00	0,015	4,00	0,014

Поперечні основні балки: 	1	-	-	-	-	-	-	-	-	8,57	0,021
	2	2,86	0,006	48,57	0,094	25,71	0,072	14,29	0,029	4,29	0,010
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	8,57	0,021
	2	-2,86	-0,006	51,43	0,100	24,29	0,068	10,00	0,021	4,29	0,010
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4,29	0,010
	2	-2,86	-0,006	37,14	0,072	21,43	0,060	14,29	0,029	5,71	0,014
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4,29	0,010
	2	1,43	0,003	41,43	0,081	18,57	0,052	2,86	0,006	4,29	0,010
Стойки кутові: 	1	-1,00	-0,003	100,0	0,139	7,00	0,028	20,00	0,029	7,00	0,024
	2	2,00	0,006	100,0	0,139	17,00	0,068	-	-	4,00	0,014
	1	4,00	0,013	100,0	0,139	10,00	0,040	6,00	0,009	4,00	0,014
	2	3,00	0,010	100,0	0,139	16,00	0,064	-	-	3,00	0,010

Основні елементи вантажних вагонів виготовляють головним чином із низьколегованих сталей з гарантованим складом міді (09Г2Д, 09Г2СД, 10Г2С1Д, 10ХСНД, 15ХСНД, 10ХНДП) [17]. Тому швидкість корозії хребтової балки з номінальною товщиною 16,0...20,5 мм під час експлуатації в нормальних умовах в середньому становить 0,05 мм/рік.

Окрім хребтової балки, вагон складається з інших несучих конструкцій, які мають набагато більшу швидкість корозії. Двотаврова балка має 100% корозію з середньою швидкістю корозії 0,2 мм/рік при нормальних умовах експлуатації. Але в агресивному середовищі швидкість корозії збільшується в 1,5 рази і становить 0,3...0,4 мм/рік. Так наприклад, через десять років експлуатації вагонів завдяки дії високих температур вантажу, кліматичних умов та обривів кріплень люків виникають тріщини на двотавровій балці, які обумовлюють виникнення наскрізної корозії.

Аналіз швидкості виникнення корозії показує, що:

шкворнева балка – 0,1...0,15 мм/рік, в п'яти випадках «←» свідчить про наявність наскрізної корозії;

кінцева балка – 0,1 мм/рік;

стійка проміжна – 0,07 мм/рік;

нижня обв'язка – 0,17 мм/рік;

балка поперечна – 0,14 мм/рік;

стійка кутова – 0,14 мм/рік.

З дослідження вагону №66605643 найбільший корозійний знос мають вертикальний лист шкворневої балки 48,75% та двотаврова балка 100%. Корозія всіх інших елементів не перевищує 25%. Це дає можливість безпечно експлуатувати вантажний вагон за умови заміни пошкоджених елементів.

Значний відсоток вагонів експлуатується з корозією деяких елементів несучих металевих конструкцій більше 30%. Це показує можливість збільшення допуску порога корозійного зносу вагонів, що дасть можливість зменшити виключення вантажних вагонів з інвентарного парку. Для такої оцінки потрібно провести роботи з випробувань кожного елемента несучих металевих конструкцій, оскільки кожний елемент має різний вплив середовища та різну несучу спроможність.

Висновки. Великий вплив на корозію мають не вчасно виявлені тріщини та злами, які в процесі експлуатації переходять в наскрізну корозію. Для визначення корозійного зносу вантажного вагона потрібно індивідуальний підхід до кожного елемента несучих конструкцій вагона з врахуванням експлуатаційних показників та часу проведеного ремонту.

Дослідження показали, що половина вантажних вагонів експлуатувалось з корозією деяких елементів несучих металевих конструкцій більше 30%. Це показує можливість збільшення допуску порога корозійного зносу вагонів, який впливатиме на можливість зменшити виключення вантажних вагонів з інвентарного парку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інформація про Українські залізниці. URL.: <https://mtu.gov.ua/content/informaciya-pro-ukrainski-zaloznici.html>.

2. Пояснювальна записка до консолідованого проекту фінансового плану ПАТ «Українська залізниця» на 2016 рік. URL.: <https://mtu.gov.ua/news/26510.html>.
3. Пояснювальна записка до консолідованого проекту фінансового плану ПАТ «Українська залізниця» на 2017 рік. URL.: <https://mtu.gov.ua/news/29134.html>.
4. Единые методические указания по техническому диагностированию грузовых и рефрижераторных вагонов государств-участников Соглашений о совместном использовании грузовых и рефрижераторных вагонов в международном сообщении. URL.: https://www.ldz.lv/lv/system/files/13_KV_Padome_52_7%20v_Piel.%2039.pdf.
5. Положение о продлении срока службы грузовых вагонов, курсирующих в международном сообщении. Утверждено Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества от 14 мая 2010 года. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_539.
6. Сапронова, С.Ю., Буліч, Д.І., Ткаченко, В.П. Продовження терміну експлуатації вантажних вагонів. *Вісник СНУ ім. В.Даля*. 2017. №3(233). С. 158–162.
7. РД 24.050.37-90. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. Москва, 1990. 37 с.
8. РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. Москва, 1995. 102 с.
9. Сапронова, С.Ю., Кошель, О.О., Ткаченко, В.П., Буліч, Д.І., Радкевич, М.М. Аналіз методів продовження терміну служби вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій серія «Транспортні системи і технології»*. Київ: Вид-во ДУІТ, 2019. №1(33). 118-129. DOI: <https://doi.org/10.32703/617-9040-2019-33-1-11>.
10. Петренко, В.О., Буліч, Д.І. Оцінка стану несучих конструкцій вантажних вагонів з продовженим терміном служби. *Залізничний транспорт України*. Київ: Вид-во філії «НДКТБ», 2017. №1(122). С.48-52.
11. Вагоны вантажні залізничного транспорту колії 1520 (1524) мм. Настанова з капітального ремонту. СТП 04-016: 2018. Київ: Девалта, 2018. 150 с.
12. Вагоны вантажні залізниць України колії 1520 (1524) мм. Настанова з деповського ремонту. ВНД УЗ 32.2.04.037-2013. ЦВ-0142. Наказ № 468-Ц/од 26.12.2013. Київ: Девалта, 2014. 159 с.
13. Ануфрієв В.Г., Донеv О.А., Мацюк А.С., Оберняк С.М. Аналіз виникнення несправностей та зносу елементів шкворневої балки піввагону. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2012. Вип. 41. С. 7-10.
14. Бондарев О.М., Горобець В.Л., Мямлін С.В. Методика та дослідження з продовження терміну служби несучих конструкцій тягового рухомого складу для промислового транспорту. *Наука та прогрес транспорту*, 2014. № 2 (50). С. 130-151.
15. Горобець В.Л., Бондарев О.М., Скобленко В.М. Аналіз експлуатаційної наробки несучих конструкцій рухомого складу в задачах продовження терміну його експлуатації. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Дніпропетровськ, 2010. Вип. 35. С. 10-16.
16. Третьяков А.В. Продление сроков службы подвижного состава (история, текущее состояние, проблемы и перспективы). *Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : сб. науч. ст. Петербург. гос. ун-т путей сообщ.* Санкт-Петербург, 2011. Вып. 6. С. 41-44.
17. Герасименко А.А. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: справочник. Москва, 1987. 688 с.
18. Недужа Л.О., Швець А.О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. № 1 (73). С. 131-147.
19. Большаков В.І., Дрожєвська Г.В., Узлов О.В., Пучіков О.В. Дослідження корозійної стійкості перспективних Низьколегованих конструкційних сталей. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. № 7-8 (209). С. 10-21.
20. Кошель, О.О., Сапронова, С.Ю., Буліч, Д.І., Ткаченко, В.П. Визначення залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) на основі результатів технічного діагностування та типових випробувань. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ: ДУІТ, 2020. Вип.35. С.14-23. DOI: <https://doi.org/10.32703/617-9040-2020-35-2>.

REFERENCES

1. Informatsiya pro ukrayins'ki zaliznytsi. [Information about Ukrainian railways]. (in Ukrainian). URL.: <https://mtu.gov.ua/content/informaciya-pro-ukrayinski-zaliznici.html>.
2. Poyasnyval'na zapyska do konsolidovanoho proektu finansovoho planu PAT "Ukrayins'ka zaliznytsya" na 2016 rik. [Explanatory note to the consolidated draft financial plan of PJSC "Ukrainian Railways" for 2016]. (in Ukrainian). URL.: <https://mtu.gov.ua/news/26510.html>.
3. Poyasnyval'na zapyska do konsolidovanoho proektu finansovoho planu PAT "Ukrayins'ka zaliznytsya" na 2017 rik. [Explanatory note to the consolidated draft financial plan of PJSC "Ukrainian Railways" for 2017]. (in Ukrainian). URL.: <https://mtu.gov.ua/news/29134.html>.

4. Yedinyye metodicheskiye ukazaniya po tekhnicheskomu diagnostirovaniyu gruzovykh i refrizheratornykh vagonov gosudarstv-uchastnikov Soglasheniy o sovместnom ispol'zovanii gruzovykh i refrizheratornykh vagonov v mezhdunarodnom soobshchenii. [Unified guidelines for technical diagnostics of freight and refrigerated wagons of the states parties to the Agreements on the joint use of freight and refrigerated wagons in international traffic]. (in Russian). URL.: https://www.ldz.lv/lv/system/files/13_KV_Padome_52_7%20v_Piel.%2039.pdf.
5. Polozheniye o prodlenii sroka sluzhby gruzovykh vagonov, kursiruyushchikh v mezhdunarodnom soobshchenii. Utverzhdeno Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva ot 14 maya 2010 goda. [Regulation on the extension of the service life of freight cars plying in international traffic. Approved by the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States on May 14, 2010]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_539. (in Russian).
6. Sapronova, S.Yu., Bulich, D.I. & Tkachenko, V.P. (2017). Prodovzhennya terminu ekspluatatsiyi vantazhnykh vahoniv. [Extension of service life of freight cars]. *Visnyk SNU im. V. Dalya. [Bulletin of the EUNU named after Vladimir Dahl]*. 3(233). 158–162. (in Ukrainian).
7. RD 24.050.37-90. Vagony gruzovyye i passazhirskiye. Metody ispytaniy na prochnost' i khodovyye kachestva. [Freight and passenger cars. Test methods for strength and driving performance]. Moscow, 1990. 37 p. (in Russian).
8. RD 24.050.37-95. Vagony gruzovyye i passazhirskiye. Metody ispytaniy na prochnost' i khodovyye kachestva. [Freight and passenger cars. Test methods for strength and driving performance]. Moscow, 1995. 102 c. (in Russian).
9. Sapronova, S.Y., Koshel, O.O., Tkachenko, V.P., Bulich, D.I. & Radkevich M.M. (2019). Analiz metodiv prodovzhennya terminu sluzhby vantazhnykh vahoniv. [Analysis of methods for extending the service life of freight cars]. *Transportni systemy i tekhnolohiyi. [Transport Systems and Technologies]*. 1(33). 118-129. https://doi.org/10.32703/617-9040-2019-33-1-11_ (in Ukrainian).
10. Petrenko, V.O. & Bulich, D.I. (2017). Otsinka stanu nesuchykh konstruksiy vantazhnykh vahoniv z prodovzhenym terminom sluzhby. [Assessment of the condition of load-bearing structures of freight cars with extended service life]. *Zaliznychnyy transport Ukrayiny. [Railway transport of Ukraine]*. №1(122). 48-52. (in Ukrainian).
11. Vahony vantazhni zaliznychnoho transportu kolyi 1520 (1524) mm. Nastanova z kapital'noho remontu. STP 04-016: 2018. [Freight cars of rail transport of a track of 1520 (1524) mm. Guidelines for overhaul. STP 04-016: 2018]. Kiev: Devalta, 2018. 150 p. (in Ukrainian).
12. Vahony vantazhni zaliznyts' Ukrayiny kolyi 1520 (1524) mm. Nastanova z depovs'koho remontu. VND UZ 32.2.04.037-2013. TSV-0142. [Freight cars of the railways of Ukraine of a track of 1520 (1524) mm. Guidelines for depot repairs. GNI UZ 32.2.04.037-2013. ІІВ-0142]. Kiev: Devalta, 2014. 159 p. (in Ukrainian).
13. Anufriev V.G., Donev O.A., Matsyuk A.S. & Obornyak S.M. (2012). Analiz vynyknennya nespravnostey ta znosu elementiv shkvornevoyi balky napivvahonu. [Analysis of malfunctions and wear of the elements of the pivot beam of the gondola]. *Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazaryana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. Academician V. Lazaryan]*. 41. 7-10. (in Ukrainian).
14. Bondarev O.M., Gorobets V.L. & Myamlin S.V. (2014). Metodyka ta doslidzhennya z prodovzhennya terminu sluzhby nesuchykh konstruksiy tyahovoho rukhomoho skladu dlya promyslovoho transportuyu. [Methods and research to extend the service life of load-bearing structures of traction rolling stock for industrial transport]. *Nauka ta prohres transportu [Science and progress of transport]*. 2(50). 130-151. (in Ukrainian).
15. Gorobets V.L., Bondarev O.M. & Skoblenko V.M. (2010). Analiz ekspluatatsiyoi narobky nesuchykh konstruksiy rukhomoho skladu v zadakh prodovzhennya terminu yoho ekspluatatsiyi. [Analysis of operational life of bearing structures of rolling stock in the tasks of extending its service life]. *Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazaryana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. Academician V. Lazaryan]*. 35. 10-16. (in Ukrainian).
16. Tretyakov A.V. (2011). Prodleniye srokov sluzhby podvizhnogo sostava (istoriya, tekushcheye sostoyaniye, problemy i perspektivy). [Extension of the service life of rolling stock (history, current state, problems and prospects).] *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty: sbornik nauchnykh statey Peterburskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects: collection of scientific articles of the St. Petersburg State University of Railways]* 6. 41-44. (in Russian).
17. Gerasimenko A.A. Zashchita ot korrozii, stareniya i biopovrezhdenii mashin, oborudovaniya i sooruzheniy: spravochnik. [Protection against corrosion, aging and bio-damage of machines, equipment and structures: a reference book]. Moscow, 1987. 688. (in Russian).
18. Neduzha L.O. & Shvets A.O. (2018). Teoretychni ta eksperymental'ni doslidzhennya mitsnisnykh yakostey khrebtovoyi balky vantazhnoho vahona. *Nauka ta prohres transportu [Science and progress of transport]*. 1(73). 131-147. (in Ukrainian).
19. Bolshakov V.I., Drozhevskaya G.V., Uzlov O.V. & Puchikov O.V. (2015). Doslidzhennya koroziynoyi stiykosti perspektivnykh nyz'kolehovanykh konstruksiynykh staley. [Investigation of corrosion resistance of promising low-alloy structural steels]. *Visnyk Prydniprovs'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury. [Bulletin of the Dnieper State Academy of Civil Engineering and Architecture]* 7-8 (209). 10-21. (in Ukrainian).
20. Koshel O.O., Sapronova S.Y., Bulich D.I. & Tkachenko V.P. (2020). Vyznachennya zalyshkovoho resursu nesuchykh metalevykh konstruksiy vahoniv khoper-dozatoriv ta dumpkariv (samoskydiv) na osnovi rezul'tativ tekhnichnoho diahnostuvannya ta typovykh vyprobuvan'. [Determination of the residual life of load-bearing metal structures of hopper dispensers and dump trucks (dump trucks) based on the results of technical diagnostics and standard tests]. *Transportni*

systemy i tekhnolohiyi. [Transport Systems and Technologies]. 35. 14-23. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2>. (in Ukrainian).

Булич Дмитрий, аспирант

(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий)

Сапронова Светлана, д.т.н., проф.

(доктор технических наук, профессор, Государственный университет инфраструктуры и технологий)

Ткаченко Виктор, д.т.н., проф.

(доктор технических наук, заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав железных дорог», Государственный университет инфраструктуры и технологий)

Кошель Алексей, аспирант

(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА НЕСУЩИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРОДОЛЖЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ

Коррозионному износу подлежат все элементы несущих металлических конструкций грузовых вагонов. В данной статье проведен статистический анализ коррозионного износа для каждого элемента несущих металлических конструкций. Рассмотрены повреждения несущих металлических конструкций полувагонов с учетом коррозионного износа. Предложены меры увеличения возможного предельного коррозионного износа, которые могут быть использованы для прогнозирования остаточного ресурса и конструктивной доработки элементов несущих металлических конструкций.

Ключевые слова: *грузовой вагон, несущие металлические конструкции, коррозионный износ, повреждения, техническое диагностирование.*

Dmitry Bulich, graduate student

(graduate student, State University of Infrastructure and Technology)

Svetlana Sapronova, prof.

(Doctor of Technical Sciences, Professor, State University of Infrastructure and Technology)

Victor Tkachenko, prof.

(Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Traction Rolling Stock of Railways, State University of Infrastructure and Technologies)

Alexey Koshel, graduate student

(graduate student, State University of Infrastructure and Technology)

INVESTIGATION OF CORROSION WEAR OF SUPPORTING METAL STRUCTURES OF FREIGHT CARS DURING MEASURES TO EXTEND THE TERM OF SERVICE

All elements of load-bearing metal structures of freight cars are subject to corrosion wear. In this article, a statistical analysis of corrosion wear for each element of load-bearing metal structures. Damage to load-bearing metal structures of gondola cars taking into account corrosion wear is considered. Measures to increase the possible maximum corrosion wear, which can be used to predict the residual life and structural finishing of the elements of load-bearing metal structures. Cracks and fractures that are not detected in time, which turn into through-corrosion during operation, have a great impact on corrosion. To determine the corrosion of the freight car requires an individual approach to each element of the load-bearing structures of the car, taking into account the performance and time of repair. Studies have shown that half of freight cars were operated with corrosion of some elements of load-bearing metal structures more than 30%. This shows the possibility of increasing the tolerance of the threshold of corrosion wear of cars, which will affect the ability to reduce the exclusion of freight cars from the inventory.

Keywords: *freight car, bearing metal structures, corrosion wear, damage, technical diagnostics.*

УДК 629.45

Радкевич Микола, аспірант

(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)

Сапронова Світлана, д.т.н., проф.

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

Ткаченко Віктор, д.т.н., проф.

(доктор технічних наук, завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний університет інфраструктури та технологій)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ ГРАНИЧНОГО ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НЕКУПЕЙНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ПОБУДОВИ КВЗ

У статті проведено дослідження залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій (НМК) пасажирських вагонів на основі результатів технічного діагностування та типових випробувань. Зроблено висновок про те, що стан несучих металевих конструкцій пасажирських вагонів побудови Крюківського вагонобудівного заводу (КВЗ) після тривалої експлуатації не наближається до граничного. Отримані практичні та теоретичні результати дають змогу продовжити термін служби пасажирським вагонам побудови КВЗ понад встановлений заводом-виробником.

Ключові слова: *некупейний пасажирський вагон, несучі металеві конструкції, контрольні випробування, залишковий ресурс.*

Вступ. У зв'язку зі скороченням інвентарного парку пасажирських вагонів після досягнення нормативного терміну служби, закупівлею в недостатній кількості нових вагонів був викликаний дефіцит парку пасажирських вагонів. Комплекс робіт з продовження терміну служби передбачений методикою технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін [1, 13], та нормативними документами. Але ні існуюча методика не враховує деяких особливостей пошкодження елементів конструкції у період експлуатації. У таких випадках звичайні засоби технічного діагностування згідно з [1] не дають змогу повною мірою оцінити ймовірність продовження терміну служби вагона.

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 [15, 2]. 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 [15].

Обґрунтування необхідності уточнення терміну продовження корисної експлуатації пасажирських вагонів розглядалися як в Україні так і в закордонних публікаціях [16,17]. В науковому дослідженні [3] обґрунтовано продовження терміну служби пасажирських вагонів з осередками корозії хребтової балки. Розробка рекомендацій із продовження терміну корисної експлуатації пасажирських вагонів розглянуто в роботі [4]. В роботах [5, 6, 7] досліджувались проблеми та особливості технічного діагностування пасажирських вагонів. А в [8, 9],

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-6

виконувались числові розрахунки на базі скінченно-елементної моделі з оцінкою міцності по I та III розрахункових режимах. Далі з урахуванням попередніх результатів виконувались розрахунки втомної пошкодженості елементів конструкції для оцінки залишкового терміну служби. Крім того, в [8] були виконані розрахунки для нових вагонів і вагонів з мінімальними товщинами елементів (внаслідок корозії) та розрахунковим шляхом був встановлений суттєвий вплив механічних або зварних пошкоджень (підрізів), залежно від розмірів останніх, на термін служби вагонів.

В більшості перерахованих наукових публікаціях досліджується збільшення строку експлуатації різних типів пасажирських вагонів шляхом удосконалення їх конструктивних властивостей.

Дослідження залишкового ресурсу вантажних вагонів в Україні проводиться філією «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» публічного акціонерного товариства «Українська залізниця»

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є проведення дослідження залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій (НМК) некупейного пасажирського вагона побудови КВЗ із строком служби, що перетнув 41 рік від дати виготовлення для встановлення можливості подальшого продовження строку служби

Завданням дослідження є визначення залишкового ресурсу НМК некупейного пасажирського вагона побудови КВЗ із строком служби, що перетнув 41 рік від дати виготовлення для оцінки показників міцності та опору втомі методами технічного діагностування та типових випробувань.

Матеріали та методи дослідження. Найбільш поширеними вагонами, які використовуються в пасажирських перевезеннях є вагони відкритого типу побудови КВЗ (рис. 1).

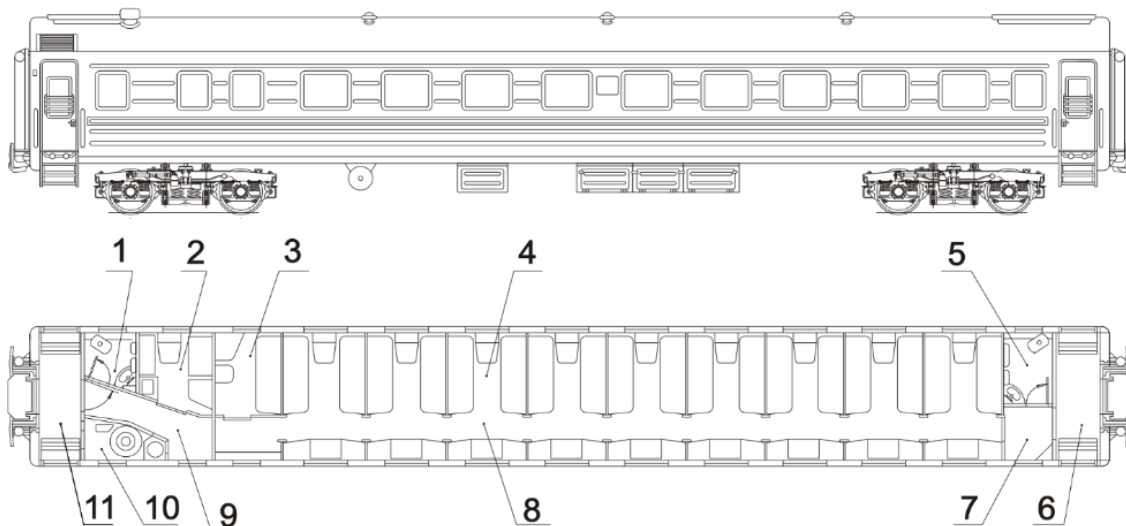


Рис. 1. Пасажирський некупейний вагон

- 1, 5 – туалетні відділення; 2 – службове приміщення; 3 – купе для провідників;
4 – дев'ять шестимісних пасажирських відділень; 6, 11 – два тамбури;
7, 9 – два малі коридори; 8 – коридор вздовж вагона

Рама складається з хребтової балки, що проходить по всій довжині кузова, двох шворневих, трьох поперечних і двох кінцевих балок. Хребтова балка складається з трьох частин: середня полегшена зроблена з швелера №30 (ГОСТ 8240-72), а кінцеві посилені – з швелера № 30 В-1 (ГОСТ 5267-63). Стики частин хребтової балки розташовані між шворневою і встановленими поблизу них поперечними балками. Стики косі і виконані в різних поперечних площинах рами. Шворневі балки зварені з вертикальних стінок, перекритих верхніми і нижніми листами товщиною 10 мм. Спільно вони утворюють закрите коробчатий змінний перетин. Всі поперечні балки штамповані з листа товщиною 6 мм. Для кінцевих балок застосований швелер, частини якого знизу і зверху підсилюють листами, підкріпленими косинцями і ребрами жорсткості.

Настил підлоги покладений над рамою і приварений до неї електродуговим зварюванням. Настил включає три металевих листа, один з яких, має товщину 2 мм і для збільшення жорсткості має поздовжні гофри. Кінцеві листи гладкі, їх товщина 3 мм. Бічними обвязками рами служать гарячекатаний зетподібний профіль (100x75x75x6,5 мм) [10, 12].

Використані методи випробувань для пасажирського некупейного вагона:

скидання з клинів – оцінка власних частот коливань та динамічних напружень в елементах НМК рами і кузова вагона. В залежності від кількості використаних клинів і місця їх розташування під відповідними колесами вагона визначені 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 автотягачне обладнання [2, 13, 14];

випробування на співудар, проведені шляхом накочування локомотивом вагона-бойка на дослідний вагон, який знаходиться в підпертому та вільному станах. Співудари при типових випробуваннях проводились за швидкостями, які указані в табл. 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 наведено схеми установки тензорезисторів на рамі пасажирського вагона відповідно при проведенні контрольних випробувань.

На підставі проведення технічного діагностування та типових випробувань визначається можливість встановлення нового призначеного терміну служби вагонів [10].

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

Залишковий ресурс встановлювався 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 проводилась оцінка показників запасу опору втомі з врахуванням напруження несучих конструкцій вагону під час випробувань.

Оцінку запасу опору втомі проведено таким чином:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \geq [n], \quad (1)$$

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, приведена до бази N_0 , еквіваленте за пошкоджуваною дією реальному режиму експлуатаційних випадкових напружень протягом проектного терміну служби, МПа.

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

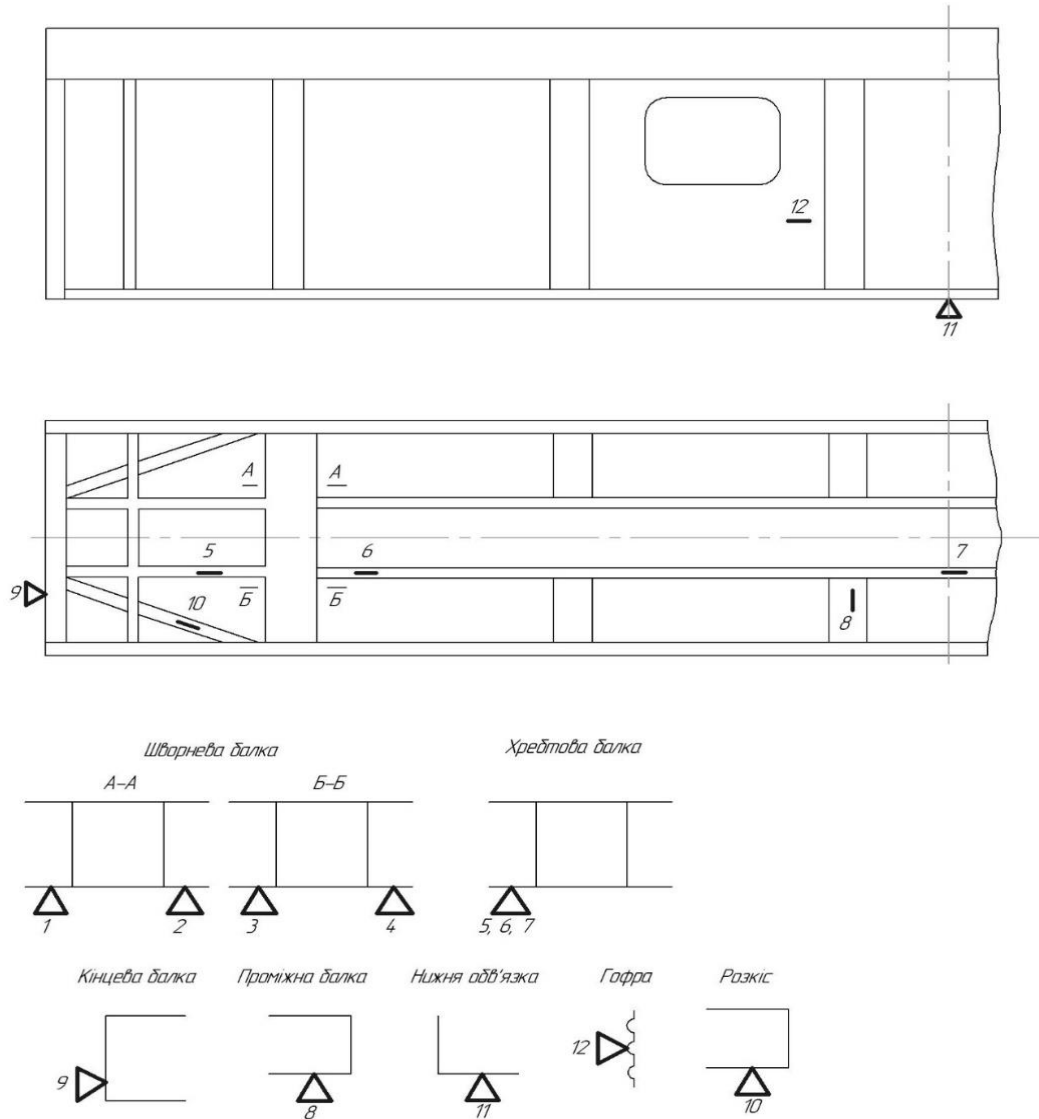


Рис. 2. Схема встановлення тензорезисторів на несучих металевих конструкціях вагона

Розрахункове значення границі витривалості визначається за формулою

$$\sigma_{a,N} = \overline{\sigma_{a,N}} \times (1 - z_p \times \vartheta_{\sigma_{a,N}}), \quad (2)$$

де $\overline{\sigma_{a,N}}$ – середнє (медіанне) значення границі витривалості дослідного зразка;

$z_p = 1,645$ – квантиль розподілу, що відповідає односторонній ймовірності $P = 0,95$;

$\vartheta_{\sigma_{a,N}} = 0,5$ – коефіцієнт варіації границі витривалості.

$$\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{\overline{\sigma_{-1}}}{(K_\sigma)_K}, \quad (3)$$

де $\sigma_{-1} = 170$ МПа – границя витривалості;

$(K_\sigma)_K$ = значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості натурної деталі згідно [2] для зон:

- 1, 2, 3, 4 складає 2,8;
- 5, 6, 7 складає 2,45;
- 8, 9, 10 складає 3,0;
- 11 складає 2,8.

$$\sigma_{a,e} = \sqrt[m]{\frac{N_c}{N_0} \times \sum \sigma^m P}, \quad (4)$$

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 – 41 рік;

$\sigma^m P$ – значення рівня напружень з урахуванням її масової долі під час експлуатації.

$$m = \frac{A}{(K_b)_k}, \quad (5)$$

де A – коефіцієнт згідно [11];

$(K_b)_k$

m – 4 згідно з [11].

$$N_c = \mathcal{G}_e \times T_p, \quad (6)$$

де T_p – сумарний час дії динамічних напружень.

$$T_p = B \times T_K, \quad (7)$$

де B – коефіцієнт переводу календарного розрахункового строку служби у роках в час неперервного руху в секундах;

T_K – фактичний сумарний час дії динамічних напружень, $T_K = 41$ рік;

$$\mathcal{G}_e = \frac{a}{2\pi} \times \sqrt{\frac{g}{f_{CT}}}, \quad (8)$$

де $a = 1,1$ – коефіцієнт для кузова вагона;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

f_{CT} – статичний прогин підвішування.

$$B = 365 \times \frac{10^3 \bar{L}_c}{V}, \quad (9)$$

де \bar{L}_c – 904 км – середньодобовий пробіг некупеїного пасажирського вагона;

\bar{V} – 25 м/с, середня швидкість поїзда;

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

Розрахункові значення n – коефіцієнта запасу опору втомі у дослідних місцях вагону згідно ДСТУ 7774:2015 [11] приведено у табл. 3.

Таблиця 3. Розрахункові значення n у дослідних місцях вагону

Номер каналу	Напруження від сил, що виникають під час руху вагону під час коливань підскакування, скручування кузова, галопування та бокової хитавиці з урахуванням повного завантаження вагона, МПа	Напруження сили взаємодії між вагонами, вагону з локомотивом, гальмування, співударів, з урахуванням її масової долі під час експлуатації, МПа	Запас опору втомі n
1	13,69	9,13	1,74
2	17,80	11,87	1,62
3	13,30	8,87	1,91
4	18,43	12,29	1,61
5	11,44	7,63	1,48
6	10,59	7,06	1,41
7	5,23	3,49	3,21
8	8,28	5,52	1,90
9	3,9	2,6	3,35
10	4	2,67	3,11
11	6,18	4,12	2,37
12	5,01	3,34	3,33

Допустиме напруження матеріалу несучих конструкцій складає: $0,9\sigma_T = 221$ МПа згідно [11]. Зона 6 дослідного вагону має сумарний рівень напружень 213,69 МПа та не перевищує значення допустимих напружень для нових та модернізованих вагонів (табл. 4).

Таблиця 4. Сумарні значення напружень у дослідних місцях вагону в рамках І режиму

Номер каналу	Напруження від власних сил тяжіння конструкції (тари), обладнання, пасажирів, багажу та ін., МПа	Напруження від сил, що виникають під час руху вагону під час коливань підскакування, скручування кузова, галопування та бокової хитавиці, МПа	Напруження сили взаємодії між вагонами, вагона з локомотивом, гальмування, співударів, у тому числі аварійних зіткнень (250 т.), МПа	Сумарні значення напружень, МПа
1	10,9	9,13	180,63	200,66
2	10,9	11,87	78,25	101,02
3	10,9	8,87	134,68	154,45
4	10,9	12,29	58,36	81,55
5	10,9	7,63	138,47	157
6	10,9	7,06	195,73	213,69
7	10,9	3,49	64,75	79,14
8	10,9	5,52	49,51	65,93
9	10,9	2,6	58,12	71,62
10	10,9	2,67	69,84	83,41
11	8,3	4,12	57,56	69,98
12	-	3,34	32,31	35,65

Враховуюче те, що одночасне поєднання максимальних повздовжніх (250 т на автозчепному пристрою) та вертикальних навантажень є рідким поєднанням несприятливих факторів

(частість сил складає 0,0000001), подальша безпечна експлуатація вагонів некупейних побудови КВЗ можлива за межами 41 року від побудови при періодичному технічному діагностуванні несучих конструкцій.

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

Таким чином, отримані практичні та теоретичні результати дають можливість продовжувати строк служби пасажирських вагонів побудови КВЗ понад 41 рік від побудови при періодичному технічному діагностуванню несучих конструкцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження: ЦІ-0070. Київ: Нескінчене джерело, 2008. 60 с.
2. Кошель, О.О., Сапронова, С.Ю., Буліч, Д.І., Ткаченко, В.П. Визначення залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) на основі результатів технічного діагностування та типових випробувань. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ: ДУІТ, 2020. Вип.35. С.14-23. doi: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2>.
3. Мямлін, С.В., Рейдемейстер, О.Г., Пуларія, А.Л., Калашник В.О. Обґрунтування продовження терміну служби пасажирських вагонів з осередками корозії хребтової балки. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ, 2015. № 5. С. 132-140.
4. Мямлін, С.В., Рейдемейстер, О.Г., Пуларія, А.Л., Калашник В.О. Розробка рекомендацій із продовження терміну корисної експлуатації пасажирських вагонів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ, 2015. № 6(60). doi: <https://doi.org/10.15802/stp2015/57096>.
5. Мямлин, С.В., Анофриев, В.Г., Пулария А.Л. Диагностирование подвижного состава с целью продления срока службы. *Материали LXVI Міжнарод. науч.-практ. конф. «Проблеми и перспективи розвитку залізничного транспорту» (11.05–12.05 2006)*. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2006. С. 108-109.
6. Мямлин, С.В., Пулария, А.Л. Проблемы технического диагностирования пассажирских вагонов. *Материали Міжнар. наук.-техн. конф. «Розвиток наукової школи трансп. механіки»*. Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2013. С. 65-67.
7. Мямлин, С.В., Анофриев, В.Г., Пулари, А.Л. Особенности технического диагностирования подвижного состава. *Материали I Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми та ефективні шляхи ремонту і відновлення залізничного рухомого складу»*. Київ: ДП «ПВІТБ «Київдптртранс», 2006. С. 16-17.
8. Шикун, О.А., Рейдемейстер, О.Г., Анофриев, В.Г. Дослідження граничного стану пасажирських вагонів. *Вагонний парк*. 2012. № 12. С. 4-6.
9. Мямлин, С.В., Горобец, В.Л. Научные методы оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава *Вісник сертифікації залізничного транспорту*. Дніпропетровськ, 2011. № 8. С. 12-17.
10. НДКТІ/НВЦ УІ 005-19. «Дослідження залишкового ресурсу та встановлення граничного терміну експлуатації некупейних пасажирських вагонів побудови КВЗ». Київ: НДКТІ, 2020.
11. ДСТУ 7774:2015. Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Загальнотехнічні норми для розрахунку та проектування механічної частини вагонів. Київ, 2015.
12. Сапронова, С.Ю., Кошель, О.О., Ткаченко, В.П., Будіч, Д.І., Радкевич, М.М. Аналіз методів продовження терміну служби вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій серія «Транспортні системи і технології»*. Київ: Вид-во ДУІТ, 2019. №1(33). 118-129. doi: <https://doi.org/10.32703/617-9040-2019-33-1-11>.
13. Правила виключення пасажирських вагонів із інвентарного парку: ЦІ-0069. Київ: Нескінчене джерело, 2008. 40 с.
14. Програма і методика проведення ударних ресурсних випробувань пасажирських вагонів, що виступили призначений термін служби: узгодж. ЦІ, ЦРБ, ЦТехУкрзалізниця та УкрНДІВ: ПМ 01-13/ВЛВ. Дн -ськ, 2013. 16 с.
15. Политехнический словарь: редкол.: А.Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ПИ50 Большая Российская Энциклопедия, 2000. 656 с.
16. Baykasoglu, C., Sunbuloglu, E., Bozdog, E. [et al.]. (2012). Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. *Intern. Iron & Steel Symposium (02.04–04.04.2012)*. Karabük University. Istanbul. 19. 579-586.
17. Baykasoglu, C., Sunbuloglu, E., Bozdog, E. [et al.]. (2011). Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness. *Intern. J. of Crashworthiness*. London. Vol. 16. Iss. 3. 319-329. doi: 10.1080/13-588265.2011.566475.

REFERENCES

1. Methods of technical diagnostics of passenger cars that have served the appointed period, in order to extend it: CL-0070.(2008) Kyiv: Infinite Source. 60 p.
2. Koshel O.O., Sapronova S.Y., Bulich D.I. & Tkachenko V.P. (2020). Vyznachennya zalyshkovoho resursu nesuchykh metalevykh konstruktivnykh vahoniv khoper-dozatoriv ta dumpkariv (samoskydiv) na osnovi rezul'tativ tekhnichnoho diahnostuvannya ta typovykh vyprobuvan'. [Determination of the residual life of load-bearing metal structures of hopper dispensers and dump trucks (dump trucks) based on the results of technical diagnostics and standard tests]. *Transportni systemy i tekhnolohiyi. [Transport Systems and Technologies]*. 35. 14-23. doi: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2>. (in Ukrainian).
3. Myamlin, S.V., Reidemeister, O.H., Pulariya, A.L., Kalashnik V.O. (2015). Obhruntuvannya prodovzhennya terminu sluzhby pasazhyr'skykh vahoniv z oseredkamy koroziyi khrebtovoyi balky. [Rationale for extending the service life of passenger cars with spinal corrosion beams]. *Nauka ta prohres transportu. [Science and progress of transport]. Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana. [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]*. Dnipropetrovsk. 5. 132-140. (in Ukrainian).
4. Myamlin, S.V., Reydemeyster, O.H., Pulariya, A.L., Kalashnyk V.O. (2015). Rozrobka rekomendatsiy iz prodovzhennya terminu korysnoyi eksploatatsiyi pasazhyr'skykh vahoniv. [Development of recommendations for extending the useful life of passenger cars]. *Nauka ta prohres transportu. [Science and progress of transport]. Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana. [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]*. № 6(60). doi: <https://doi.org/10.15802/stp2015/57096>. (in Ukrainian).
5. Myamlin, S.V., Anofriyev, V.G., Pulariya A.L. (2006). Diagnostirovaniye podvizhnogo sostava s tsel'yu prodleniya sroka sluzhby. [Diagnosis of rolling stock for the purpose of prolonging the service life]. *Materiali LXVI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta» (11.05-12.05 2006). Dnepropetrovskiy natsional'nyy universitet zheleznodorozhnogo transporta imeni akademika V. Lazaryana. Dnepropetrovsk. [Materials LXVI Int. scientific-practical conf. "Problems and Prospects for the Development of Railway Transport" (11.05–12.05 2006). Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Dnepropetrovsk]*. Dnepropetrovsk. 108–109. (in Russian).
6. Myamlin, S.V., Pulariya, A.L. (2013). Problemy tekhnicheskoho dyahnostyrovannya passazhyr'skykh vahonov. [Problems of the technology diagnostics of passenger wagons]. *Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «Rozvytok naukovoyi shkoly transportnoyi mekhaniky». [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Development of the Scientific School of Transport Mechanics"]*. Dnipropetrovsk, P. 65–67. (in Russian).
7. Myamlyn, S.V., Anofriyev, V.H., Pulariya, A.L. (2006). Osobennosti tekhnicheskoho dyahnostyrovannya podvizhnogo sostava. [Features of technical diagnostics of rolling stock]. *Materialy I Mizhnarodnoyi naukovoyi konferentsiyi «Suchasni problemy ta efektyvni shlyakhy remontu i vidnovlennya zaliznychnoho rukhomoho skladu». [Proceedings of the 1st International Scientific Conference "Modern Problems and Effective Ways of Repair and Restoration of Railway Rolling Stock"]*. Kyiv: State Enterprise PVITB Kyivdiprotrans. 16-17. (in Russian).
8. Shykunov, O.A., Reydemeyster, O.H., Anofriyev, V.H. (2012). Doslidzhennya hranychnoho stanu pasazhyr'skykh vahoniv. [Investigation of the limit state of passenger cars]. *Vahonnyy park. [Car park.] 12. C. 4-6*. (in Ukrainian).
9. Myamlyn, S.V., Horobets V.L. (2011). Nauchnye metody otsenky resursa nesushchykh konstruktivnykh podvizhnogo sostava. [Scientific methods for assessing the service life of rolling stock bearing structures]. *Visnyk sertyfikatsiyi zaliznychnoho transportu. [Bulletin of railway transport certification]*. Dnipropetrovsk. 8. 12-17. (in Ukrainian).
10. NDKTI / NVC UI 005-19. Doslidzhennya zalyshkovoho resursu ta vstanovlennya hranychnoho terminu eksploatatsiyi nekupeynykh pasazhyr'skykh vahoniv pobudovy KVZ. [Study of the residual resource and the establishment of the service life of non-compartment passenger cars for the construction of KVZ]. Kyiv: NDKTI, 2020. (in Ukrainian).
11. DSTU 7774: 2015. Vahony pasazhyr'ski mahistral'ni lokomotyvnoyi tyahy. Zahal'notekhnichni normy dlya rozrakhuvannya ta proektuvannya mekhanichnoyi chastyny vahoniv. [Passenger cars of main locomotive traction. General technical standards for the calculation and design of the mechanical part of cars]. Kyiv, 2015. (in Ukrainian).
12. Sapronova, S.Y., Koshel, O.O., Tkachenko, V.P., Bulich, D.I. & Radkevich M.M. (2019). Analiz metodiv prodovzhennya terminu sluzhby vantazhnykh vahoniv. [Analysis of methods for extending the service life of freight cars]. *Transportni systemy i tekhnolohiyi. [Transport Systems and Technologies]*. 1(33). 118-129. doi: <https://doi.org/10.32703/617-9040-2019-33-1-11>. (in Ukrainian).
13. Pravyla vyklyuchennya pasazhyr'skykh vahoniv iz inventarnoho parku: TSL–0069. [Rules for exclusion of passenger cars from the inventory: CL-0069]. Kyiv: Neskinchene dzherelo, 2008. 40 p. (in Ukrainian).
14. Prohrama i metodyka provedennya udarnykh resursnykh vyprobuvan' pasazhyr'skykh vahoniv, shcho vysluzhyly pryznachenny termin sluzhby: uzgodzh. TSL, TSRB, TSTekhUkrzaliznytsi ta UkrNDIV: PM 01-13/VLV. [The program and a technique of carrying out shock resource tests of the passenger cars which have served the appointed service life: coordination. CL, CRH, CTechUkrzaliznytsia and UkrNDIV: PM 01-13 / VLV]. Dnipropetrovsk, 2013. 16 s. (in Ukrainian).
15. Polytechnic Dictionary / Editor .: A.Yu. Ishlinsky (ed.), etc. 3rd ed., reworked. and ext. M .: P50 Bolshaya Rossiyskaya Entsiklopediya, 2000. 656 s.
16. Baykasoglu, C., Sunbuloglu, E., Bozdog, E. [et al.]. (2012). Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. *Intern. Iron & Steel Symposium (02.04–04.04.2012). Karabük University. Istanbul*. 19. 579-586.

17. Baykasoglu, C., Sunbuloglu, E., Bozdog, E. [et al.]. (2011). Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness. *Intern. J. of Crashworthiness. London*. Vol. 16. Iss. 3. 319–329. doi: 10.1080/13-588265.2011.566475.

Радкевич Николай, аспирант
(аспирант Государственного университета инфраструктуры и технологий)
Сапронова Светлана, д.т.н., проф.
(доктор технических наук, профессор, Государственный университет инфраструктуры и технологий)
Ткаченко Виктор, д.т.н., проф.
(доктор технических наук, заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав железных дорог», Государственный университет инфраструктуры и технологий)

ИЗУЧЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА И УСТАНОВЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО СРОКА СЛУЖБЫ НЕКУПЕЙНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ СТРОИТЕЛЬСТВА КВЗ

В статье проведено исследование остаточного ресурса несущих металлических конструкций (НМК) пассажирских вагонов на основе результатов технического диагностирования и типовых испытаний. Сделан вывод о том, что состояние несущих металлических конструкций пассажирских вагонов построенных на Крюковском вагоностроительном заводе (КВЗ) после длительной эксплуатации не приближается к предельному. Полученные практические и теоретические результаты позволяют продлить срок службы пассажирским вагонам производства КВЗ сверх установленного заводом-изготовителем.

Ключевые слова: некупейный пассажирский вагон, несущие металлические конструкции, контрольные испытания, остаточный ресурс.

Nikolay Radkevich, 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)
Victor Tkachenko, prof.
(Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Traction Rolling Stock of Railways, State University of Infrastructure and Technologies)

STUDY OF RESIDUAL RESOURCE AND ESTABLISHMENT OF THE LIMIT LIFE OF NON-PURCHASER PASSENGER CARS OF CONSTRUCTION OF KVZ

In order to ensure the uninterrupted performance of passenger traffic, the task of ensuring the operation of rolling stock outside the extended service life, including passenger cars for the carriage of passengers, remains relevant. Based on this, there is a need for comprehensive research aimed at substantiating the possibility of ensuring operation while maintaining dynamic and strength characteristics. The article examines the residual life of load-bearing metal structures of passenger cars based on the results of technical diagnostics and standard tests. It is concluded that the condition of the load-bearing metal structures of passenger cars built by the Kryukiv Carriage Plant (KCP) after long operation does not approach the limit. The obtained practical and theoretical results make it possible to extend the service life of passenger cars for the construction of KCP beyond the factory set by 41 years.

Keywords: passenger carriage, bearing metal structures, control tests, residual life.

УДК 004.9

Проваторов Нікіта

(магістрант кафедри інформаційних технологій та дизайну, ДУІТ)

Овчарук Ірина, к.т.н., доцент

(доцент кафедри інформаційних технологій та дизайну, ДУІТ)

ГЕНЕРАЦІЯ ПРОФІЛІВ ШВИДКОСТІ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ У СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

У даній статті пропонується розглянути вдосконалену модель програмного швидкісного контролера, який здійснює керування драйвером крокового двигуна. На основі існуючих досліджень та корпоративних рішень під час проведення виробничої розробки використовувався адаптивний дизайн автомату станів системи, що надає змогу варіювати швидкість обертання крокового електродвигуна під час роботи системи у реальному часі.

Ключові слова: кроковий двигун, профіль швидкості, скінченний автомат, лінійна акселерація, контролер швидкості, імпульсний драйвер.

Вступ. Адаптивне керування траєкторією та швидкісним профілем систем крокових двигунів є прогресивною галуззю автоматизації індустріального та споживчого сегменту вбудованих систем контролю та керування. Наразі, системи, керовані програмованими логічними контролерами, реалізують керування кроковими двигунами за допомогою спеціальних апаратних драйверів. Такі пристрої або не мають власного генератора швидкісного профілю і передають сигнали з наступного рівня архітектури, або реалізують визначений профіль швидкості. Проте, з розвитком обчислювальних пристроїв, конфігурація цифрових та аналогових апаратних драйверів з подальшою делегацією, з вищих рівнів системи, функціональних обчислень може стати наступним кроком до оптимізації параметрів таких систем в цілому.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Відомими роботами з генерації швидкісних профілів крокових двигунів є роботи Д. Остіна та корпоративні рішення від ATMEL. Під час досліджень, проведених автором, на основі математичної моделі Д. Остіна та програмних рішень ATMEL, пропонується спеціальна модифікація системного підходу до генерації швидкісних траєкторій. Пропонований підхід забезпечить адаптивну роботу контролера і можливість вертикального перерозподілу обчислювальних навантажень у системі.

Мета і завдання дослідження. В роботі досліджуються: аспекти необхідної оптимізації алгоритмів генерації швидкісних траєкторій для систем реального часу, вдосконалення моделі скінченного автомата системи керування швидкістю та програмного контролера, що реалізує його.

Матеріали та методи дослідження. У даного типу синхронних двигунів кутове переміщення ротора забезпечується послідовною активацією обмоток двигуна. Конструктивно крокові електродвигуни складаються із статора, на якому розташовані обмотки збудження, і ротора, виконаного з феромагнітного або магнітного матеріалу.

Крокові двигуни з магнітним ротором дозволяють отримувати більший момент сили і забезпечують фіксацію ротора при знеструмлених обмотках. Схематичне зображення конструкції електродвигуна наведено нижче (рис. 1).

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-7

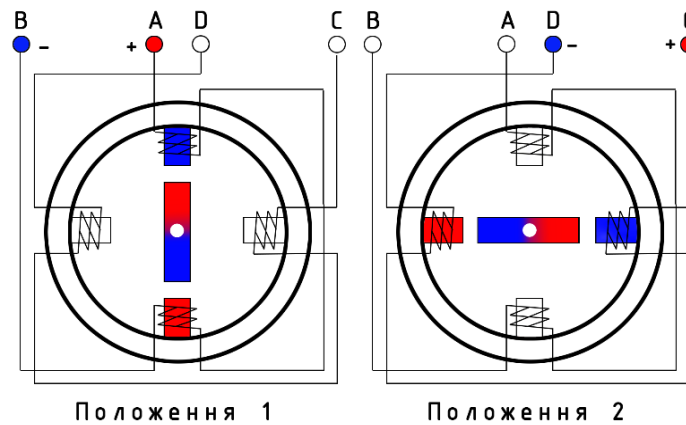


Рис. 1. Конструкція крокового електродвигуна

Математична модель роботи крокових двигунів. Щоб створити обертальний рух у кроковому двигуні, струм через обмотки повинен змінюватись у визначеному порядку. Таке керування реалізує апаратний драйвер, який генерує правильну вихідну послідовність сигналів під впливом зовнішніх імпульсів («імпульс крокового двигуна») та окремого сигналу, що визначає напрям обертання. Щоб обертати кроковий двигун з постійною швидкістю, імпульси повинні генеруватися з постійною швидкістю (рис. 2).

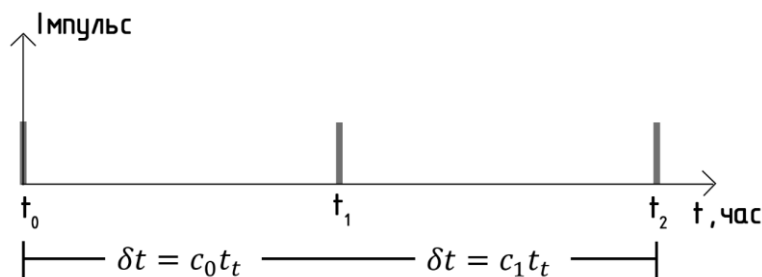


Рис. 2. Імпульси керування крокового двигуна при постійній швидкості

Спеціальний лічильник генерує наведені вище імпульси, з постійною швидкістю f_t [Гц]. Затримка δt визначається статично, а лічильник c виконує роль показчика.

$$\delta t = ct_1 = \frac{c}{f_t} [c] \quad (1)$$

Основні параметри механічної системи представлені кутом повороту за імпульс α , положенням системи θ та швидкістю ω . Визначення наведених величин наведено у формулах 2-4 відповідно.

$$\alpha = \frac{2\pi}{N_{spr}} [\text{Рад}], \text{ де } N_{spr} - \text{кількість кроків на повний оберт.} \quad (2)$$

$$\theta = n\alpha [\text{Рад}], \text{ де } n - \text{кількість виконаних кроків} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{\alpha}{\delta t} [\text{Рад/с}]; 1 \text{ Рад/с} = 9,55 \text{ Об/хв} \quad (4)$$

Принциповий підхід до генерації швидкісного профілю. Лінійне прискорення двигуна використовується у багатьох галузях. Двигуни даного типу розвивають найбільший момент сили при найменших швидкостях обертання, а при поступовому нарощуванні швидкості обертання вібрації викликані перенавантаженням та резонансними швидкостями значно

зменшуються. До того ж, резонансні значення швидкостей можуть примусово бути уникнені програмно. Демонстрація відношення положення θ до прискорення $\dot{\omega}$ наведена нижче (рис. 3).

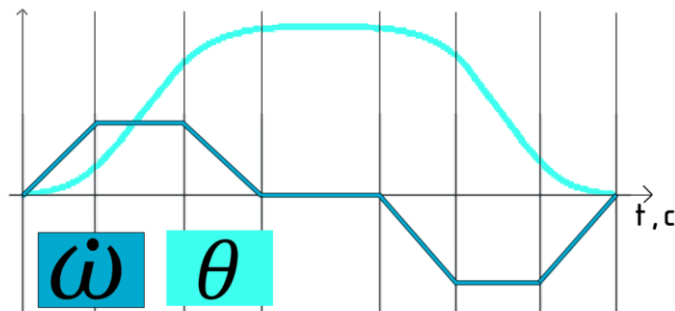


Рис. 3. Відношення положення та прискорення при лінійній акселерації

Проміжок часу δt між імпульсами крокового двигуна керує швидкістю обертання. Відповідні значення затримок між сигналами повинні бути обчислені для досягнення найбільшого наближення до бажаного швидкісного профілю. Необхідно зауважити, що мотор змінює положення дискретними кроками, а роздільна здатність часових затримок залежить від роздільної здатності (швидкості) системного таймеру.

Необхідні розрахунки. Затримка першого імпульсу c_0 задана формулою (5). Усі наступні значення затримок задані формулою (6).

$$c_0 = \frac{1}{t_t} \sqrt{\frac{2\alpha}{\dot{\omega}}} \quad (5)$$

$$c_n = c_0(\sqrt{n+1}) - \sqrt{n} \quad (6)$$

Рекомендується проводити апроксимацію для всіх формул, що включають квадратні корені, оскільки розглядаються системи реального часу на базі мікроконтролерів. Обчислення двох квадратних коренів перед кожним наступним кроком може значно збільшити мінімальний інтервал часу між імпульсами, що видає контролер. У нашому випадку пропонується використати формулу (7) з використанням ряду Тейлора, що потребує значно менше часу при обчисленні.

$$c_n = c_{n-1} - \frac{2c_{n-1}}{4n+1} \quad (7)$$

Використання такої формули створює похибку в 0.44 при $n = 1$. Для її компенсації необхідно помножити c_0 на 0,676.

Таким чином, на прискорення впливає значення c_0 та n . Розраховувати значення n необхідно після досягнення рівності між бажаною швидкістю та поточною (по завершенню прискорення). З розрахунків Д. Остіна доведене обернене відношення кількості кроків, необхідних для досягнення бажаної швидкості до значення прискорення (8).

$$n\dot{\omega} = \frac{\omega^2}{2\alpha} \quad (8)$$

Існуючий скінчений автомат. Існуючий автомат станів наведено нижче (рис. 4). Конфігурація передбачає мінімальний необхідний набір станів для керування системами крокових двигунів, проте не реалізує траєкторії швидкісних профілів з адаптивними швидкостями роботи. Тобто, такий автомат не передбачає роботу системи з варіативними наборами послідовних прискорень та сповільнень, а кожен профіль швидкості починається і закінчується на швидкості системи, рівній нулю.

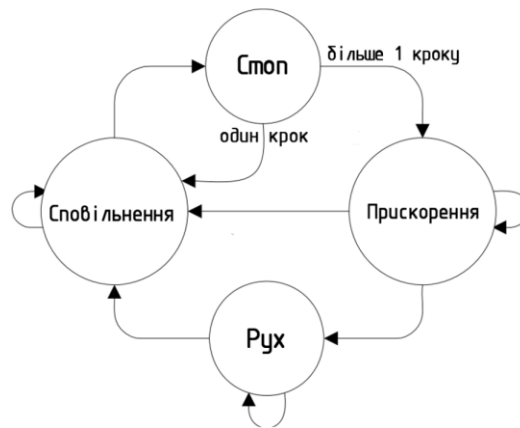


Рис. 4. Автомат станів для переривань

Коли стан системи встановлено у значення *Рух*, швидкість обертання крокового двигуна залишається сталою до початку сповільнення і тоді стан буде змінено на *Сповільнення*. Він не змінюватиме стан і уповільнюватиметься, поки швидкість не досягне нульового значення, після чого стан змінюється на *Стоп*.

Пропоноване вдосконалення. Розроблена в ході експериментально-виробничих досліджень модель скінченного автомату наведена нижче (рис. 5). Забезпечити реалізацію наведеного підходу пропонується створенням програмного засобу «Регулятор швидкості», що міститиме структуровані дані про поточний стан системи.

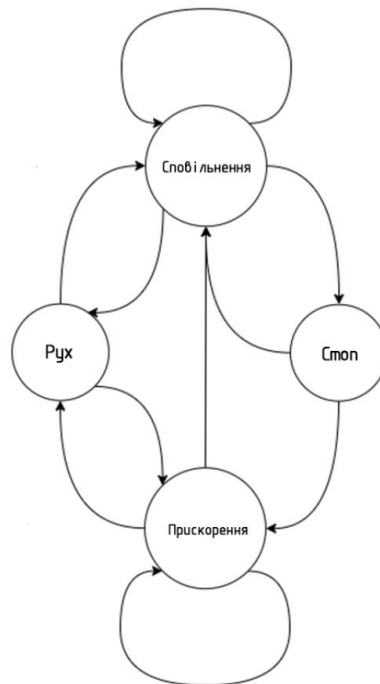


Рис. 5. Вдосконалена модель

При запуску системи або зупинці крокового двигуна автомат встановлює стан "*Стоп*". Після проведення ініціалізаційних обчислень Регулятором швидкості встановлюється новий стан системи і запускається таймер переривань. При переміщенні двигуна більш ніж на один крок автомат переходить у стан "*Прискорення*".

У разі необхідності здійснення всього одного кроку - встановлюється стан "Сповільнення". При активному стані "Прискорення" система забезпечить прискорення крокового двигуна, поки не буде досягнута бажана швидкість (стан зміниться на "Рух") або не наступить умова сповільнення (стан зміниться на "Сповільнення").

Стан "Стоп" може бути досягнутий лише при встановленні поточної швидкості руху двигунів 0. Для сценаріїв регулювання швидкості руху передбачаються переходи між станами "Рух" – "Прискорення" та "Сповільнення" – "Рух".

Пропонована структура програми. Включає три компонента розробки, кожен з яких є компонентом загального тракту даних. Інформація, отримана від суб'єкта керування за стандартизованим індустріальним протоколом, проходить необхідні модифікації для створення набору параметрів для зміни стану об'єкта керування. Структура системи наведена нижче (рис. 6).

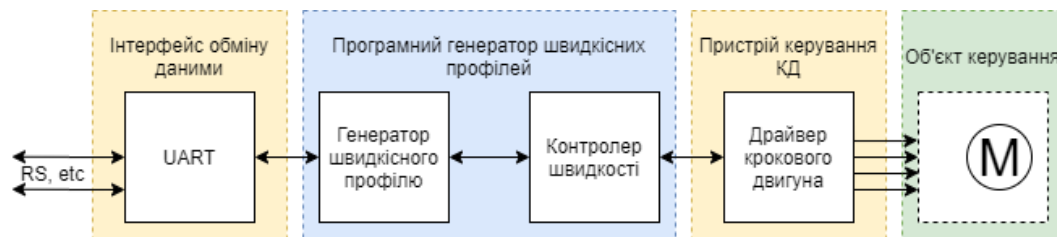


Рис. 6. Компонентна структура

В рамках предметного обговорення деталізується структура та склад підходу до програмної реалізації Генератора швидкісних профілів. Структурна схема для регулятора швидкості наведена нижче (рис. 7).

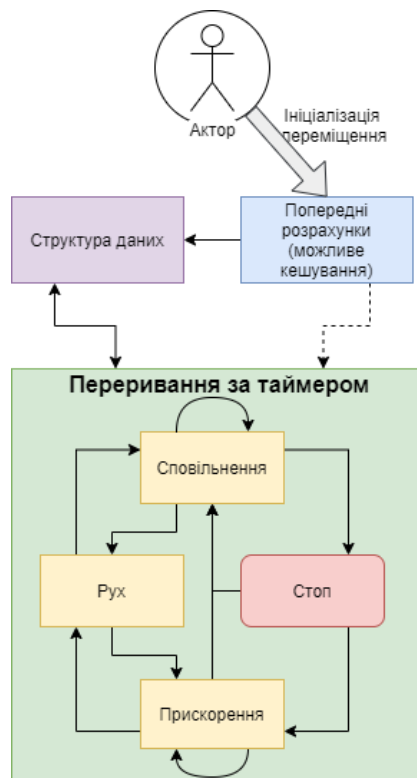


Рис. 7. Блок-діаграма регулятора

Контролер швидкості обчислює та формує профіль швидкості. Для запуску крокового двигуна контролер швидкості налаштовується за допомогою виклику функції ініціалізації переміщення. Після чого рекомендується обчислити або завантажити необхідні типові параметри системи і занести дані у структуру даних. Зберігання таких даних обов'язково повинно використовувати класифікатор зберігання у оперативному запам'ятовуючому пристрої.

Система реального часу, що використовує системні переривання, під час яких модифікуються дані, має уникати оптимізації коду і кожного разу перезавантажувати значення з структури даних. У разі невикористання такого підходу система втрачатиме дані, модифіковані під час переривання.

Всі необхідні параметри системи обчислюються під час ініціалізації і зберігаються у ОЗП для оптимізації часу відгуку системи.

Використання адаптивного таймеру з плаваючим часом спрацювання значно прискорює відгук системи під час зміни стану скінченного автомату.

Структура програмного перемикавання станів. Реалізація системного контролеру і перемикавання станів має відповідну структуру і умови переходу, наведені вище (рис. 5, 7). Псевдокод наведений нижче (табл. 1) демонструє всі необхідні обчислення за формулами та відповідне розташування таких обчислень у станах. У стані Сповільнення використана модифікована формула розрахунку затримки між імпульсами для зменшення часу на гальмування. При такому підході використовуване обладнання повинно бути конструктивно спроможним гасити більшу енергію за менший проміжок часу.

Таблиця 1. Загальна структура визначення стану системи (псевдокод)

<pre> case STOP: if (abs(stepMotors[i].targetPulsesPerSec) > 0) { stepMotors[i].currentState = ACCEL; break; } else if (stepMotors[i].targetPulsesPerSec == 1) { stepMotors[i].currentState = DECEL; break; } </pre>	<pre> case MOVE: if (stepMotors[i].currentPulsesPerSec < abs(stepMotors[i].targetPulsesPerSec)) { stepMotors[i].currentState = ACCEL; break; } else if (stepMotors[i].currentPulsesPerSec > abs(stepMotors[i].targetPulsesPerSec)) { stepMotors[i].currentState = DECEL; break; } </pre>
<pre> case ACCEL: stepMotors[i].n++; stepMotors[i].d = stepMotors[i].d - (2 * stepMotors[i].d) / (4 * stepMotors[i].n + 1); //(7) stepMotors[i].currentPulsesPerSec = 1000000 / stepMotors[i].d; if (stepMotors[i].currentPulsesPerSec == abs(stepMotors[i].targetPulsesPerSec)) { stepMotors[i].currentState = MOVE; break; } </pre>	<pre> case DECEL: stepMotors[i].n--; stepMotors[i].d = (stepMotors[i].d * (4 * stepMotors[i].n + 1)) / (4 * stepMotors[i].n + 1 - 2); stepMotors[i].currentPulsesPerSec = 1000000 / stepMotors[i].d; if (stepMotors[i].currentPulsesPerSec == 0) { stepMotors[i].currentState = STOP; break; } </pre>

<pre> } else (stepMotors[i].currentPulsesPerSec abs(stepMotors[i].targetPulsesPerSec)) { stepMotors[i].currentState = DECEL; break; } </pre>	<pre> if (stepMotors[i].currentPulsesPerSec > abs(stepMotors[i].targetPulsesPerSec)) { stepMotors[i].currentState = MOVE; break; } </pre>	<pre> else if <= { = } </pre>
---	---	--

Висновки. В результаті дослідження промислового обладнання керування системами кроковими двигунами було встановлено можливість використовувати вдосконалену систему. У порівнянні з типовою архітектурою скінченного автомату станів, наведена система створює можливість адаптивного керування для користувача і автоматичної системи. У разі використання додаткового обладнання контролю промислові системи зможуть визначити оптимальну швидкість проходження траєкторії і змінювати профіль швидкості роботи під час виконання робіт. Наведена модель може використовуватись за межами описаного прикладу. Загальний принцип адаптивної зміни швидкості без використання додаткових обчислень на стороні центрального керуючого блоку розподіляє навантаження на системи будь-якого масштабу.

Описані у даній статті технології та методи мають, на сьогоднішній день, практичну значимість і можуть застосовуватися у транспортних установах та підприємствах транспорту, а також у багатьох промислових об'єктах різного масштабу.

ЛІТЕРАТУРА

1. F.A. Toliyat, S.G. Campbell. (2016). DSP-based electromechanical motion control. CRC Press.
2. D. C. Hanselman. Minimum Torque Ripple, Maximum Efficiency Excitation of Brushless Permanent Magnet Motors. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 41, Issue: 3, pp. 292 – 300, Jun 2014.
3. M.Y. Stoychitch, Stepper Motor Linear Speed Profile // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 294, International Conference on Applied Sciences (ICAS2017) 10–12 May 2017, Hunedoara, Romania [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/294/1/012055/pdf>
4. Fauzi M. B. M. Step Motor Speed Controller: Submitted to Faculty of Electrical and Electronics Engineering in partial fulfillment of requirement for the degree of Bachelor in Electrical Engineering (Power System): Universiti Malaysia Pahang, Oct, 2010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://umpir .ump.edu.my/id/eprint/2088/1/Muhammad_Fauzi_Muain_\(CD_5326_\).pdf](http://umpir .ump.edu.my/id/eprint/2088/1/Muhammad_Fauzi_Muain_(CD_5326_).pdf)
5. Picatoste R. R. Modelling and Control of Stepper Motors for High Accuracy Positioning Systems Used in Radioactive Environmen: Universidad Politecnica de Madrid (2014) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://oa.upm.es/32464/1/tesis-Ricardo-Picatoste.pdf>
6. Розодюк М. П., Козак М. О. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Дослідження крокового двигуна". Вінниця: ВНТУ, 2018. 37 с.
7. Дмитриев С. Н., Бурмитских А. В. Реализация микрошагового режима управления двигателем с применением микроконтроллера // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярск [Електронний ресурс]. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013. Режим доступу: <http://www.pandia.ru/text/78/177/14982.php>.
8. Московець П. А. Дослідження електроприводів постійного струму з імпульсними перетворювачами напруги [Електронний ресурс]: реферат випускної роботи на зобуття освітнього рівня «магістр». Донецьк: ДонНТУ, 2014. Режим доступу: <http://masters.donntu.org/2013/etf/moskovets/diss/indexu.htm>.
9. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления: Пер. с англ. М: Энергоатомиздат, 1987. 200 с.
10. Миронов С.И., Поваляев В.П., Соломахин Г.В. Анализ методов структурного синтеза электропривода непосредственного действия // Электротехнические комплексы и системы управления. 2006. № 1. С. 14 – 16.
11. Виноградов А. Б., Чистосердов В. Л., Сибирцев А. Н. Частотно регулируемый электропривод переменного тока нового поколения // Привод и управление. 2000. № 1. С. 5 – 10.
12. Емельянов А.В., Шилин А.Н. Шаговые двигатели: учеб. пос. Волгоград: ВолгГТУ, 2005. 329 с.
13. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины: учебник для электротехн. спец. вузов., 2-е изд.: в 2-х ч. Ч.2. М.: Высшая школа, 1987. 335 с.
14. Логинов А., Фадеев И. Применение DSP микроконтроллеров в управлении вентильными двигателями без датчика положения ротора. *Электронные компоненты*. 2003. №4. С. 17 – 23.

15. Ратмиров В. А., Ивоботенко Б.А., Цаценкин В.К., Садовский Л.А. Системы с шаговыми двигателями. М.–Л.: Издательство «Энергия», 1964. 136 с.
16. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для вузов. М: Издательский центр «Академия», 2004. 305 с.
17. Дианов А. Микроконтроллеры для встраиваемых систем управления электроприводом. Серии «DashDSP» и «Mixed Signal DSP» фирмы Analog Devices. *Электронные компоненты*. 2003. №1. С. 27 – 38.
18. Векторное управление электродвигателем «на пальцах» [Электронный ресурс] // Хабр. 2016. – Режим доступа: https://habr.com/company/npf_vektor/blog/367653/.

REFERENCES

1. F.A. Toliyat, S.G. Campbell. (2016). DSP-based electromechanical motion control. CRC Press.
2. D. C. Hanselman. (2014). Minimum Torque Ripple, Maximum Efficiency Excitation of Brushless Permanent Magnet Motors // IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 41, Issue: 3, 292 – 300.
3. M. Y. Stoychitch, Stepper Motor Linear Speed Profile (2017) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 294, International Conference on Applied Sciences (ICAS2017), Hunedoara, Romania. – Retrieved from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/294/1/012055/pdf>
4. Fauzi M. B. M. (2010). Step Motor Speed Controller: Submitted to Faculty of Electrical and Electronics Engineering in partial fulfillment of requirement for the degree of Bachelor in Electrical Engineering (Power System): Universiti Malaysia Pahang. – Retrieved from: [http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/2088/1/Muhammad_Fauzi_Muain_\(CD_5326_\).pdf](http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/2088/1/Muhammad_Fauzi_Muain_(CD_5326_).pdf)
5. Picatoste R. R. Modelling and Control of Stepper Motors for High Accuracy Positioning Systems Used in Radioactive Environmen: Universidad Politecnica de Madrid (2014) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://oa.upm.es/32464/1/tesis-Ricardo-Picatoste.pdf>
6. Rozodyuk M. P. (2018). Metody`chni v`kazivky` do vy`konannya laboratornoi roboty` z dy`scy`plyny` "Doslidzhennya krokovogo dy`guna" [Methodical instructions for laboratory work in the discipline "Research of stepper motor"]. Vinny`cya: VNTU [in Ukrainian].
7. Dmitriev S. N. (2013). Realizacziya mikroshagovogo rezhima upravleniya dvigatelem s primeneniem mikrokontrollera [Implementation of the microstepping mode of motor control using a microcontroller]. S. N. Dmitriev, A. V. Burmitskikh. Molodezh` i nauka: sbornik materialov IKh Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferenczii studentov, aspirantov i molody`kh ucheny`kh s mezhdunarodny`m uchastiem, posvyashhennoj 385-letiyu so dnya osnovaniya g. Krasnoyarska. Krasnoyarsk: Sibirskij federal`ny`j un-t. – Retrieved from: <http://www.pandia.ru/text/78/177/14982.php>. [in Russian].
8. Moskovecz` P. A. (2014). Doslidzhennya elektropry`vodiv postijnogo strumu z impul`sny`my` peretvoryuvachamy` naprugy` [Investigation of DC electric drives with pulse voltage converters]: referat vy`pusknoi roboty` na zobuttya osvith`ogo rivnya «magistr» / P. A. Moskovecz`. Donecz`k: DonNTU. – Retrieved from: <http://masters.donntu.org/2013/etf/moskovets/diss/indexu.htm>. [in Ukrainian].
9. Kenio T. (1987). Shagovy`e dvigateli i ikh mikroproczessorny`e sistemy` upravleniya [Stepper motors and their microprocessor control systems]: Per. s angl. – M: E`nergoatomizdat. [in Russian].
10. Mironov S.I. (2006). Analiz metodov struktornogo sinteza e`lektroprivoda neposredstvennogo dejstviya [Analysis of methods for structural synthesis of a direct-acting electric drive]. E`lektrotehnicheskie komplekxy` i sistemy` upravleniya. # 1. [in Russian].
11. Vinogradov A. B. (2000). Chastotno reguliruemyj` e`lektroprivod peremennogo toka novogo pokoleniya [New Generation Variable Frequency AC Drive]. Privod i upravlenie. # 1. [in Russian].
12. Emel`yanov A.V. (2005). Shagovy`e dvigateli [Stepper motors]: ucheb. pos. A.V. Emel`yanov, A.N. Shilin. Volgograd: VolgGTU. [in Russian].
13. Bruskin D.E. (1987). Elektricheskie mashiny [Electric machines]: uchebnik dlya elektrotehn. spets. vuzov., 2-e izd.: v 2-h ch. Ch.2. D.E. Bruskin, A.E. Zorohovich, B.C. Hvastov. M.: Vysshaya shkola. [in Russian].
14. Loginov A. (2003). Primenenie DSP mikrokontrollerov v upravlenii ventilnyimi dvigatelyami bez datchika polozheniya rotora [Application of DSP microcontrollers in control of valve motors without rotor position sensor]. A. Loginov, I. Fadeev. Elektronnyie komponentyi. # 4. [in Russian].
15. Ratmirov V. A. (1964). Sistemy s shagovyimi dvigatelyami [Stepper Motor Systems] V.A. Ratmirov, B.A. Ivobotenko, V.K. Tsatsenkin, L.A. Sadovskiy. M.–L.: Izdatelstvo «Energiya». [in Russian].
16. Belov M.P. (2004). Avtomatizirovannyi elektropriwod tipovyih proizvodstvennyih mehanizmov i tehnologicheskikh kompleksov [Automated electric drive of standard production mechanisms and technological complexes]: uchebnik dlya vuzov. M: Izdatelskiy tsentr «Akademiya». [in Russian].
17. Dianov A. (2003). Mikrokontrollery dlya vstraivaemyih sistem upravleniya elektroprivodom. Serii «DashDSP» i «Mixed Signal DSP» firmyi Analog Devices [Microcontrollers for embedded electric drive control systems. Analog Devices "DashDSP" and "Mixed Signal DSP" Series]. Elektronnyie komponentyi. # 1. [in Russian].
18. Vektornoe upravlenie elektrodvigatелем «na paltsah» (2016). [Vector control of the electric motor "on the fingers"]. Habr. – Retrieved from: https://habr.com/company/npf_vektor/blog/367653/. [in Russian]

Проваторов Никита

(магістрант кафедри інформаційних технологій і дизайну, ГУИТ)

Овчарук Ирина, к.т.н., доцент

(доцент кафедри інформаційних технологій і дизайну, ГУИТ)

ГЕНЕРАЦИЯ ПРОФИЛЕЙ СКОРОСТИ ШАГОВИХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В данной статье предлагается рассмотреть усовершенствованную модель программного скоростного контроллера, который осуществляет управление импульсным драйвером шагового двигателя. На основе существующих исследований и корпоративных решений при проведении производственной разработки экспериментально используется адаптивный дизайн автомата состояний системы, что дает возможность варьировать скорость вращения шагового электродвигателя во время работы системы в реальном времени.

Ключевые слова: шаговый двигатель, профиль скорости, конечный автомат, линейное ускорение, контроллер скорости, импульсный драйвер.

Nikita Provatorov

(Master`s Degree Candidate of Department of Informational Technologies and Design)

Irina Ovcharuk, Candidate of Engineering Science, Associate Professor

(Associate Professor of Department of Informational Technologies and Design)

STEPPER MOTOR SPEED PROFILE GENERATION IN REAL-TIME SYSTEMS

With the development and distribution of embedded control systems for industrial and household equipment, the generation of speed trajectories for systems controlled by motors, other rotary mechanisms and units remains an urgent task. Adjusting the acceleration profile improves the quality of the system, and the use of adaptive design of automatic controls theoretically increases the speed of work. Implementation of compulsory software control of the speed profile or its automatic generation, according to the current parameters of the system, reduces the risks associated with the human factor and protects the system from operator inaccuracy. Reducing the factor of undesirable interference and creating a model of controlled environment increases the level of production safety, therefore, improving and modernizing the existing approach to managing high-speed industrial systems is a necessary condition for its further development. This article proposes to consider an improved model of a software speed controller that controls the pulse driver of a stepper motor. Based on existing research and corporate solutions during production development used experimentally the adaptive design of the state machine of the system, makes it possible to vary the speed of rotation of the stepper motor during the operation of the system in real time.

Keywords: stepper motor, speed profile, state machine, linear acceleration, speed controller, pulse driver.

УДК 629.45.02(477)

Мартинов І. Е., д.т.н.

(професор кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

Труфанова А. В., к.т.н.

(доцент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

Петухов В. М., к.т.н.

(доцент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

Сергієнко М.О.

(аспірант кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ СПРАЦЮВАННЯ НЕСУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

У статті розглянуті питання аналізу закономірностей спрацювання несучих елементів кузовів пасажирських вагонів. Парк пасажирських вагонів в основному складають моделі, розроблені та виготовлені у 70-90 роки минулого століття на вагонобудівних заводах Німеччини та Росії. Вони застаріли як морально, так і фізично. Проведено порівняльний аналіз величини та характеру спрацювання конструктивних елементів як вагонів купейного так і вагонів відкритого типу. Результати дослідження дали змогу розглянути питання подальшого використання пасажирських вагонів, які найбільш уражені корозією.

***Ключові слова:** пасажирський вагон, спрацювання, рухомий склад; корозія, інвентарний парк, технічний стан.*

Вступ. У будь-якій транспортній системі велике значення надається визначенню оптимального терміну служби транспортних засобів та елементів інфраструктури. Від їх віку залежать техніко-економічні та екологічні показники транспорту, ступінь надійності та безпеки руху. У теперішній час рівень розвитку технічних засобів і технології ремонту та відновлення рухомого складу збільшується швидкими темпами. Це дозволяє подовжити термін служби пасажирських вагонів, які експлуатуються на залізницях України.

У теперішній час на європейських залізницях середній вік пасажирського рухомого складу становить в основному 20-30 років, а на українських – понад 30 років. Згідно з даними філії «Пасажирська компанія» АТ «Укрзалізниця» в 2020 р. інвентарний парк становить майже 5 тис. вагонів, з яких більшість вагонів відпрацювала свій призначений термін служби. В результаті на теперішній день знос парку пасажирських вагонів наближається до 90 %.

Переважна частина парку пасажирських вагонів була збудована у 70-80 роки минулого століття на вагонобудівних заводах Німеччини та Російської Федерації. Через постійну нестачу фінансування парк пасажирських вагонів АТ «Укрзалізниця» оновлювався незначними темпами. З кожним роком вагонний парк зношується і старіє. Це зменшує конкурентоспроможність залізниць, що негативно впливає на обсяги перевезень пасажирів. Природно, що пасажирські вагони повинні не лише створювати необхідний рівень комфорту, а забезпечувати безпеку руху та високу

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-8

надійність в експлуатації. Тому дослідження закономірностей спрацювання несучих елементів рами та кузова пасажирських вагонів досить актуальні.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Аналізу результатів дослідження технічного стану пасажирських вагонів присвячено ряд публікацій як в нашій країні, так і за її межами. В статті [1] фахівцями кафедри "Вагони та вагонне господарство" ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна наведені результати комплексного дослідження міцності та залишкового ресурсу кузовів пасажирських вагонів з локальними корозійними пошкодженнями хребтової балки за напрямками визначення структури і механічних властивостей матеріалу, його хімічного складу.

І. О. Вакуленко, В. Г. Анофрієв [2] розглянули результати використання для виготовлення залізничних вагонів низьколегованих сталей з підвищеною міцністю після різноманітних варіантів термомеханічної обробки.

Б. Я. Остапюк в роботі [3] розглядав питання удосконалення системи ремонту пасажирських вагонів після продовження терміну їх експлуатації. Аналізуючи результати теоретичних та економічних розрахунків, статистичних результатів обстеження технічного стану вагонів, автором запропоновано декілька варіантів подовження терміну експлуатації пасажирських вагонів, де критерієм вибору доцільного варіанта є мінімізація сумарних витрат на додатковий життєвий цикл вагона.

Так, у статті [4] проаналізовано технічний стан пасажирського рухомого складу, запропоновані напрямки як технічної, так інвестиційної діяльності щодо забезпечення надійної роботи вагонів. В публікаціях [5, 6] наведені результати аналізу величини зносів та пошкоджень вагонів в експлуатації. В роботі [7] висвітлені результати досліджень залишкового ресурсу несучих конструкцій. Науково-технічне обґрунтування продовження терміну служби пасажирських вагонів після КВР розглянуті в роботі [8].

В статті [9] подано результати повномасштабних випробувань рами пасажирського вагону методом здавлювання, які проводилися з метою підвищення безпеки руху аварійних зіткненнях шляхом розробки конструкцій поглиначів первинної енергії.

У публікації [10] представлений аналіз напружень базової рами і рами кузова вагону з наступною оптимізацією конструкції. Аналіз проводився чисельно з використанням методу скінчених елементів. Спочатку виконувалося геометричне моделювання та побудова скінчено-елементної моделі, після чого були застосовані навантаження та встановлені граничні умови.

У статті [10] висвітлювалися питання аналізу результатів дослідження міцності кузова вагона. Кузов вагона складався із сталевих елементів, який у подальшому був перетворений в алюмінієву конструкцію. Адекватність запропонованої розрахункової скінчено-елементної моделі підтверджена шляхом порівняння з вимірами деформації і експериментальною оцінкою власних частот коливань кузова. В результаті були отримані характеристики зміни матеріалу конструкції.

Різнманітні аспекти визначення міцності пасажирських вагонів за допомогою методу скінчених елементів викладені в статтях [11, 12]. Особливості запропонованих скінчено-елементних моделей кузовів вагонів викладено у [13-15].

Слід зазначити, що майже всі проаналізовані роботи спрямовані на дослідження впливу величини зносу на міцність несучих конструкцій рам та кузовів пасажирських вагонів та обґрунтування можливості продовження ресурсу вагонів. Поза увагою дослідників залишились питання аналізу характеру та закономірностей розподілу спрацювання у вагонів різних виробників та терміну служби.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є аналіз закономірностей спрацювання несучих конструкцій рам та кузовів пасажирських вагонів різних років побудови та різних виробників.

Матеріали та методи дослідження. На даному етапі вивчення спрацювання рам та кузовів пасажирських вагонів розглядалися вагони, що перевищили нормативний термін служби (28 років) та у яких був подовжений термін експлуатації. Вони були розбиті на три умовні групи: вагони з терміном експлуатації 35-40 років, 41-45 років та понад 45 років. Вимірювання величини зносів проводилися фахівцями ДП УкрНДІВ в рамках співробітництва з АТ Укрзалізниця [17]. У наведеному матеріалі представлені ілюстрації найбільш характерних

розподілень спрацювань елементів пасажирських вагонів. Під час обробки використовувалися відомі пакети програм для статистичної обробки даних Microsoft Excel та Statistica. При цьому порівнювалися номінальні значення товщини конструктивних елементів вагону та фактичні значення товщини з урахуванням величини зносу.

Хребтова балка. У пасажирських вагонах вимірювання величини зносу хребтової балки проводилися по всіх зазначених точках (рис 1, а;б) як з котлової, так і з некотлової сторони вагону. Максимальне значення спрацювання хребтової балки у вагонах купейного типу з котлової сторони вагону дорівнювало у точці 1 – 4 мм. Це у 2,8 рази перевищувало відповідне значення у некотлової сторони.



Рис. 1. Схема проведення вимірювань хребтової балки

Також досить значна максимальна величина спрацювання в точці 01 – 2,8 мм та 3,1 мм відповідно.

Отримана максимальна різниця у величині спрацювання по різних сторонах хребтової балки у точці 2 та 02 з котлової сторони вагону дорівнює близько 67 %, та у точці 1 та 01 – 32 %. З некотлової сторони вагону різниця у спрацюванні майже однакова і знаходиться в межах 20 %. Найменша величина спрацювання спостерігалася у точці 4 – 0,08 мм, а різниця по сторонах вагону складала близько 9 %.

Найбільш наочно подано аналіз характеру розподілу спрацювання на (рис. 2, а). Очевидно, що переважна більшість пошкоджень хребтової балки згрупована у діапазоні від 0 до 0,4 мм.

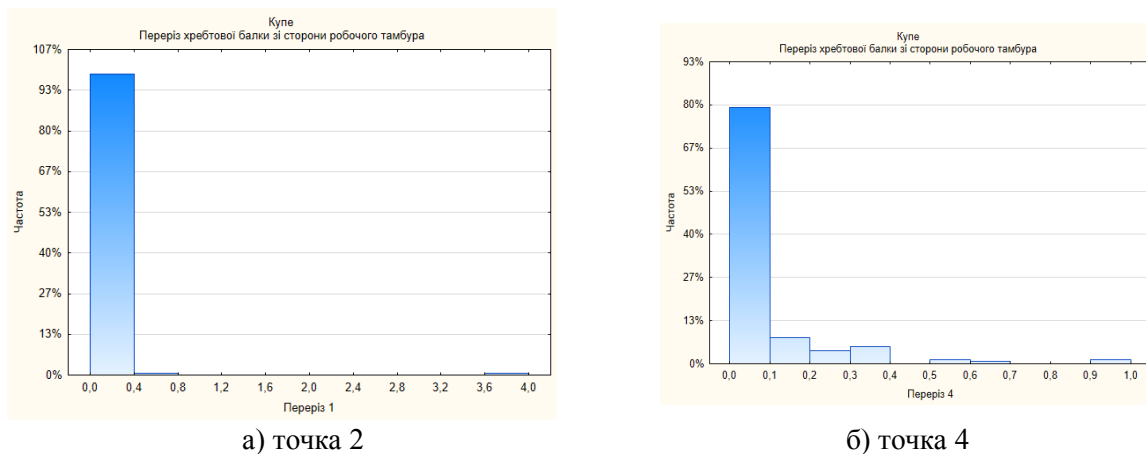


Рис. 2. Розподіл спрацювання у хребтовій балці купейного вагона

З деякими незначними відмінностями подібне розподілення повторюється в інших точках. Найбільш характерним є розподіл у точці 4 (рис. 2, б). Але знову ж таки переважна більшість значень спрацювання не перевищує 0,4 мм.

Становить інтерес розподілення спрацювання у вагонів різних років побудови. Найбільша інтенсивність нарощування спрацювання характерна для вагонів, термін служби яких перевищив 40 років.

Якщо порівняти між собою величину спрацювання у вагонів, які мають термін служби до 35 років та 35-40 років, то у останніх ця величина в середньому збільшується в 2,5 рази. Аналогічне порівняння для вагонів, які мають термін служби 35-40 років та понад 40 років, свідчить про збільшення у 3,3 рази.

Для хребтової балки вагону відкритого типу, перетин якої та схема вимірювання подано на (рис. 1, б), характер розподілу спрацювання суттєво відрізняється від наведених вище результатів для вагонів купейного типу.

Так, на рис. 3, а наведено розподілення спрацювання у точці 1. Очевидно, що воно має більш рівномірний характер.

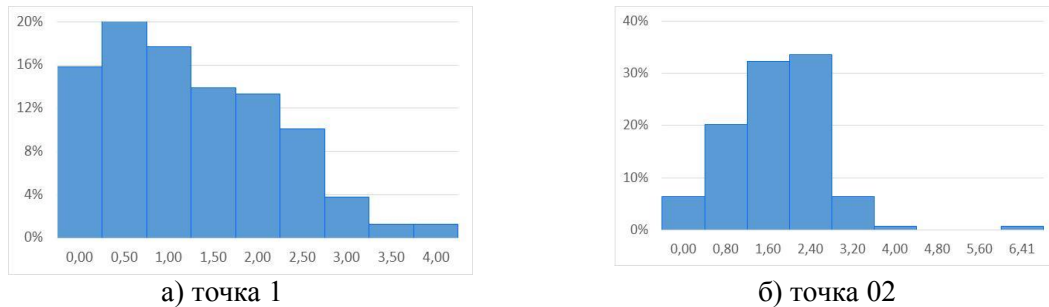


Рис. 3. Розподіл спрацювання у хребтовій балці вагону відкритого типу

Максимальне значення спрацювання було виявлено з некотлової сторони вагону у точці 02 і дорівнювало 6,4 мм, що вдвічі більше відповідного значення з котлової сторони вагону. Взагалі розподілення спрацювання у вагонів відкритого типу у всіх точках вимірювання є більш рівномірним, а у деяких випадках наближається до нормального (рис. 3, б).

Максимальні значення спрацювання спостерігалися в точках 1 та 01 з котлової сторони – 4 та 3,8 мм, а з некотлової – відповідно 4,6 та 6 мм. Мінімальна величина спрацювання зафіксована у точці 4 – 0,5 мм.

Математичне очікування величини спрацювання має незначний розкид та коливається в межах 1 мм у всіх точках вимірювання. Це характерно як для правої, так і лівої сторони хребтової балки. Фактично теж саме можна сказати про різницю між котловою та некотловою сторонами вагону.

Очікувано максимальні значення спрацювання спостерігалися у вагонів з терміном служби понад 40 років. В той же час інтенсивність нарощування спрацювання суттєво відрізняється від вагонів купейного типу. Так, якщо середня величина спрацювання між вагонами терміном служби до 35 та 35-40 років збільшилась в середньому 1,35 рази, то для наступної вікової групи інтенсивність спрацювання навіть зменшувалась і складала 1,06 рази.

Шворнева балка. Схема вимірювання величини зносу шворневої балки подана на (рис. 4).



Рис. 4. Схема проведення вимірювань шворневої та кінцевої балки

У вагонів купейного типу максимальне значення спрацювання було виявлено у точці 3 і дорівнювало 3,7 мм як з котлової, так і некотлової сторони вагону. Математичне очікування зносу незначне: практично по кожній точці воно знаходилося в межах 0,12-0,17 мм (за виключенням точки один з котлової сторони (0,29 мм)).

Характер розподілення спрацювання є однаковим практично по всіх точках вимірювання (рис. 5, а). Середня величина спрацювання між вагонами терміном служби до 35 та 35-40 років збільшилась в середньому 2,6 рази. У подальшому інтенсивність спрацювання зменшується. Порівняння отриманих результатів свідчить, що в середньому у вагонів віком 35-40 років та понад 40 років вона однакова.

У вагонів відкритого типу максимальне значення спрацювання також було виявлено у точці 3 з і дорівнювало 6,9 мм як з котлової, так і некотлової сторони вагону. Математичне очікування зносу незначне: практично по кожній точці воно знаходилося в межах 0,12-0,17 мм (за виключенням точки один з котлової сторони – 0,29 мм).

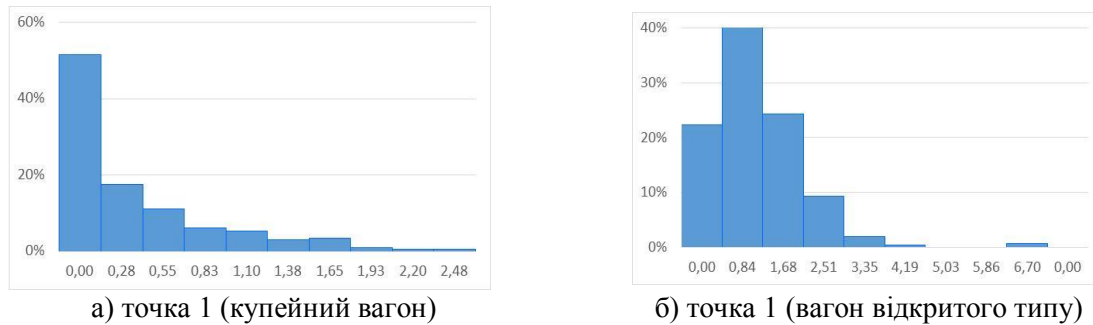


Рис. 5. Розподіл спрацювання шворневої балки у точці 1

Розподілення спрацювання є однаковим практично по всіх точках вимірювання і подібне аналогічному розподіленню для вагонів купейного типу. Лише в точці 1 розподілення наближається до нормального (рис. 5, б).

Різниця між спрацюванням з котлової та некотлової сторони вагону практично відсутня.

Максимальні значення спрацювання спостерігалися у вагонів з терміном служби понад 40 років. Інтенсивність нарощування спрацювання практично не відрізняється від аналогічних показників купейних вагонів.

Кінцева балка. Схема вимірювання величини зносу кінцевої балки подана на (рис. 4, б).

У вагонів купейного типу максимальне значення спрацювання було виявлено з котлової сторони вагона у точці 2 і дорівнювало 5,7 мм. З некотлової сторони відповідне значення менше у 2,5 рази. При цьому математичне очікування спрацювання у точці 2 як з котлової, так і з некотлової сторони було майже однакове, але перевищувало рівень спрацювання у точках 1 та 3 у 2-3 рази.

Розподілення спрацювання по всіх точках кінцевої балки має практично однаковий характер розподілення (рис. 6, а) та не має принципової різниці між котловою та некотловою сторонами.

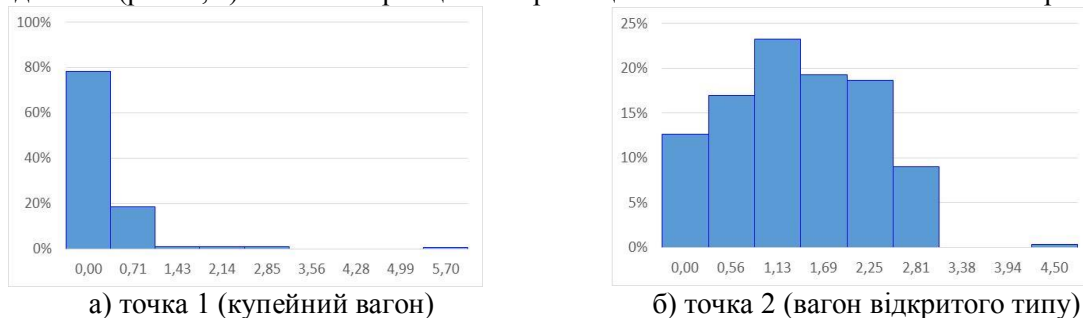


Рис. 6. Розподіл спрацювання кінцевої балки

У вагонів відкритого типу максимальне значення спрацювання було виявлено з котлової сторони вагону у точці 2 і дорівнювало 4,5 мм. З некотлової сторони відповідне значення менше у 1,5 рази.

Як і у вагонів купейного типу, математичне очікування спрацювання приймає найбільші значення у точці 2 як з котлової, так і з некотлової сторони (1,11 мм). Аналогічно ці значення суттєво перевищувало рівень спрацювання у точках 1 та 3 у 2,5-4 рази.

Розподілення спрацювання по всіх точках кінцевої балки вагонів відкритого типу співпадає з аналогічним розподіленням для вагонів купейного типу лише в точці 3. В точці 2 розподілення досить сильно відрізняється від аналогічних значень для вагонів купейного типу (рис. 6, б) та наближається до рівномірного.

Настил підлоги. Схема вимірювання величини зносу настилу підлоги подана на (рис. 7).

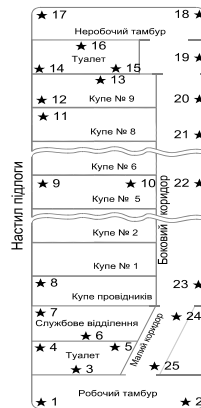


Рис. 7. Схема проведення вимірювань настилу підлоги

У вагонів купейного типу максимальне значення спрацювання було виявлено у містах туалету неробочої сторони вагону точки 14-16 та у котловому відділенні точки 24-25 і дорівнювало 1,6-1,7 мм. Також досить значні пошкодження у містах туалету з робочої сторони у точках 3 та 5 (1,6 мм).

Математичне очікування спрацювання майже однаково по всім точкам вимірювання і складає 0,19 мм. Лише у точках 8-11 воно перевищує середні значення у 1,5 рази. А з робочої сторони вагону у точках 1, 2 ці значення навіть менше за середніх.

Характер розподілення спрацювання суттєво відрізняється по всіх точках вимірювання. В обох сторонах вагону у точках 1, 2, 17, 18 складає 50 % пошкоджень, що не перевищують 0,2 мм (рис. 8, а).

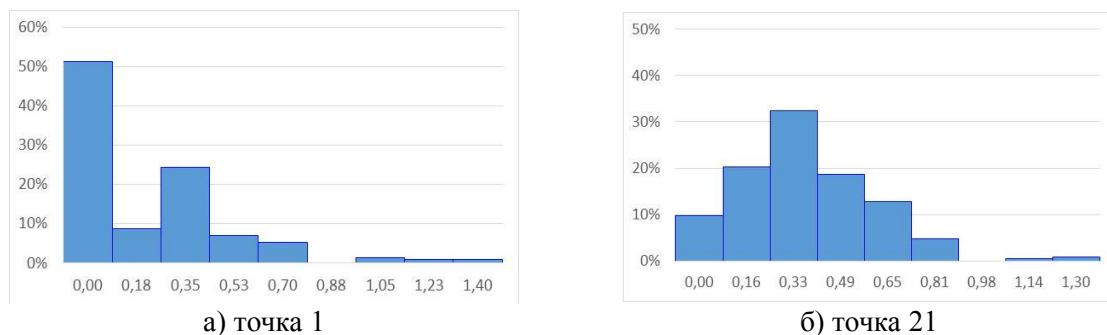


Рис. 8. Розподіл спрацювання настилу підлоги (купейний вагон)

В той же час в містах купе у точках точки 8-11 та уздовж проходу у точках 20-23 розподілення наближається до нормального (рис. 8, б).

Якщо порівнювати значення спрацювання у вагонів різних вікових груп, то визначено, що як максимальні значення, так і математичне очікування величини спрацювання у вагонів з

терміном служби за 40 років вдвічі перевищує аналогічні показник вагонів з терміном служби до 35 років.

У вагонів відкритого типу максимальне значення спрацювання також було виявлено у містах туалету неробочої сторони у точках 14-16 дорівнювало 1,6-1,7 мм. Також досить значні пошкодження у містах туалету з робочої сторони у точках 3-5 – 1,7-1,9 мм. Теж саме можна стверджувати про математичне очікування величин спрацювання: саме в зазначених вище точках вони максимальні.

Ще одним вразливим місцем є тамбур неробочої сторони, де у точці 17 максимальне значення спрацювання склало 3,1 мм. Це вдвічі більше ніж відповідні значення для тамбура робочої сторони вагону. Така ж картина характерна і для величин математичного очікування.

Значення спрацювання підлоги по містах купе (точки 8-11) практично не відрізняються і коливаються близько 1 мм за виключенням останнього купе (точки 12-13), де відповідні значення більше на 70 %.

Характер розподілення спрацювання також суттєво відрізняється по всіх точках вимірювання. На (рис. 9, а) наведено розподілення спрацювання у точці 1 (робочий тамбур), (Рис. 9, б) – у точці 24 (котельне відділення).

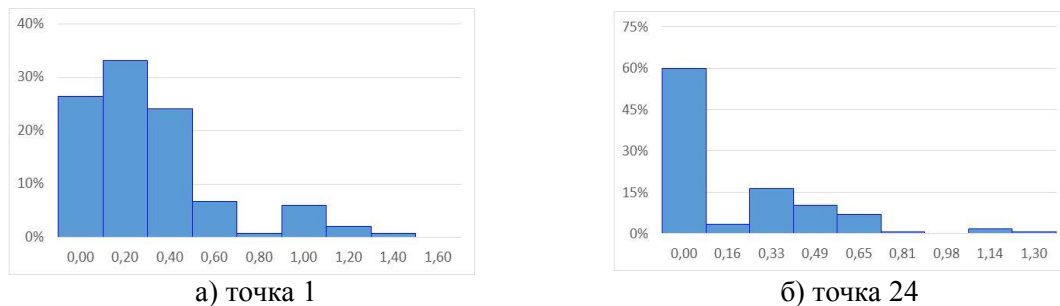


Рис. 9. Розподіл спрацювання настилу підлоги (вагон відкритого типу)

Очевидно, що характер спрацювання носить більш рівномірний характер. Подібна картина спостерігається у точках 2, 17, 18.

Розподіл спрацювання по купе та по проході носить досить суперечливий характер. Якщо в купе провідників та в купе з першого по восьме переважна більшість пошкоджень зосереджена в діапазоні до 0,3 мм (рис. 10, а), то в останньому купе та туалеті з неробочої сторони розподілення більш рівномірне (рис. 10, б).

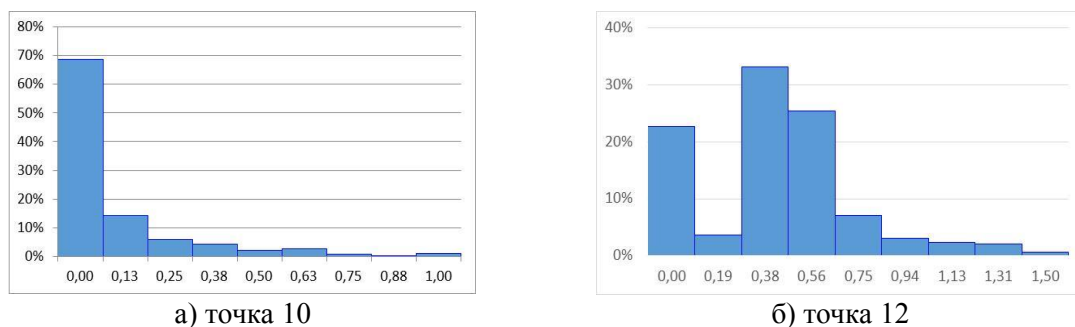


Рис. 10. Розподіл спрацювання настилу підлоги (вагон відкритого типу)

Аналогічна картина розподілення спостерігається у точках вимірювання по проході: напроти туалету та останнього купе (точки 19-20) воно співпадає з розподілення у точках 12-16, то у точках вимірювання по проході (21-23) – аналогічно розподіленню у точках 8-11.

Порівняння значення спрацювання у вагонів різних вікових груп свідчить, що

співвідношення як максимальних значень, так і математичного очікування величини спрацювання у вагонів з терміном служби за 40 років вдвічі перевищує аналогічні показники вагонів з терміном служби до 35 років. Це співпадає з отриманими результатами для вагонів купейного типу.

Висновки. Виконано порівняльний аналіз величини та характеру спрацювання деяких несучих елементів пасажирських вагонів з подовженим терміном служби. Оскільки конструкція хребтової та шворневої балки вагонів є симетричною, досліджувалось спрацювання конструкції по обох сторонах від осі симетрії.

При аналізі всіх зазначених несучих елементів враховувались зноси як з котлової, так і некотлової сторони вагону.

Показано, що існує значна різниця у величині та характеру спрацювання несучих елементів між вагонами купейного та відкритого типу. Як з'ясувалося, вагони купейного типу менше схильні до пошкоджень.

Отримані результати на даному етапі досліджень дали можливість визначити характер спрацювання певних елементів несучих конструкцій пасажирського вагону. У подальшому доцільним є проведення аналогічного дослідження стосовно елементів обшивки пасажирського вагону. Також практичний інтерес являє визначення законів розподілення спрацювання за допомогою методів статистичного аналізу. Це дасть можливість роботи прогнози на подальше зменшення залишкового ресурсу пасажирських вагонів та більш ефективно планувати заходи по відновленню працездатності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рейдемейстер О. Г., Пуларія А. Л., Грічаний М. А., Міцність та залишковий ресурс кузовів пасажирських вагонів з локальними корозійними пошкодженнями хребтової балки. Проблеми та перспективи розвитку залізн. трансп. (15.05-16.05.2014) : тези 74 Міжнар. наук.-практ. конф., Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. - Дніпропетровськ, 2014. С. 86-87.
2. Вакулєнко І. О., Анофрієв В. Г., Металеві матеріали з підвищеною міцністю для виготовлення вагонів. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*, Дніпропетровськ, 2011. Вип. 37. С. 216-219.
3. Остапюк Б. Я., Подовження терміну експлуатації пасажирських вагонів. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*, Дніпропетровськ, 2004. Вип. 4. С. 165-173.
4. Божок Н. О., Булгакова Ю. В., Пуларія А. Л., Дослідження сучасного стану парку пасажирських вагонів. *Збірник наукових праць Дніпропетр. Нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту»*, 2014. вип. 8. С. 78-87.
5. Мартинов І. Е., Труфанова А. В., Павленко Ю. С., Сергієнко М. О., Аналіз технічного стану кузовів пасажирських вагонів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. *Транспортне машинобудування*. Х. НТУ «ХПІ», 2018, № 45 (1321), С. 41-46.
6. Шикунів О. А., Рейдемейстер О. Г., Анофрієв В. Г., [та ін.], Дослідження граничного стану пасажирських вагонів, *Вагонний парк*, 2012, № 12, С. 4-6.
7. Пуларія А.Л., Лобойко Л.М., Грічаний М.А., Визначення міцносних якостей кузова пасажирського вагона після КВР, *Збірник наукових праць ДонІЗТ*, 2008, вип. 13, С. 107-111.
8. Мямлін С.В., Рейдемейстер О. Г., Калашник В. О., Науково-технічне обґрунтування продовження терміну служби пасажирських вагонів після КВР. *Вагонний парк*, 2015, №11-12, С. 104-105, С. 4-7.
9. Ronald A., Mayville, Kent N., Johnson Richard G., Stringfellow David C. Tyrell. The development of a rail passenger coach car crush zone. Proceedings of the 2003 IEEE/ASME Joint Rail Conference April 22-24, 2003 Chicago, Illinois.
10. Suweca I. W., Johan Aliabudi Yahya, On the optimization of Kereta Kapsul's base frame structure. Computer Science. International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD) IEEE 2018. Date Added to IEEE Xplore: 11 June 2018.
11. Kobishanov V.V., Lozbinev V.P., Sakalo V.I., Antipin D.Y., Shorohov S.G., Vysocky A.M., Passenger Car Safety Prediction. *World Applied Sciences Journal*, 2013, № 24, С. 208-212.
12. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdog S. E., Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. Intern. Iron & Steel Symposium (02.04-04.04.2012), Karabük University. – Istanbul, 2012, P. 579-586.
13. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdog E., Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness. Intern. J. of Crashworthiness. London, 2011, Vol. 16. Iss. 3.P. 319-329.doi: 10.1080/13588265.2011.566475.
14. Xue X., Smith R. A., Schimd F., Analysis of crush behaviors of a rail cab car and structural modifications for improved crashworthiness *International Journal of Crashworthiness*, 2005, 10 (2), P. 125-136.

15. Kirkpatrick S. W., Schroeder M., Simons J. W., Evaluation of passenger rail vehicle crashworthiness, International Journal of Crashworthiness, 2001, 6 (1), P. 95-106.

16. ДСТУ 7774:2015 Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Загальнотехнічні норми для розрахування та проектування механічної частини вагонів, УкрНДІВ, від 22.06.2015 № 61.

17. Донченко А. В., Троцький М. В., Холод Ю. О. [та ін.], Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження ЦЛІ-0070, УкрНДІВ, Київ, 2008, С. 63.

REFERENCES

1. Rejdemejster O. G., Pulariya A. L., Grichanij M. A. (2014). *Micnist ta zalishkovij resurs kuzoviv pasazhirskih vagoniv z lokalnimi korozijnimi poshkodzhenniyami hrebtovoyi balki. Problemi ta perspektivi rozvitku zalozn. transp.* (15.05-16.05.2014) : tezi [74 Mizhnar. nauk.-prakt. konf., Dnipropetr. nac. un-t zalozn. transp.] - Dnipropetrovsk, 86-87.

2. Vakulenko I. O., Anofriyev V. G. (2011). *Metalevi materiali z pidvishenoyu micnistyu dlya vigotovlennya vagoniv* [Visn. Dnipropetr. nac. un-tu zalozn. transp. im. akad. V. Lazaryana, Dnipropetrovsk], 37, 216-219.

3. Ostapyuk B. Ya. (2004). *Podovzhennya terminu ekspluatatsiyi pasazhirskih vagoniv* [Visn. Dnipropetr. nac. un-tu zalozn. transp. im. akad. V. Lazaryana], Dnipropetrovsk, 4, 165-173.

4. Bozhok N. O., Bulgakova Yu. V., Pulariya A. L. (2014). *Doslidzhennya suchasnogo stanu parku pasazhirskih vagoniv* [Zbirnik naukovih prac Dnipropetr. Nac. un-tu zalozn. transp. im. akad. V. Lazaryana «Problemi ekonomiki transportu»], 8, 78-87.

5. Martinov I. E., Trufanova A. V., Pavlenko Yu. S., Sergiyenko M. O. (2018). *Analiz tehnicnogo stanu kuzoviv pasazhirskih vagoniv* [Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI». Zbirnik naukovih prac. Seriya: Novi rishennya v suchasnih tehnologiyah. Transportne mashinobuduvannya. H. NTU «HPI»], 45 (1321), 41-46.

6. Shikunov O. A., Rejdemejster O. G., Anofriyev V. G., [ta in.] (2012). *Doslidzhennya granichnogo stanu pasazhirskih vagoniv* [Vagonnij park], 12, 4-6.

7. Pulariya A.L., Lobjko L.M., Grichanij M.A. (2008). *Viznachennya micnosnih yakostej kuzova pasazhirskogo vagona pislya KVR* [Zbirnik naukovih prac DonIZT], 13, 107-111.

8. Myamlin S.V., Rejdemejster O. G., Kalashnik V. O. (2015). *Naukovo-tehnicne obgruntuvannya prodovzhennya terminu sluzhbi pasazhirskih vagoniv pislya KVR* [Vagonnij park], 11-12, 104-105, 4-7.

9. Ronald A., Mayville, Kent N., Johnson Richard G., Stringfellow David C. Tyrell. (2003) *The development of a rail passenger coach car crush zone*. Proceedings of the 2003 IEEE/ASME Joint Rail Conference April 22-24, Chicago, Illinois. (in English).

10. Suweca I. W., Johan Aliabudi Yahya, (2018). *On the optimization of Kereta Kapsul's base frame structure*. Computer Science. International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD) IEEE 2018. Date Added to IEEE Xplore: 11 June. (in English).

11. Kobishanov V.V., Lozbinev V.P., Sakalo V.I., Antipin D.Y., Shorohov S.G., Vysocky A.M. (2013). *Passenger Car Safety Prediction*. World Applied Sciences Journal, 24, 208-212. (in English).

12. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdog S. E. (2012). *Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models*. Intern. Iron & Steel Symposium Karabük University. – Istanbul, 579-586. (in English).

13. Baykasoglu C., Sunbuloglu E., Bozdog E. (2011). *Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness*. Intern. J. of Crashworthiness. London, 16, 3, 319-329. (in English).

14. Xue X., Smith R. A., Schimid F. (2005). *Analysis of crush behaviors of a rail cab car and structural modifications for improved crashworthiness*. International Journal of Crashworthiness, 10 (2), 125-136. (in English).

15. Kirkpatrick S. W., Schroeder M., Simons J. W. (2001). *Evaluation of passenger rail vehicle crashworthiness*. International Journal of Crashworthiness, 2001, 6 (1), 95-106. (in English).

16. ДСТУ 7774:2015. (2015), *Vagoni pasazhirski magistralni lokomotivnoyi tyagi. Zagalnotehnicni normi dlya rozrahuvannya ta proektuvannya mehanichnoyi chastini vagoniv* [UkrNDIV], 22.06.2015 № 61.

17. Donchenko A. V., Trockij M. V., Holod Yu. O. [ta in.] (2008). *Metodika tehnicnogo diagnostuvannya pasazhirskih vagoniv, sho visluzhili pryznachenij termin, z metoyu jogo prodovzhennya CL-0070* [UkrNDIV], Kiyiv, 2008, 63.

*Мартынов И. Е., д. т. н.
(профессор кафедры вагонов, Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта, г. Харьков)*

*Труфанова А.В., к. т. н.
(доцент кафедры вагонов, Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта, г. Харьков)*

*Петухов В. М., д. т. н.
(доцент кафедры вагонов, Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта, г. Харьков)*

*Сергиенко М.О.
(аспирант кафедры вагонов, Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта, г. Харьков)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СРАБАТЫВАНИЯ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

В статье рассмотрены некоторые вопросы анализа закономерностей срабатывания несущих элементов кузовов пассажирских вагонов. Парк пассажирских вагонов в основном составляют модели, разработанные и изготовленные в 70-90 годы прошлого века на вагоностроительных заводах Германии и России. Они устаревшие как морально, так и физически. Данные исследования позволили открыто рассмотреть вопрос возможно дальнейшее использование пассажирских вагонов, наиболее пораженные коррозией.

Ключевые слова: пассажирский вагон, срабатывания, подвижной состав, коррозия, инвентарный парк, техническое состояние.

Martynov Igor Sc.D.

(Professor of Department Vagons, Ukrainian State University of Railway Transport)

Alyona Trufanova Ph.D.

(Associate Professor of Department Vagons, Ukrainian State University of Railway Transport)

Vadim Petukhov Ph.D.

(Associate Professor of Department Vagons, Ukrainian State University of Railway Transport)

Maksim Serhiienko

(Postgraduate of Department Vagons, Ukrainian State University of Railway Transport)

RESEARCH OF THE DEPENDENCE OF OPERATION OF CARRYING ELEMENTS OF PASSENGER CARS

The article considers the issues of analysis of the patterns of operation of the bearing elements of the bodies of carriage. The fleet of carriage mainly consists of models developed and manufactured in the 70-90s of the last century at car plants in Germany and Russia. They are obsolete both morally and physically. A comparative analysis of the size and nature of the operation of structural elements of both compartment cars and open cars. The results of the study made it possible to consider the issue of further use of carriage, which are most affected by corrosion. Key words: carriage, operation, rolling stock; corrosion, inventory, technical condition. The results of the study made it possible to consider the issue of further use of passenger cars, which are most affected by corrosion.

Keywords: body of a passenger wagon, rolling stock, corrosion, passenger wagon, inventory park, technical condition.

УДК 629.46.(083.74)

Сулим Андрій, к.т.н.

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

Семко Жанна

(заступник завідувача науково-дослідної лабораторії проблем стандартизації та сертифікації залізничного транспорту Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагобудування» (ДП «УкрНДІВ»))

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИМОГ ТЕХНІЧНИХ РЕГЛАМЕНТІВ ЩОДО ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ РУХОМОГО ОБЛАДНАННЯ, ЩО ПРАЦЮЄ ПІД ТИСКОМ

В статті проведено порівняльний аналіз основних вимог технічних регламентів щодо здійснення оцінки відповідності рухомого обладнання, що працює під тиском. Розглянуто терміни, застосовні у технічних регламентах, проаналізовано тотожність та розбіжність вимог, наведено класифікацію небезпечних вантажів, приклади обов'язків учасників процесу оцінки відповідності, призначених органів стосовно їх діяльності.

***Ключові слова:** рухоме обладнання, технічні регламенти, оцінка відповідності, обов'язки учасників процесу, призначені органи, класифікація небезпечних вантажів.*

Вступ та постановка проблеми. Як рішення для ефективного усунення технічних перешкод у торгівлі в межах європейського співтовариства, які виникають внаслідок застосування різних національних технічних регламентів та стандартів, а також сприяння інноваціям та захищеності споживачів та користувачів, було розроблено регулятивну технологію, яка використовується у Європейському Союзі з 1985 року і стосується гармонізації технічних регламентів для промислових (не харчових) продуктів. Гармонізоване законодавство зведене до суттєвих вимог (здебільшого щодо експлуатаційних характеристик або функціональних вимог), яким повинна відповідати продукція, введена в обіг на ринку ЄС, отримало назву «Новий Підхід».

Технічні специфікації для продукції, яка відповідає суттєвим вимогам, встановленим у законодавстві, мають бути викладені у гармонізованих стандартах; Продукція, виготовлена відповідно до гармонізованих стандартів, отримує перевагу від презумпції відповідності суттєвим вимогам, встановленим відповідним законодавством; Застосування гармонізованих стандартів залишається добровільним і виробник завжди може застосувати інші технічні специфікації, щоб забезпечити відповідність вимогам.

Прийняття Україною рішення щодо застосування принципів «Нового підходу» щодо відповідності продукції встановленим до неї вимогам, потребує створення, впровадження та використання затверджених нормативно-правових актів (технічних регламентів), розроблених на підставі європейських Директив¹⁾.

Мета «Нового Підходу»: забезпечити високий рівень безпеки продуктів для споживачів та користувачів; забезпечити вільне переміщення продуктів у контексті внутрішнього ринку ЄС; сприяти конкурентоздатності, новаторству та диференціації продуктів; знизити витрати виробників.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-9

Ключові принципи «Нового Підходу». Регулювання ЄС стосується продукції, яка становить певний ступінь ризику. Воно встановлює вимоги щодо експлуатаційних характеристик, пов'язаних з безпечністю продукції, по відношенню до ризиків. Стандарти є добровільними до застосування, але якщо виробник їх використовує, то вважається, що його продукція відповідає встановленим вимогам щодо безпечності. В іншому випадку виробник вправі використовувати свої власні технології, але тоді на нього покладається тягар доведення відповідності вимогам щодо безпечності. Рівень складності процедур оцінки та підтвердження відповідності продукції вимогам безпечності на етапі виробництва продукції є пропорційним ступеню ризику, що становить продукція. Держава гарантує технічну компетентність органів з оцінки відповідності через систему акредитації, що здійснюється національними органами з акредитації.

Технічний регламент – закон України або нормативно-правовий акт, прийнятий Кабінетом Міністрів України, у якому визначено характеристики продукції або пов'язані з нею процеси чи способи виробництва, а також вимоги до послуг, включаючи відповідні положення, дотримання яких є обов'язковим. Він може також містити вимоги до термінології, позначок, пакування, маркування чи етикетування, які застосовуються до певної продукції, процесу чи способу виробництва.

Відповідно до законодавства України в сфері технічного регулювання виробники і постачальники повинні забезпечити виконання всіх вимог відповідних технічних регламентів перед введенням в обіг об'єктів технічних регламентів. Введення в обіг об'єктів технічних регламентів супроводжується декларацією про відповідність та/або сертифікатом відповідності, а також маркуванням продукції Національним знаком відповідності, якщо це передбачено відповідним технічним регламентом.

Для продукції, що розглядається у цій статті, в Україні було впроваджено Технічний регламент пересувного обладнання, що працює під тиском, затверджений Постановою КМУ від 5 листопада 2008 року № 967 [1], на заміну якого було прийнято Технічний регламент рухомого обладнання, що працює під тиском, затвердженого Постановою КМУ від 4 липня 2018 року № 536 [2].

Підставою для впровадження в Україні відповідного технічного регламенту стосовно пересувного обладнання, що працює під тиском, стало рішення ЄС щодо необхідності перегляду вимог Директиви Європейського Парламенту і Ради 1999/36/ЄС від 29 квітня 1999 року про пересувне обладнання, що працює під тиском [3].

Директива Європейського Парламенту і Ради 1999/36/ЄС [3] була ухвалена, як перший крок до посилення безпеки транспортування пересувного обладнання, що працює під тиском, при цьому забезпечуючи вільний рух пересувного обладнання, що працює під тиском, у межах єдиного транспортного ринку. Але з огляду на розвиток ситуації в сфері транспортної безпеки постала необхідність оновлення певних технічних положень цієї Директиви.

Директивою Європейського Парламенту і Ради 2008/68/ЄС від 24 вересня 2008 року про внутрішні перевезення небезпечних вантажів [4] розширено застосування положень деяких міжнародних угод, щоб охопити національні перевезення з метою гармонізації умов, за яких відбувається перевезення небезпечних вантажів дорожнім транспортом, залізницею або внутрішніми водними шляхами в межах Союзу.

Прийняття розширеного застосування положень міжнародних угод щодо перевезення небезпечних вантажів стало необхідною передумовою для оновлення належним чином національного законодавства, вона однаково має силу закону в цій країні, й її порушення може бути оскаржено в Суді ЄС.

¹⁾ Директива (англ. *Directive*) – тип законодавчого акту Європейського Союзу.

На відміну від постанови чи рішення, інструментів прямої дії, директива запроваджується через національне законодавство. Вона зобов'язує державу-члена у певний термін вжити заходів, спрямованих на досягнення визначених у ній цілей. Директиви – підпорядкований інструмент, вони повинні відображувати положення договорів, але вони так само, як і договори, мають верховенство над національним правом. Тож якщо якась країна не запровадила вчасно відповідну директиву до положень Директиви 1999/36/ЄС [3] задля уникнення суперечливих правил, зокрема щодо вимог відповідності, оцінювання відповідності та процедур оцінювання відповідності, пов'язаних з пересувним обладнанням, що працює під тиском.

Також для посилення безпеки стосовно пересувного обладнання, що працює під тиском, затвердженого для внутрішнього перевезення небезпечних вантажів, та забезпечення вільного руху, у тому числі введення в обіг, надання на ринку та використання такого пересувного обладнання, що працює під тиском, у межах Союзу, виникла необхідність встановлення детальних правил щодо обов'язків різних операторів у галузі застосування пересувного обладнання, що працює під тиском, та вимог, які відповідне обладнання повинне задовольняти.

Дія Технічного регламенту пересувного обладнання, що працює під тиском, затвердженого Постановою КМУ від 5 листопада 2008 року № 967 [1] та Технічного регламенту рухомого обладнання, що працює під тиском, затвердженого Постановою КМУ від 4 липня 2018 року № 536 [2] розповсюджується на рухоме обладнання, що працює під тиском. Але у визначенні яке саме це обладнання, у постановленні вимог до цього обладнання, задіяних органів з оцінки відповідності, визначення обов'язків учасників процесу ці технічні регламенти мають відмінності, та у деяких випадках – суттєві.

Тому **метою цієї статті** є розгляд, визначення та порівняльний аналіз відмінностей у вимогах цих технічних регламентів щодо оцінки відповідності рухомого обладнання, що працює під тиском, насамперед об'єктів, призначених для транспортування небезпечних вантажів (рідин та газів) автомобільними, залізничними та водними шляхами.

Матеріали та дослідження

Дія технічного регламенту [2] поширюється на:

«нове рухоме обладнання, що працює під тиском, визначене в підпункті 18 пункту 5 цього Технічного регламенту, яке не було введено в обіг, для надання його на ринку;

рухоме обладнання, що працює під тиском, визначене в підпункті 18 пункту 5 цього Технічного регламенту, яке має маркування знаком відповідності цьому Технічному регламенту або Технічному регламенту пересувного обладнання, що працює під тиском, затвердженому постановою КМУ від 5 листопада 2008 р. № 967 (Офіційний вісник України, 2008 р., № 86, ст. 2880), для проведення періодичного інспектування, проміжного інспектування, виняткових перевірок і використання;

рухоме обладнання, що працює під тиском, визначене в підпункті 18 пункту 5 цього Технічного регламенту, яке не має маркування знаком відповідності Технічному регламенту пересувного обладнання, що працює під тиском, затвердженому постановою КМУ від 5 листопада 2008 р. № 967, для проведення переоцінки відповідності»

Відповідно до підпункту 18 пункту 5 технічного регламенту [2] до рухомого обладнання, що працює під тиском належать:

«– усі посудини, що працюють під тиском, їх клапани та інше обладнання у разі необхідності, як визначено у главі 6.2 додатка до Європейської Угоди про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ), (далі - Угода про дорожнє перевезення вантажів) [5], главі 6.1 додатка Європейської угоди про міжнародне перевезення небезпечних вантажів внутрішніми водними шляхами (ВОПНВ) (далі - Угода про перевезення вантажів водними шляхами) [6] та главі 6.2 додатка С до Конвенції про міжнародні залізничні перевезення (КОТІФ) (далі – Конвенція) [7];

– цистерни, транспортні засоби-батареї та вагони-батареї, багатоелементні газові контейнери, їх клапани та інше обладнання у разі необхідності, як визначено у главі 6.8 додатка до Угоди про дорожнє перевезення вантажів [5], главі 6.1 додатка до Угоди про перевезення вантажів водними шляхами [6] та главі 6.8 додатка С до Конвенції [7];

– обладнання, зазначене в абзацах другому та третьому підпункту 18), яке використовується відповідно до вимог, встановлених у додатках до Угоди про дорожнє перевезення вантажів [5], Угоди про перевезення вантажів водними шляхами [6] та додатку С до Конвенції [7] для перевезення газів класу 2, крім газів або виробів класів 6.1, 6.2 та 7, а також для перевезення небезпечних речовин, що належать до інших класів, зазначених у таблиці 1 (додаток 1 до технічного регламенту)» (підпункт 18) частини 5 [2]).

Таблиця 1. Перелік небезпечних речовин, які не відносяться до класу 2

Номер згідно з класифікацією ООН	Клас	Небезпечна речовина
1051	6.1	Водень ціаністий стабілізований із вмістом води менше ніж 3 відсотки
1052	8	Водень фтористий безводний
1745	5.1	Брому пентафторид, за винятком перевезення в цистернах
1746	5.1	Брому трифторид, за винятком перевезення в цистернах
1790	8	Кислоти фтористоводневої розчин, що містить водню фториду більше ніж 85 відсотків
2495	5.1	Йоду пентафторид, за винятком перевезення в цистернах

До пересувного обладнання, що працює під тиском відповідно до технічного регламенту [1] відноситься таке обладнання:

- ємності (балони, зв'язки балонів, камери, напірні резервуари та криогенні ємності);
- цистерни, в тому числі знімні цистерни, контейнери-цистерни (рухомі цистерни), переносні цистерни, цистерни, що є елементами транспортних засобів - котли вагонів-цистерн, цистерни або ємності у складі автопоїздів або залізничних поїздів, автомобільні цистерни, включаючи клапани (вентилі) та інше допоміжне устаткування цистерн, що використовуються для транспортування газів класу 2 (ГОСТ 19433-88) [8], стабілізованого ціаніду водню класу 6.1 (ГОСТ 19433-88), безводного фтору водню та фтористоводневої кислоти класу 8 (ГОСТ 19433-88).

Під час розгляду наведених вище переліків обладнання, яке підлягає оцінюванню відповідності згідно з вимогами технічних регламентів [1] та [2], стає зрозумілим, що визначення такого обладнання певним чином відрізняється.

Якщо у технічному регламенті [1] було посилання на нормативний документ (міждержавний стандарт – ГОСТ 19433-88) [8]), то у технічному регламенті [2] (додаток 1), див. таблицю 1, класи небезпечних речовин, що не відносяться до класу 2, вказано без посилання на нормативний документ.

При цьому, слід зауважити, що в Україні на даний час є чинними серія національних стандартів стосовно небезпечних вантажів:

ДСТУ 4500-1:2008 Вантажі небезпечні. Терміни та визначення понять [9];

ДСТУ 4500-3:2008 Вантажі небезпечні. Класифікація (замінює ГОСТ 19433-88 в частині класифікації) [10];

ДСТУ 4500-4:2006 Вантажі небезпечні. Методи випробувань (замінює ГОСТ 19433-88 в частині методів випробування) [11];

ДСТУ 4500-5:2005 Вантажі небезпечні. Маркування (замінює ГОСТ 19433-88 в частині розділу «Маркування») [12].

При цьому треба звернути увагу, що Міждержавною Радою зі стандартизації, сертифікації та метрології ГОСТ 19433-88 [8] замінено на ГОСТ 19433.1-2010 [13], ГОСТ 19433.2-2010 [14], ГОСТ 19433.3-2010 [15], ГОСТ 19433.4-2015 [16].

У пункті 5.4 ДСТУ 4500-3 [10] встановлено такі класи небезпечних вантажів:

Клас 1 – вибухові речовини та вироби

Клас 2 – гази

Клас 3 – легкозаймисті рідини

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

Клас 4 – легкозаймісті тверді речовини, здатні до самозаймання, речовини, що виділяють займісті гази внаслідок взаємодії з водою

Клас 5 – окислювальні речовини та органічні пероксиди

Клас 6 – токсичні речовини та інфекційні речовини

Клас 7 – радіоактивні матеріали

Клас 8 – корозійні (їдкі) речовини

Клас 9 – інші небезпечні речовини та вироби.

Поділення класів на підкласи згідно з 5.5 ДСТУ 4500-3 [10] наведено в таблиці 2.

Треба зауважити, що за такою класифікацією певні речовини не можна однозначно віднести до певного класу або підкласу. Небезпечна речовина може бути водночас легкозаймистою рідиною (клас 3) та речовиною, що виділяє легкозаймістий газ внаслідок взаємодії з водою (підклас 4.3). В цьому випадку визначають пріоритет небезпечних властивостей речовини. В наведеному прикладі пріоритетом буде небезпечна властивість за підкласом 4.3 (відповідно до таблиці 3 ДСТУ 4500-3 [10]).

Таблиця 2. Підкласи небезпечних вантажів

Клас	Підклас	Назва підкласу
1	1.1	Речовини та вироби, яким властива небезпека вибуху масою
	1.2	Речовини та вироби, яким властива небезпека розкидання, але які не створюють небезпеку вибуху масою
	1.3	Речовини та вироби, яким властива небезпека загоряння, а також незначна небезпека вибуху, або незначна небезпека розкидання, або те та інше, але не властива небезпека вибуху масою
	1.4	Речовини та вироби, які не становлять значної небезпеки
	1.5	Речовини дуже низької чутливості, яким властива небезпека вибуху масою
	1.6	Вироби надзвичайно низької чутливості, яким невластива небезпека вибуху масою
2	2.1	Займісті гази
	2.2	Незаймісті нетоксичні гази
	2.3	Токсичні гази
3	–	Легкозаймісті рідини (на підклас не поділяють)
4	4.1	Легкозаймісті тверді речовини
	4.2	Речовини, здатні до самозаймання
	4.3	Речовини, які виділяють займісті гази внаслідок взаємодії з водою
5	5.1	Окислювальні речовини
	5.2	Органічні пероксиди
6	6.1	Токсичні речовини
	6.2	Інфекційні речовини
7	–	Радіоактивні матеріали (на підклас не поділяють)
8	–	Корозійні (їдкі) речовини (на підклас не поділяють)
9	–	Інші небезпечні речовини та вироби (на підклас не поділяють)
Примітка. Нумерація класів та підкласів не вказує на ступінь небезпеки вантажу		

Предметом розгляду цієї статті є рухоме обладнання, що працює під тиском, яке підпадає під дію технічного регламенту [2] відповідно до другого абзацу підпункту 18, а саме цистерни (рис. 1), транспортні засоби-батареї та вагони-батареї (рис. 2), багатоелементні газові контейнери (рис. 3 – 5), їх клапани та інше обладнання у разі необхідності, як визначено у главі 6.8 додатка до Угоди про дорожнє перевезення вантажів [5], главі 6.1 додатка до Угоди про перевезення вантажів водними шляхами [6] та главі 6.8 додатка С до Конвенції [7]. Характерною властивістю цих об'єктів є призначення для транспортування небезпечних речовин (рідин та газів) автомобільними, залізничними та водними шляхами.

За результатами розгляду вимог технічних регламентів [1] та [2] було виділено п'ять суттєвих відмінностей, розуміння яких надає потенційні можливості для правильного їх застосування.

Суттєвою першою відмінністю вимог технічних регламентів є те, що дія технічного регламенту [1] не поширюється на:

«пересувне обладнання, що використовується виключно для транспортування небезпечних речовин територією країн Європейського Співтовариства, до якого застосовуються вимоги Директиви Ради Європи від 29 квітня 1999 р. N 1999/3 ЄС про пересувне обладнання, що працює під тиском» (частина б).

Проте такого обмеження у технічному регламенті [2] не має. Але дія цього технічного регламенту (підпункт 18, абзац четвертий) не поширюється на:

«обладнання, зазначене в абзацах другому та третьому підпункту 18), яке використовується для перевезення газів або виробів класів 6.1, 6.2 та 7». До підкласу 6.1 (див. таблицю 2) відносяться токсичні речовини, до підкласу 6.2 – інфекційні речовини, до класу 7 – радіоактивні матеріали» (див. 5.4 ДСТУ 4500-3 [10]).



Рис. 1. Загальний вид вагона-цистерни



Рис. 2. Загальний вид вагона - батареї



Рис. 3. Загальний вид контейнера – цистерни



Рис. 4. Контейнери – цистерни, встановлені на залізничну платформу



Рис. 5. Контейнери-цистерни, встановлені на автомобільну платформу

Друга відмінність полягає у визначенні робіт, що проводяться з метою оцінки відповідності рухомого обладнання, що працює під тиском.

Оцінка відповідності, що передбачена технічним регламентом [2], здійснюється шляхом проведення (пункт 38):

періодичного інспектування (періодичне інспектування – процедура, що регламентує проведення періодичної перевірки, визначеної у додатках до Угоди про дорожнє перевезення вантажів, Угоди про перевезення вантажів водними шляхами та додатку С до Конвенції», підпункт 14 пункту 2);

проміжного інспектування (проміжне інспектування – процедура, що регламентує проведення проміжної перевірки, визначеної у додатках до Угоди про дорожнє перевезення вантажів, Угоди про перевезення вантажів водними шляхами та додатку С до Конвенції», підпункт 16 пункту 2);

виняткових перевірок (виняткова перевірка – процедура, що регламентує проведення виняткової перевірки, визначеної у додатках до Угоди про дорожнє перевезення вантажів, Угоди про перевезення вантажів водними шляхами та додатку С до Конвенції», підпункт 4 пункту 2);

переоцінки відповідності (переоцінка відповідності - процедура, що проводиться на вимогу власника чи оператора з метою виконання подальшої оцінки відповідності рухомого обладнання, що працює під тиском, що виготовлене та введено в експлуатацію до моменту обов'язкового застосування Технічного регламенту пересувного обладнання, що працює під тиском, затвердженого постановою КМУ від 5 листопада 2008 р. № 967, підпункт 13 пункту 2).

Переоцінка відповідності передбачає маркування знаком ПІ. В такому випадку знак ПІ наноситься згідно з додатком 2 технічного регламенту [2]».

Технічним регламентом [1] визначено такі види оцінки відповідності (пункт 4):

оцінка відповідності нового пересувного обладнання та введення його в обіг;

оцінка відповідності існуючого пересувного обладнання, введеного в обіг у період від набрання чинності до обов'язкового застосування Технічного регламенту;

періодична перевірка з метою визначення можливості подальшої експлуатації пересувного обладнання.

Третьою відмінністю є визначення органів, що проводять оцінку відповідності рухомого обладнання, що працює під тиском.

У технічному регламенті [2] зазначено, що оцінку відповідності виконує «призначений орган з оцінки відповідності, що є *органом з інспектування*, який відповідає вимогам, встановленим у додатках до Угоди про дорожнє перевезення вантажів, Угоди про перевезення вантажів водними шляхами та додатку С до Конвенції, та умовам, визначеним у пунктах 58-62 Технічного регламенту, і призначений в установленому законодавством порядку», (підпункт 15 частини 2);

Технічний регламент [1] встановлює, що оцінку відповідності проводять «призначені органи з оцінки відповідності, вимоги до яких визначені постановою КМУ від 24 січня 2007 р. N 59 (59-2007-п) «Про затвердження Порядку здійснення процедури призначення органів з оцінки відповідності продукції, процесів і послуг вимогам технічних регламентів» (Офіційний вісник України, 2007 р., № 6, ст. 223), та спеціалізовані організації». До спеціалізованих організацій згідно із пунктом 45 технічного регламенту [1] належать спеціалізовані організації, якими отримано дозвіл на проведення робіт підвищеної небезпеки, що викладені у постановах КМУ від 15 жовтня 2003 р. № 1631 (1631-2003-п) «Про затвердження Порядку видачі дозволів Державним комітетом з нагляду за охороною праці та його територіальними органами» (Офіційний вісник України, 2003 р., № 42, ст. 2222) та від 26 травня 2004 р. № 687 (687-2004-п) «Про затвердження Порядку проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки».

Четверта відмінність полягає у визначенні учасників процесу оцінки відповідності, що наведено у таблиці 4.

До п'ятої відмінності належить встановлення вимог щодо уніфікованих процедур проведення оцінки відповідності рухомого обладнання, що працює під тиском.

Якщо у технічному регламенті [2] конкретним чином визначено, що призначений орган з оцінки відповідності проводить оцінку відповідності шляхом періодичного, проміжного інспектування або виняткових перевірок, то у технічному регламенті [1] наведено певні уніфіковані процедури оцінки відповідності (модулі Aa, Bb у комбінації з Cc, B у комбінації з Cc, або з E, або з D, або з F, та модулі G, H, Hh), при цьому критерії застосування певних модулів обираються залежно від характеристик пересувного обладнання, які наведено в таблиці 5.

Крім того, технічний регламент [1] передбачає проведення періодичних перевірок з метою визначення якості виготовлення, монтажу, ремонту, реконструкції і модернізації, умов та строку подальшої безпечної експлуатації пересувного обладнання, оцінки технічного стану такого обладнання та його складових частин за модулем 1 (періодична перевірка пересувного обладнання) та модулем 2 (періодична перевірка забезпечення якості), а також сертифікацію системи управління якістю перевірки пересувного обладнання спеціалізованої організації та проведення нагляду за дотриманням вимог Технічного регламенту [1].

Виходячи з вище наведеного, можна стверджувати, що наявні відмінності вимог обох технічних регламентів щодо рухомого обладнання, що працює під тиском, досить суттєві. Тому застосування положень технічного регламенту [2] не може ґрунтуватися на положеннях технічного регламенту [1].

При цьому, проведення оцінки відповідності у вигляді інспектування за технічним регламентом [2], найголовнішою відмінністю його положень стає те, що за результатами проведення інспектування не передбачена видача сертифіката відповідності.

Таблиця 4. Учасники процесу оцінки відповідності за технічними регламентами [1] та [2]

Технічний регламент [1]	Технічний регламент [2]
- виробники або їх уповноважені представники чи постачальники, що відповідають за введення пересувного обладнання в обіг; - власники або їх уповноважені представники чи орендарі існуючого пересувного обладнання	суб'єкти господарювання: - виробники; - уповноважені представники; - імпортери; - розповсюджувачі; - власники; - оператори
- призначені органи з оцінки відповідності; - спеціалізовані організації	- призначені органи з оцінки відповідності (органи з інспектування)

Таблиця 5. Критерії застосування модулів оцінки відповідності за технічним регламентом [1]

Категорія пересувного обладнання	Характеристика пересувного обладнання	Модулі оцінки відповідності пересувного обладнання
1	пересувне обладнання, для якого добуток пробного тиску на величину місткості не перевищує 100 МПа·л (1000 бар·л)	Aa або Bb у комбінації з Cc
2	пересувне обладнання, для якого добуток пробного тиску на величину місткості становить більше як 100, але не перевищує 300 МПа·л (3000 бар·л)	H або V у комбінації з E, або V у комбінації з Cc
3	пересувне обладнання, для якого добуток пробного тиску на величину місткості перевищує 300 МПа·л (3000 бар·л)	G або Hh, або V у комбінації з D, або V у комбінації з F

Висновки. 1 У разі надання на ринку, введення в обіг, використання, вилучення з обігу, відкликання:

а) нового рухомого обладнання, що працює під тиском; рухомого обладнання, що працює під тиском, визначене в підпункті 18 пункту 5 Технічного регламенту [2], яке не було введено в обіг, для надання його на ринку;

б) рухомого обладнання, що працює під тиском, визначене в підпункті 18 пункту 5 Технічного регламенту [2], яке має маркування знаком відповідності Технічному регламенту [2], або Технічному регламенту [1] для проведення періодичного інспектування, проміжного інспектування, виняткових перевірок і використання;

в) рухомого обладнання, що працює під тиском, визначене в підпункті 18 пункту 5 Технічного регламенту [2], яке не має маркування знаком відповідності Технічному регламенту [1] для проведення переоцінки відповідності, **воно має відповідати вимогам Технічного регламенту рухомого обладнання, що працює під тиском, затвердженому Постановою КМУ від 4 липня 2018 року № 536.**

2 Виконувати вимоги Технічного регламенту рухомого обладнання, що працює під тиском, [2] зобов'язані суб'єкти господарювання:

виробники,
уповноважені представники,
імпортери,
розповсюджувачі,

власники або оператори, які провадять господарську діяльність на платній чи безоплатній основі з надання на ринку, введення в обіг, використання, вилучення з обігу, відкликання рухомого обладнання, що працює під тиском.

3 Порівняльний аналіз вимог технічних регламентів щодо оцінки відповідності рухомого обладнання, що працює під тиском, дозволив встановити наступні суттєві відмінності щодо:

- обмеження у сфері поширення технічних регламентів;
- визначення змісту та обсягу робіт з оцінки відповідності;
- призначення та залучення органів, що проводять оцінку відповідності;
- визначення учасників та процедур процесу оцінки відповідності.

4 Суттєві відмінності у вимогах Технічних регламентів [1] та [2], які наведені в цій статті, мають бути ураховані суб'єктами господарювання та учасниками процесу оцінки відповідності рухомого обладнання, що працює під тиском, під час його надання на ринку, введення в обіг, використання, вилучення з обігу, відкликання.

5 Оскільки розглянута в статті проблема є специфічною в сфері перевезення небезпечних вантажів, її новизна полягає в досить докладному аналізі встановлених в технічних регламентах вимог, які пред'являються до об'єктів, які призначені перевезення небезпечних вантажів взагалі, і до залізничних вагонів-цистерн зокрема.

Порушені в статті питання мають сприяти створенню правильного розуміння суспільністю цілей в сфері технічного регулювання, механізмів оцінки відповідності об'єктів залізничного транспорту встановленим до них вимогам, та нарешті сприяти вибору доцільних напрямків у розвитку наукових підходів до вдосконалення елементів конструкції вагонів-цистерн.

ЛІТЕРАТУРА

1. Технічний регламент пересувного обладнання, що працює під тиском, затверджений Постановою КМУ від 5 листопада 2008 року № 967. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/967-2008>
2. Технічний регламент рухомого обладнання, що працює під тиском, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України (КМУ) від 4 липня 2018 року № 536. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/536-2018>
3. Директива Європейського Парламенту і Ради 1999/36/ЄС від 29 квітня 1999 року про пересувне обладнання, що працює під тиском, ОВ L 138, 01.06.1999, с. 20.
4. Директива Європейського Парламенту і Ради 2008/68/ЄС від 24 вересня 2008 року про внутрішні перевезення небезпечних вантажів, ОВ L 260, 30.09.2008, с. 13.
5. Європейська Угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ), до якої Україна приєдналася згідно із Законом України від 17 листопада 2009 р. № 1727-VI. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_217
6. Європейська Угода про міжнародне перевезення небезпечних вантажів внутрішніми водними шляхами (ВОПНВ), до якої Україна приєдналася згідно із Законом України від 2 березня 2000 р. № 1511-III. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_169
7. Конвенція про міжнародні залізничні перевезення (КОПФ), до якої Україна приєдналася відповідно до Закону України від 5 червня 2003 р. № 943-IV. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_291
8. ГОСТ 19433-88. Грузы опасные. Классификация и маркировка (Вантажі небезпечні. Класифікація та маркування), Москва, 1988, 42 с.
9. ДСТУ 4500-1:2008. Вантажі небезпечні. Терміни та визначення понять, Київ, 2010. 39 с.
10. ДСТУ 4500-3:2008. Вантажі небезпечні. Класифікація, Київ, 2010. 42 с.
11. ДСТУ 4500-4:2006. Вантажі небезпечні. Методи випробувань, Київ, 2007. 42 с.
12. ДСТУ 4500-5:2005 Вантажі небезпечні. Маркування, Київ, 2007. 63 с.
13. ГОСТ 19433.1-2010. Грузы опасные. Классификация (Вантажі небезпечні. Класифікація), Мінськ, 2010. 77 с.
14. ГОСТ 19433.2-2010. Грузы опасные. Методы испытаний (Вантажі небезпечні. Методи випробувань), Мінськ, 2010. 42 с.
15. ГОСТ 19433.3-2010. Грузы опасные. Маркировка (Вантажі небезпечні. Маркування), Мінськ, 2010. 83 с.
16. ГОСТ 19433.4-2015. Грузы опасные. Термины и определения (Вантажі небезпечні. Терміни та визначення), Мінськ, 2015. 42 с.

REFERENCES

1. Tehnichnyi reglament peresuvnogo obladnannja, shcho pracuje pid tyskom-zatverdzhennomu Postanovoiu KMU vid 5 lystopada 2008 roku № 967 [Technical regulations for movable pressure equipment, approved by the Resolution of CMU from the 5th of November 2008 № 967], (2008). – Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/967-2008> [in Ukrainian].
2. Tehnichnyi reglament peresuvnogo obladnannja, shcho pracuje pid tyskom-zatverdzhennomu Postanovoiu KMU vid 4 lypnia 2018 roku № 536 [Technical regulations for movable pressure equipment, approved by the Resolution of CMU from the 4th of July 2018 № 536], (2018). – Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/536-2018> [in Ukrainian].

3. Dyrektyva Yevropeiskogo Parlamentu I Rady 1999/36/EC vid 29 kvitnia 1999 roku pro peresuvne obladnannia shcho praciue pid tyskom, OV L 138, 01.06.1999, s.20. [Directive of the European Parliament and of the Council 1999/36 / EC from the 29th of April 1999 concerning mobile pressure equipment, OJ L 138, 01.06.1999, p. 20.] [in Ukrainian].
4. Dyrektyva Yevropeiskogo Parlamentu I Rady 2008/68/EC vid 24 veresnia 2008 roku pro vnutrishni perevezennia nebezpechnykh vantazhiv, OB L 260, 30.09.2008, s.13. [Directive of the European Parliament and of the Council 2008/68 / EC from the 24th of September 2008 concerning inland transportation of dangerous goods, OB L 260, 30.09.2008, p. 13] [in Ukrainian].
5. Yevropeiska Ugoda pro mizhnarodne dorozhnie perevezennia nebezpechnykh vantazhiv (DOPNV), do yakoi Ukraina pryednalasia zgidno iz Zakonom Ukrainy vid 17 lystopada 2009 r. №1727-VI [European Agreement concerning the international transportation of dangerous goods (ITODG), to which Ukraine has acceded in accordance with the Law of Ukraine from the 17th of November, 2009, № 1727-VI], (2009). – Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_217 [in Ukrainian].
6. Yevropeiska Ugoda pro mizhnarodne dorozhnie perevezennia nebezpechnykh vantazhiv vnutrishnimy vodnymi shliakhami (VOPNV), do yakoi Ukraina pryednalasia zgidno iz Zakonom Ukrainy vid 2 bereznia 2000 r. №1511-III [European Agreement concerning the international transportation of dangerous goods by inland waterways (WWTP), to which Ukraine acceded in accordance with the Law of Ukraine from the 2nd of March, 2000, № 1511-III], (2000). – Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_169 [in Ukrainian].
7. Konvenciia pro mizhnarodni zaliznychni perevezennia (KOTIF), do yakoi Ukraina pryednalasia vidpovidno do zakonu Ukrainy vid 5 chervnya 2003 r. № 943-IV [Convention concerning international railway transportation (COIRT), to which Ukraine has acceded in accordance with the Law of Ukraine from the 5th of June 2003, № 943-IV, (2003). – Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_291 [in Ukrainian].
8. GOST 19433-88 Gruzy opasnye. Klassifikatsiya I markirovka (Vantazhi nebezpechni. Klasifikatsiya ta markuvannia) [Dangerous goods. Classification and marking], (1988). Moscow: Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam [in Russian].
9. DSTU 4500-1:2008 Vantazhi nebezpechni. Terminy ta vyznachennia poniat [DSTU 4500-1:2008 Dangerous goods. Terms and definitions], (2008). Kiev: Derzhspozhivstandart [in Ukrainian].
10. DSTU 4500-3:2008 Vantazhi nebezpechni. Klasyfikatsiia [DSTU 4500-3: 2008 Dangerous goods. Classification], (2008). Kiev: Derzhspozhivstandart [in Ukrainian].
11. DSTU 4500-4:2006 Vantazhi nebezpechni. Metody vyprobuvan [DSTU 4500-4: 2006 Dangerous goods. Test methods], (2006). Kiev: Derzhspozhivstandart [in Ukrainian].
12. DSTU 4500-5:2005 Vantazhi nebezpechni. Markovannia [DSTU 4500-5:2005 Dangerous goods. Marking], (2005). Kiev: Derzhspozhivstandart [in Ukrainian].
13. GOST 19433.1-2010 Gruzy opasnye. Klassifikatsiya (Vantazhi nebezpechni. Klasifikatsiya) [GOST 19433.1-2010 Dangerous goods. Classification], (2010). Minsk: Evraziysrsy sovet po standartizacii, metrologii si sertifikacii [in Russian].
14. GOST 19433.2-2010 Gruzy opasnye. Metody ispytanii (Vantazhi nebezpechni. Metody vyprobuvan) [GOST 19433.2-2010 Dangerous goods. Test methods], (2010). Minsk: Evraziysrsy sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii [in Russian].
15. GOST 19433.3-2010 Gruzy opasnye. Markirovka (Vantazhi nebezpechni. Markuvannia) [GOST 19433.3-2010 Dangerous goods. Marking], (2010). Minsk: Evraziysrsy sovet po standartizacii, metrologii si sertifikacii [in Russian].
16. GOST 19433.4-2015 Gruzy opasnye. Terminy i opredeleniya (Vantazhi nebezpechni. Terminy ta vyznachennia) [GOST 19433.4-2015 Dangerous goods. Terms and definitions], (2015). Minsk: Evraziysrsy sovet po standartizacii, metrologii si sertifikacii [in Russian].

Сулим Андрей, к.т.н.

(заместитель директора по научной работе Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» (ГП «УкрНИИВ»)),

Семко Жанна

(заместитель заведующего научно-исследовательской лаборатории проблем стандартизации и сертификации железнодорожного транспорта Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» (ГП «УкрНИИВ»))

В статье приведен сравнительный анализ основных требований технических регламентов по осуществлению оценки соответствия передвижного оборудования, которое работает под давлением. Рассмотрены термины, применяемые в технических регламентах, проанализированы подобию и расхождения требований, приведена классификация опасных грузов, примеры

обязательств участников процесса оценки соответствия, назначенных органов касательно их деятельности.

***Ключевые слова:** передвижное оборудование, технические регламенты, оценка соответствия, обязательства участников процесса, назначенные органы, классификация опасных грузов.*

Andrii Sulym,

Cand. Sc.(Tech),

(Deputy director for scientific work of the State Enterprise “Ukrainian Research Railway Car Building Institute” SE “UkrNDIV”),

Zhanna Semko

(State Enterprise “Ukrainian Research Railway Car Building Institute” SE “UkrNDIV”)

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TECHNICAL REGULATIONS REQUIREMENTS CONCERNING CONFORMITY ASSESSMENT OF THE MOVABLE PRESSURE EQUIPMENT

Comparative analysis of main requirements of the technical regulations concerning conformity assessment of the movable pressure equipment is given in the article. Terms, used in the technical regulations are considered, similarity and divergence of requirements is analyzed, classification of dangerous goods, examples of liabilities of the assessment process participants, appointed bodies concerning their activities is given.

***Keywords:** movable equipment, technical regulations, conformity assessment, responsibilities of the process participants, appointed bodies, dangerous goods classification.*

УДК 656

Кічкін О.В.

(старший викладач Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля)

Кічкіна О.І., к.т.н.

(доцент Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля)

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПОРТНОГО ЗЕРНОВОГО ТЕРМІНАЛУ МОРСЬКОГО ПОРТУ

У статті подана імітаційна модель зернового терміналу морського порту, створена у середовищі AnyLogic 8.5 PLE. Взаємодія створених агентів-моделей складає логіку взаємодії різних видів транспорту та виробничо-складських систем зернового терміналу морського порту. На основі проведеного за допомогою імітаційної моделі експериментального дослідження роботи зернового терміналу морського порту в різних технологічних умовах була підтверджена її адекватність з урахуванням взаємодії різних видів транспорту та економічних показників роботи.

Ключові слова. *Імітаційна модель, зерновий термінал, взаємодія видів транспорту, аналітичне дослідження, система підтримки прийняття рішень, інформаційно-аналітичний блок.*

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. З початку 2019/20 маркетингового року станом на 8 травня 2020 року Україна відправила на експорт 51474 тис. т зернових і зернобобових. Даний показник на 8165 тис. т перевищує результат за аналогічний період минулого року. Важливу роль у технологічному забезпеченні обробки експортних зернових вантажів відіграють морські порти та їх зернові термінали, зокрема. При цьому особливістю технологічного забезпечення роботи зернових терміналів є необхідність прийняття як оперативних, так і довгострокових рішень в умовах неповної інформації та наявності ризиків технологічного та природнього походження.

Проблеми та пов'язані з ними задачі удосконалення технологічних процесів та управління в портах розглядали та вирішували як вітчизняні, так і зарубіжні учені.

В роботах учених Шибасєва О.Г., Кириллової О.В., Постан М.Я. розглянуті питання удосконалення роботи портофлоту, оптимальних режимів обслуговування суден, раціональних схем завантаження суден та оптимізації технологічних процесів в портах на базі теорії досліджень операцій, методів теорії систем масового обслуговування. Вирішення задач управління процесами та взаємодією видів транспорту в портах на базі імітаційного моделювання запропоновано ученими Долідзе І., Гогіашвілі П., Леквеїшвілі Г., Малоксіано М.О., Семеновим К.М. Вирішення задач удосконалення роботи зернових терміналів в порту присвячені роботи учених Мурадьян А.О., Гаркуша Г.Г., Гассельберг М.О., Синельщикова О.В. При зростаючому попиті на перевезення зернових вантажів ритмічність постачань та злагодженість ланок логістичних ланцюгів не є сталою, що в свою чергу впливає на узгодженість та ритмічність технологічних процесів в порту, приводить до ситуацій в яких виникає необхідність прийняття обґрунтованих, раціональних, а іноді компромісних рішень. Тому актуальним є створення ефективного інструменту прийняття рішень у роботі зернового терміналу морського порту на базі сучасних інформаційних технологій з урахуванням ризиків та випадкових факторів переробки зернових вантажів.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-10

Мета і завдання дослідження. Створення імітаційної моделі зернового терміналу морського порту як інструменту підтримки прийняття рішень в реальних умовах роботи.

Згідно поставленої мети були вирішені наступні завдання:

- створена імітаційна модель зернового терміналу морського порту за допомогою агентної парадигми в проектному середовищі AnyLogic 8.5 PLE;
- створена база даних для забезпечення імітаційної моделі зернового терміналу морського порту необхідною інформацією та накопичення інформації результатів моделювання;
- створено програмне забезпечення аналітичного дослідження результатів імітаційних експериментів моделі зернового терміналу морського порту.

Матеріали та методи дослідження. Загальний опис імітаційної моделі зернового терміналу включає наступний основний набір технологічних операцій:

- Розвантаження зерна з автотрейлерів, що надходять до автомобільних силосів: автотрейлер очікує, поки не стане доступною відповідна конвеєрна лінія автосилосів. Після цього вибирається автомобільний силос і вивантажується зерно. Після заповнення автомобільного силосу до 90 відсотків його потужності розпочинається процес вивантаження зерна в головні силоси.
- Вивантаження зерна з поїзда: поїзд доставляє зерно, і процес вивантаження в основні силоси починається негайно.
- Вивантаження зерна з головних силосів на судно: корабель причалює до одного з доступних причалів, кожен трюм судна може містити лише один тип зерна, однак типи зерна в різних трюмах можуть бути різними.

Реалізація дискретно-подійного агента обробки автотрейлерів імітаційної моделі зернового терміналу морського порту представлена на рис. 1.

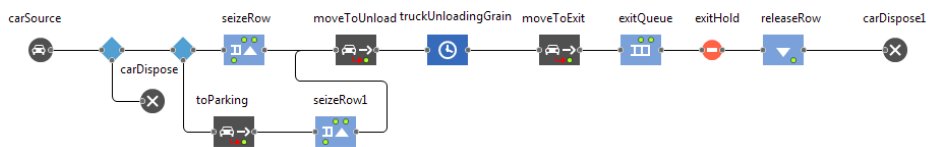


Рис. 1. Реалізація дискретно-подійного агента обробки автотрейлерів імітаційної моделі зернового терміналу морського порту

Фактично цей агент реалізує класичну СМО, яка обробляє заявки (автотрейлери з зерном), що прибувають на зерновий термінал порту та вивантажуються в проміжні автосилоси для подальшого вивантаження в основні силоси. Важливо відзначити, що процедура вивантаження в автосилоси та основні (причальні) силоси відбувається за допомогою конвеєрної системи терміналу. На рис 2 представлено агент імітаційної моделі конвеєрної системи зернового терміналу морського порту, створений за допомогою бібліотеки моделювання процесів AnyLogic 8.5 PLE[3].

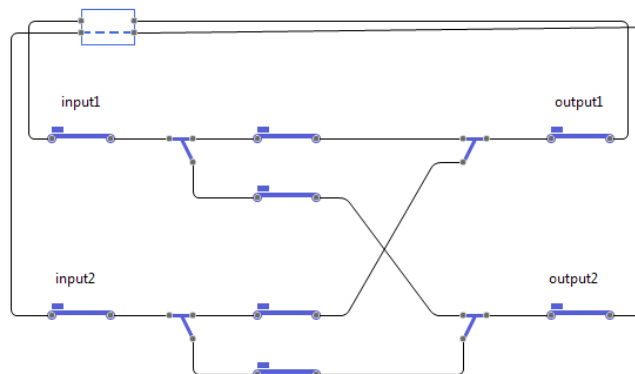


Рис. 2. Агент імітаційної моделі конвеєрної системи зернового терміналу морського порту

При цьому потокові діаграми агентів імітаційної моделі зернового терміналу морського порту, які відтворюють логіку завантаження в конвеєрну систему терміналу та вивантаження на судна з конвеєрної системи представлені нижче на рис. 3.

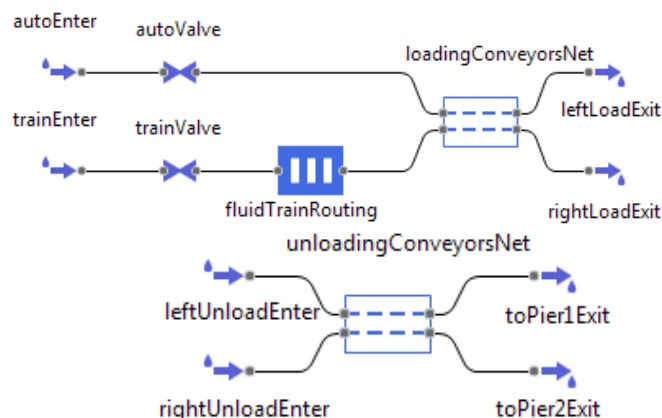


Рис. 3. Потокові діаграми агентів імітаційної моделі зернового терміналу морського порту, які відтворюють логіку завантаження в конвеєрну систему терміналу та вивантаження на судна

Логіка проходження зернових вантажів через систему силосів та конвеєрів імітаційної моделі зернового терміналу морського порту подана нижче на рис. 4.

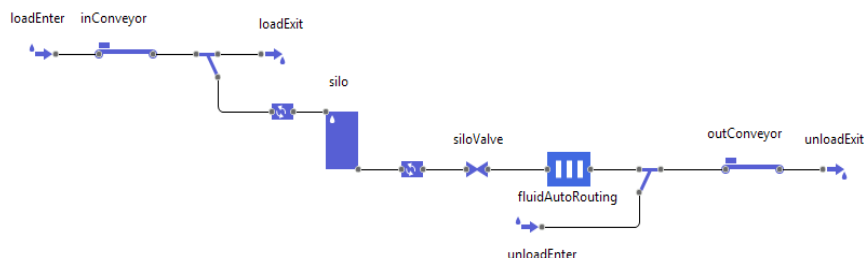


Рис. 4. Логіка проходження зернових вантажів через систему силосів та конвеєрів імітаційної моделі зернового терміналу

Реалізація дискретно-подійного агента обробки поїздів з зерном імітаційної моделі зернового терміналу морського порту представлена на рис. 5.

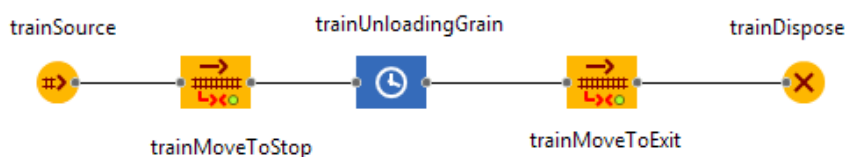


Рис. 5. Реалізація дискретно-подійного агента обробки поїздів з зерном імітаційної моделі зернового терміналу морського порту

Процедура відвантаження зернових через 2 причали терміналу морського порту передбачала створення дискретно-подійного агента завантаження суден(рис. 6)

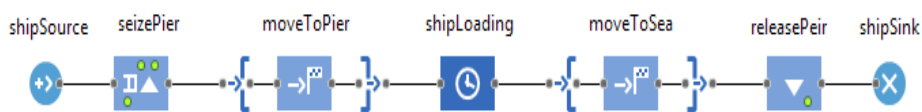


Рис. 6. Дискретно-подійний агент завантаження суден на причалі зернового терміналу

Та створення модулів-агентів відвантаження зерна з головних силосів до трюмів суден-зерновозів (рис. 7 та рис.8).

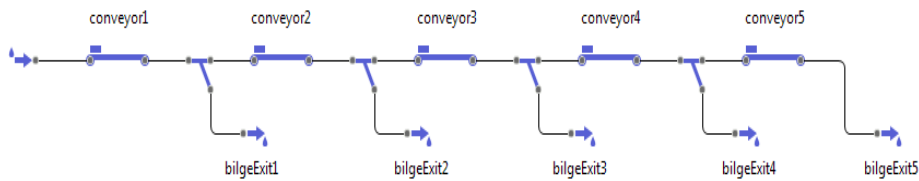


Рис. 7. Модуль-агент роботи конвеєра на причалі зернового терміналу

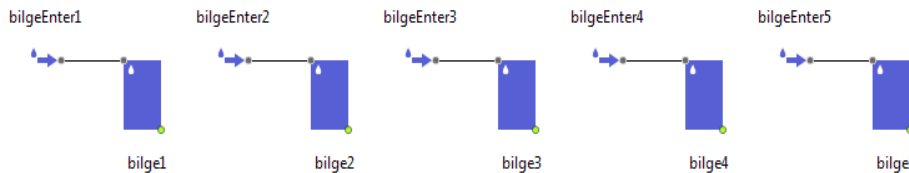


Рис. 8. Модуль-агент завантаження трюму судна зерновоза на причалі зернового терміналу

Взаємодія розглянутих агентів-моделей складає логіку взаємодії різних видів транспорту та виробничо-складських систем зернового терміналу морського порту. Параметризація та функціональний склад моделі зроблені таким чином.

Параметр: *silosCapacity* – місткість основного зернового силосу має значення за умовчанням 5000(т).

Параметр: *autoSiloCapacity* – місткість зернового силосу, куди розвантажуються автотрейлер після прибуття, має значення за умовчанням 1000(т).

Параметр: *autoSiloThr* – гранична місткість зернового силосу, куди розвантажуються автотрейлер після прибуття, після досягнення якої починається процес вивантаження в головні силоси на причалі (має значення за умовчанням $0,75 * autoSiloCapacity$).

Змінна: *bilgeCapacity* – місткість трюму судна-зерновоза, куди розвантажуються зерно з головних силосів на причалі, має значення за умовчанням 2000(т).

Параметр: *conveyorSpeed* – технічна швидкість конвеєрної системи має значення за умовчанням 10(т/год).

Параметр: *truckCapacity* – місткість трака-зерновоза має значення за умовчанням 125(т).

Параметр: *trainCapacity* – місткість поїзда-зерновоза має значення за умовчанням 1000(т).

Функція: *rescheduleTrucks* – реалізує логіку обробки(розвантаження) траків-зерновозів

Функція: *rescheduleTrain* – реалізує логіку обробки(розвантаження) поїздів з зерном

Функція: *isAbleToUnloadInstantly* – повертає логічне значення “істина”, якщо існує транспорт з зерном готовий для вивантаження.

Функція: *isAbleToUnload* – повертає логічне значення “істина”, якщо існує силос готовий для вивантаження транспорту.

Функція: *initializePiers* – повертає номер причалу для вивантаження зерна з головних силосів.

Функція: *anyCanGoToUnload* – повертає номер трака готового для вивантаження.

Функція: *canGoToUnload* – повертає логічне значення «істина» для трака готового вивантажуватися.

Змінна: *nRows* –кількість конвеєрів має значення 4.

Змінна: *silosPerRow* – кількість силосів має значення 4.

Функція: *canLoad* – визначає номер трюму судна-зерновоза.

Функція: *loadedAmount* – визначає місткість трюму судна-зерновоза.

Загальний вигляд взаємодії елементів моделі на рівні агента Main представлено на рис. 9.

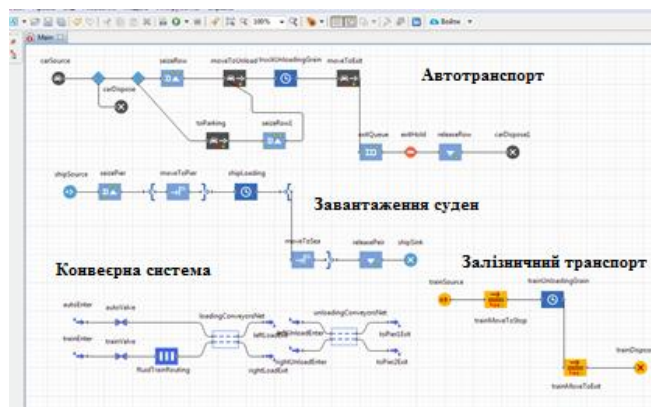


Рис. 9. Взаємодія агентів імітаційної моделі на рівні агента Main

Серед безлічі параметрів моделі були виділені ті з них, які є «факторами», вплив яких на вихідні змінні моделі повинен бути проаналізований. Основою цього аналізу була накопичена в базі даних інформація за попередній рік роботи терміналу.

Метою імітаційного експерименту було з'ясування показників роботи зернового терміналу за логікою «що-якщо». Результати імітаційного експерименту були зібрані як статистичні дані. «Прогін моделі» передбачав не тільки прогнозну мету, але й перевірку адекватності моделі за певні проміжки часу.

Основою подібного імітаційного експерименту була можливість моделі AnyLogic не тільки масштабувати модельний час (від $-1/1000$ до $+1000$), але й «стартувати» з певної часової позиції, зумовленої початковими даними цього періоду, накопиченими в базі даних. Тобто модельним часом був масштабований астрономічний час.

Отримана похибка моделювання (від 1% до 3%) засвідчила адекватність моделі на тих проміжках часу, коли робота терміналу не зупинялася (за об'єктивних або технічних причин).

Можливості AnyLogic при створенні імітаційних моделей дозволяють використовувати зокрема бази даних MS Access для вводу початкової інформації, а також збереження результатів моделювання та подальшої аналітичної обробки накопиченої інформації.

Створення бази даних зернового терміналу морського порту передбачало вирішення декількох задач:

- забезпечення первинною інформацією імітаційної моделі зернового терміналу морського порту;
- накопичення інформації результатів імітаційних експериментів моделі зернового терміналу морського порту;
- можливість аналітичного дослідження результатів імітаційних експериментів моделі зернового терміналу морського порту.

Структура бази даних зернового терміналу морського порту складається з наступних елементів:

- транспортний сегмент бази даних (таблиці причал, судно-зерновоз, залізничний транспорт, автозерновіз);
- вантажно-складський сегмент бази даних (таблиці проміжний силос, основний силос, конвеєр);
- документно-аналітичний сегмент бази даних (таблиці накопичені показники, поточні доходи, поточні витрати, заявка експортера, наряд на роботи);
- програмне забезпечення для аналітичних розрахунків.

Проведені експерименти з імітаційною моделлю зернового терміналу морського порту дозволили накопичити інформацію для подальшого аналітичного дослідження [4].

Як змінні аналітичного дослідження імітаційної моделі зернового терміналу морського порту виступають:

$DB^{(1)}(t)$ – поточний дохід експортного вантажопотоку морського порту на момент t від переробки зернових з урахуванням додаткових зборів на території країни.

$DB^{(2)}(t)$ – дохід терміналу від вантажовласників на протязі всього маршруту проходження замовлення.

$DB^{(3)}(t)$ – дохід терміналу від сплати вантажовласником вартості перевезення з урахуванням додаткових зборів за час перебування на території терміналу. Це стосується всіх замовлень, які надходять на експорт.

$DB^{(4)}(t)$ – дохід терміналу від транзитних перевезень зернових вантажів по замовленням за час перебування вантажу на митній території.

$DB^{(5)}(t)$ – поточний дохід терміналу при виконанні попутних замовлень за час попутного маршруту кожного із попутних замовлень.

$DB(t)$ – сумарні поточні доходи зернового терміналу.

$DB^*(T(t))$ – накопичений дохід зернового терміналу за період моделювання.

$DK^{(0)*}(T(t))$ – накопичений час перебування за весь період моделювання за наднормативні простої на зерновому терміналі.

$D^{(0)*}(T(t))$ – накопичення часу сумарних затримок виконання замовлень на внаслідок відсутності необхідної потужності – за весь період моделювання.

$PB^*(T(t))$ – накопичені сумарні витрати за весь період моделювання.

$PB(T(t))$ – накопичений прибуток терміналу.

$dPB(T(t))$ – усереднений прибуток терміналу.

Накопичений дохід зернового терміналу морського порту за весь період моделювання $T(t)$ буде дорівнювати:

$$DB^*(T(t)) = DB^*(t) + DB(t) \quad (1)$$

де $DB(t) = DB^{(1)}(t) + DB^{(2)}(t) + DB^{(3)}(t) + DB^{(4)}(t) + DB^{(5)}(t)$.

Для обчислення витратної частини визначається накопичений час наднормативного простою(затримки) вантажу за період моделювання $DK^{(0)*}(T(t))$, накопичений час затримок обслуговування замовлень внаслідок відсутності необхідних транспортних засобів за весь період моделювання $D^{(0)*}(T(t))$.

Накопичені витрати зернового терміналу морського порту за період моделювання будуть дорівнювати:

$$PB^*(T(t)) = DK^{(0)*} \cdot (T(t)) \cdot EK^{(0)} + D^{(0)*} \cdot (T(t)) \cdot E^{(0)}, \quad (2)$$

де $EK^{(0)}$ – добові витрати за наднормативну затримку(простій) замовлення.

$E^{(0)}$ – добові витрати за затримку(простій) замовлення.

Накопичений прибуток зернового терміналу морського порту визначається по формулі:

$$PB(T(t)) = DB^*(T(t)) - PB^*(T(t)). \quad (3)$$

Визначається усереднений прибуток зернового терміналу морського порту, який представляє собою математичне очікування величини, яку треба знайти, для отримання певної суми прибутку. Цей показник є прибутком, який очікується за одну добу роботи терміналу, що дасть можливість оцінити прибуток, який можна отримати в кінці планового періоду, показує завантаження зернового терміналу за цей період і визначається формулою:

$$dPB(T(t)) = PB(T(t)) : T(t). \quad (4)$$

Необхідно визначити таку стратегію управління функціонуванням зернового терміналу морського порту, при якій максимізується усереднений прибуток бази

Відповідний розрахунок економічних показників функціонування експортного зернового терміналу зроблено на підставі накопичених даних імітаційного моделювання в масштабі часу 1 рік ($365 \text{ днів} = 365 * 24 = 8760 \text{ годин}$).

На рис. 10 подані дані накопиченого доходу, накопичених витрат та накопиченого прибутку за модельований період (1 рік).

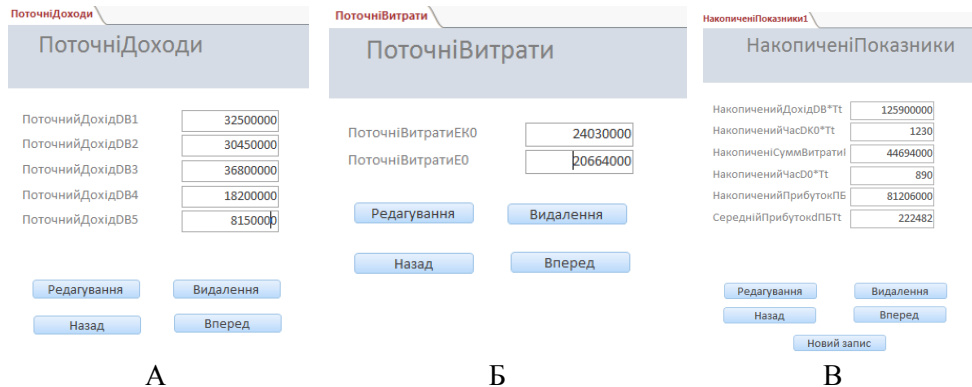


Рис. 10. Результат роботи аналітичного блоку імітаційної моделі зернового терміналу (де А – Поточні Доходи, Б – Поточні Витрати, В – Накопичені Показники)

Наведений алгоритм та програмне забезпечення визначення оптимальної економічної стратегії функціонування експортного зернового терміналу дає можливість знайти такий шлях використання терміналу, щоб збільшити прибутковість від господарчої діяльності, підняти конкурентоспроможність терміналу та вдосконалити його роботу.

Висновки. Розроблена імітаційна модель зернового терміналу морського порту, яка фактично є системою підтримки прийняття рішень відповідними службами в умовах змінної інформації від замовників, наявності ризиків технологічного та природнього характеру.

На основі проведеного за допомогою імітаційної моделі експериментального дослідження роботи зернового терміналу морського порту в різних технологічних умовах була підтверджена адекватність імітаційної моделі з урахуванням взаємодії різних видів транспорту: магістрального (морський, залізничний, автомобільний) та промислового транспорту зернового терміналу.

За допомогою інформаційно-аналітичного блоку, основу якого складає база даних імітаційної моделі зернового терміналу морського порту з відповідним програмним забезпеченням, були розраховані планові економічні показники роботи терміналу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Степанов О. Н. Стратегическое управление развитием морского порта. Одесса. Астропринт, 2005. 328 с.
2. Столяров Г. П., Афанасьева О. К., Корниец Т. Е. Организация и планирование производственной деятельности портов. Одесса. 2009. 164 с.
3. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование AnyLogic 5. СПб. БХВ-Петербург. 2006. 400 с.
4. Корнієнко В. П. Економіко-математичне моделювання функціонування системи контейнерних перевезень. Київ. 2006, с.18
5. Хемди А. Таха Введение в исследование операций: Глава 18. Имитационное моделирование. Operations Research: An Introduction. 7-е изд. М.: «Вильямс». 2007.
6. Строгалев В. П., Толкачева И. О.. Имитационное моделирование МГТУ им. Баумана. 2008.

7. Лоу А., Кельтон В. Имитационное моделирование [Simulation Modeling and Analysis]. СПб. Издательство: Питер. 2004. 848 с.
8. Фомин Г. П. Системы и модели массового обслуживания в коммерческой деятельности: учеб. пособие. М. Финансы и статистика. 2000.
9. Даденков С. А., Кон Е.Л. Имитационное моделирование дискретных информационных систем и сетей в среде AnyLogic. 2018 ISBN: 978-5-398-02073-1
10. Nestel D, Groom J, Eikeland-Husebo S, O'Donnell JM. Simulation for learning and teaching procedural skills: the state of the science. *Simul Healthc*. 2011. 6:10–3.
11. DeRienzo CM, Shaw RJ, Meanor P, Lada E, Ferranti J, Tanaka D. A discrete event simulation tool to support and predict hospital and clinic staffing. *Health Informatics J*. 2016;23:124–33.
12. Kriz WC. Types of gaming simulation applications. *Simul Gaming*. 2017;48:3–7.
13. Bhattacharjee P, Ray PK. Simulation modelling and analysis of appointment system performance for multiple classes of patients in a hospital: a case study. *Oper Res Health Care*. 2016;8:71–84.
14. Ilka Habenicht Simulation of a coal lading port SimPlan AG Sophie-Scholl-Platz 6 Hanau, 63452, Germany 978-1-5386-6572-5/18/ 2018 IEEE
15. Christoph Kogler A Discrete event simulation model to test multimodal strategies for a greener and more resilient wood supply in austria Institute of Production and Logistics University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna Feistmantelstrasse 4 Vienna, 1180. AUSTRIA
16. Asikainen, A.. Simulation of Logging and Barge Transport of Wood from Forests on Islands. *International Journal of Forest Engineering* 12(2). 2007. p.43–50.
17. Cabac, L. Multi-agent system: A guiding metaphor for the organization of software development projects. In: Carbonell, J.G. & Siekman, J., *Multiagent System Technologies. Lecture Notes in Artificial Intelligence* 4687. Springer: Berlin / Heidelberg, 2007. p 1-12
18. Gronalt, M., Rauch P.. Analyzing Rail Road Terminal Performance in the Timber Industry Supply Chain– a Simulation Study. *International Journal of Forest Engineering*. Published online: 2.8.2018. p.1–9.
19. Karttunen K., L. Ldtild, O.J., Korpinen, Ranta T. Cost-efficiency of Intermodal Container Supply Chain for Forest Chips. *Silva Fennica* 47(4) 2013. p.1–24.
20. Karttunen, K., K. Vaatainen, A. Asikainen, Ranta T.. The Operational Efficiency of Waterway Transport of Forest Chips on Finland's Lake Saimaa. *Silva Fennica* 46(3) 2012:p.395–413.
21. Mobini, M., J. C. Meyer, F. Trippe, T. Sowlati, M. Frohling, Schultmann F. Assessing the Integration of Torrefaction into Wood Pellet Production. *Journal of Cleaner Production* 78. 2014. p.216–225.
22. Mobini, M., T. Sowlati, Sokhansanj S. A Simulation Model for the Design and Analysis of Wood Pellet Supply Chains. *Applied Energy* 111. 2013. p.1239–1249.
23. Saranen, J., Hilmola O.-P. Evaluating the Competitiveness of Railways in Timber Transports with Discrete-event Simulation. *World Review of Intermodal Transportation Research* 1(4). 2007. p.445–458.
24. Wolfsmayr, U. J., R. Merenda, P. Rauch, F. Longo, M. Gronalt. Evaluating Primary Forest Fuel Rail Terminals with Discrete Event Simulation: a Case Study from Austria. *Annals of Forest Research* 59(1). 2016. p.145–164.

REFERENCES

1. Stepanov O. N. (2005). Strategicheskoe upravlenie razvitiem morskogo porta. [*Seaport Development Strategic Management*] Odessa. Astroprint. [in Russian].
2. Stolyarov G.P., Afanas`eva O.K., Korniecz T.E. (2009) Organizacziya i planirovanie proizvodstvennoj deyatel`nosti portov [*Organization and planning of production activities of ports*]. Odessa. [in Russian]
3. Karpov Yu. (2006) Imitacionnoe modelirovanie sistem. Vvedenie v modelirovanie AnyLogic 5. [*Simulation systems. Introduction to AnyLogic 5 modeling*]. SPb. BKhV-Peterburg.. [in Russian]
4. Kornijenko V.P. (2006) Ekonomiko-matematichne modelyuvannya funkczij onuvannya sistemi kontejnernih perevezhen. [*Economy-mathematical model of the function of the container system and container transportation*] Kiyiv. [in Russian]
5. Khemdi A. Takha (2007). Vvedenie v issledovanie operaczij: Glava 18. Imitacionnoe modelirovanie. [*Introduction to Operations Research: Chapter 18. Simulation*] Operations Research: An Introduction. 7-e izd. Moskva: «Vil'yams». [in Russian]
6. Strogalev V. P., Tolkacheva I. O. (2008) Imitacionnoe modelirovanie. [*Simulation*] MGTU im. Bauman..
7. Lou A., Kel`ton V. (2004) Imitacionnoe modelirovanie [*Simulation Modeling and Analysis*]. SPb. Izdatel`stvo:Piter.. [in Russian]
8. Fomin G. P. (2000) Sistemy` i modeli massovogo obsluzhivaniya v kommercheskoj deyatel`nosti/ [*Queuing systems and models in commercial activities*] ucheb. Posobie. M. Finansy` i statistika. [in Russian]
9. Dadenkov S. A., Kon E.L. (2018) Imitacionnoe modelirovanie diskretny`kh informaczionny`kh sistem i setej v srede AnyLogic. [*Simulation of discrete information systems and networks in AnyLogic environment*] ISBN: 978-5-398-02073-1 [in Russian]
10. Nestel D, Groom J, Eikeland-Husebo S, O'Donnell JM. (2011) Simulation for learning and teaching procedural skills: the state of the science. *Simul Healthc*.. 6:10–3.

11. DeRienzo CM, Shaw RJ, Meanor P, Lada E, Ferranti J, Tanaka D. (2016) A discrete event simulation tool to support and predict hospital and clinic staffing. *Health Informatics J.*; 23:124–33.
12. Kriz WC. (2017) Types of gaming simulation applications. *Simul Gaming*; 48:3–7.
13. Bhattacharjee P, Ray PK. (2016) Simulation modelling and analysis of appointment system performance for multiple classes of patients in a hospital: a case study. *Oper Res Health Care.* 8:71–84.
14. Ilka Habenicht (2018) Simulation of a coal lading port SimPlan AG Sophie-Scholl-Platz 6 Hanau, 63452, Germany 978-1-5386-6572-5/18/ IEEE
15. Christoph Kogler A/ Discrete event simulation model to test multimodal strategies for a greener and more resilient wood supply in austria Institute of Production and Logistics University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna Feistmantelstrasse 4 Vienna, 1180. AUSTRIA
16. Asikainen, A. (2007). Simulation of Logging and Barge Transport of Wood from Forests on Islands. *International Journal of Forest Engineering* 12(2). p.43–50.
17. Cabac, L. (2007) Multi-agent system: A guiding metaphor for the organization of software development projects. In: Carbonell, J.G. & Siekman, J., *Multiagent System Technologies. Lecture Notes in Artificial Intelligence* 4687. Springer: Berlin / Heidelberg, p 1-12
18. Gronalt, M., Rauch P. (2018) Analyzing Rail Road Terminal Performance in the Timber Industry Supply Chain– a Simulation Study. *International Journal of Forest Engineering*. Published online: 2.8. p.1–9.
19. Karttunen K., L. Lдттiлд, O.J., Korpinen, Ranta T. (2013) Cost-efficiency of Intermodal Container Supply Chain for Forest Chips. *Silva Fennica* 47(4).p.1–24.
20. Karttunen, K., K. Vaatainen, A. Asikainen, Ranta T. (2012) The Operational Efficiency of Waterway Transport of Forest Chips on Finland's Lake Saimaa. *Silva Fennica* 46(3) p.395–413.
21. Mobini, M., J. C. Meyer, F. Trippe, T. Sowlati, M. Frohling, Schultmann F. (2014) Assessing the Integration of Torrefaction into Wood Pellet Production. *Journal of Cleaner Production* 78. p.216–225.
22. Mobini, M., T. Sowlati, Sokhansanj S. A (2013) Simulation Model for the Design and Analysis of Wood Pellet Supply Chains. *Applied Energy* 111. p.1239–1249.
23. Saranen, J., Hilmola O.-P. (2007) Evaluating the Competitiveness of Railways in Timber Transports with Discrete-event Simulation. *World Review of Intermodal Transportation Research* 1(4). p.445–458.
24. Wolfsmayr, U. J., R. Merenda, P. Rauch, F. Longo, M. Gronalt. (2016) Evaluating Primary Forest Fuel Rail Terminals with Discrete Event Simulation: a Case Study from Austria. *Annals of Forest Research* 59(1). 2016. p.145–164.

Кичкин А.В.

(старший преподаватель Восточноевропейского национального университета имени Владимира Даля)

Кичкина Е.И.

(к.т.н., доцент Восточноевропейского национального университета имени Владимира Даля)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПОРТНОГО ЗЕРНОВОГО ТЕРМИНАЛА МОРСКОГО ПОРТА

В статье представлена имитационная модель зернового терминала морского порта, созданная в среде AnyLogic 8.5 PLE. В качестве парадигмы моделирования выбрана агентная парадигма, что позволило адекватно воспроизвести процесс взаимодействия автомобильного, железнодорожного и промышленного транспорта в процессе переработки зерновых грузов. С этой целью были разработаны основные модели-агенты, которые взаимодействуют между собой и формируют общий технологический процесс переработки зерна морским терминалом. Взаимодействие созданных агентов-моделей составляет логику взаимодействия различных видов транспорта и производственно-складских систем зернового терминала морского порта. На основе проведенного с помощью имитационной модели экспериментального исследования работы зернового терминала морского порта в различных технологических условиях была подтверждена ее адекватность с учетом взаимодействия различных видов транспорта: магистрального (морской, железнодорожный, автомобильный) и промышленного транспорта зернового терминала.

Для информационной поддержки был создан информационно-аналитический блок, основу которого составляет база данных имитационной модели зернового терминала морского порта с соответствующим программным обеспечением. Создание базы данных зернового терминала морского порта предусматривало обеспечение первичной информацией

имитационной модели; накопление информации результатов имитационных экспериментов; возможность аналитического исследования результатов имитационных экспериментов.

Соответствующий расчет экономических показателей функционирования экспортного зернового терминала сделан на основании накопленных данных имитационного моделирования с помощью разработанного программного обеспечения, что позволило обеспечить эффективность не только технологических, но и экономических решений.

Разработанная имитационная модель зернового терминала морского порта и его информационно-аналитический блок фактически являются системой поддержки принятия решений соответствующими службами терминала в условиях переменной информации от заказчиков, наличии рисков технологического и природного характера.

Ключевые слова. Имитационная модель, зерновой терминал, взаимодействие видов транспорта, аналитическое исследование, система поддержки принятия решений, информационно-аналитический блок.

Kichkin A.V.

(Senior Lecturer of the East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl)

Kichkina E.I.

(Ph.D., associate professor of the East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl)

SIMULATION MODELING AND ANALYTICAL STUDIES OF THE EXPORT GRAIN TERMINAL OF THE SEA PORT

The article presents a simulation model of a seaport grain terminal, created in the AnyLogic 8.5 PLE environment. The agent paradigm was chosen as the modeling paradigm, which allowed to adequately reproduce the process of interaction of road, rail and industrial transport in the process of grain processing. To this end, the main models-agents have been developed that interact with each other and form the overall technological process of grain processing by the marine terminal. The interaction of the created agents-models makes the logic of interaction of different types of transport and production and storage systems of the grain terminal of the seaport. On the basis of an experimental study of the grain terminal of the seaport in different technological conditions, its adequacy was confirmed taking into account the interaction of different modes of transport: main (sea, rail, road) and industrial transport of the grain terminal.

For information support, an information-analytical part was created, the basis of which is a database of a simulation model of a grain terminal of a seaport with the appropriate software. The creation of a database of the grain terminal of the seaport provided the primary information of the simulation model; accumulation of information on the results of simulation experiments; the possibility of analytical study of the results of simulation experiments.

The corresponding calculation of economic indicators of functioning of the export grain terminal is made on the basis of the accumulated data of simulation modeling by means of the developed software which has allowed to provide efficiency not only technological, but also economic decisions.

The developed simulation model of the grain terminal of the seaport and its information-analytical part is in fact a system of decision support by the relevant services of the terminal in the conditions of variable information from customers, the presence of technological and natural risks.

Keywords: *simulation model, grain terminal, interaction of modes of transport, analytical research, decision support system, information-analytical unit.*

УДК 629.44

Фомін Олексій Вікторович, д.т.н., проф.,
(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій, м.Київ)

Горбунов Микола Іванович, д.т.н., проф.,
(зав. кафедри Залізничного, автомобільного транспорту та підйомнотранспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, м. Сєвєродонецьк)

Кара Сергій Віталійович, к.т.н.,
(начальник управління інжинірингу, філія «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця», м.Київ)

Прокопенко Павло Миколайович,
(аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій, м.Київ)

Гриндей Петро Онисимович,
(залучений фахівець управління інжинірингу філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця», м.Київ)

СТВОРЕННЯ ВИСОКОТОЧНОЇ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ ТРЬОХЕЛЕМЕНТНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

Розроблено 3D-модель та розрахункову модель візка вантажного вагону типу 18-100. Проведено валідацію розрахункової моделі у порівнянні з комплексом ходових випробувань. Проведено розрахунки та оцінено показники міцності та опору втомі для подальших досліджень. На основі проведених розрахунків встановлено ймовірні зони накопичення втомі.

Ключові слова: рухомий склад, вантажний вагон, несівні конструкції, міцність, модель, розрахунки, САПР.

Вступ. З метою проведення аналізу напружено-деформованого стану від статичних та динамічних навантажень бічних рам та надресорних балок трьохелементної конструкції візка вантажного вагону, з урахуванням уточнених математичних моделей, результатів випробувань, які проводяться на сучасному та високоточному випробувальному обладнанні, виникає потреба у створенні високоточної розрахункової моделі трьохелементної конструкції візка вантажного вагону в системі автоматизованого проектування (далі – САПР). Візок вантажного вагону типу 18-100 під час обладнання його засобами вимірювальної техніки для проведення ходових міцнісних та ходових динамічних випробувань приведено на рис. 1.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Як аналогічне дослідження можна виділити: [1] – створення розрахункових моделей, врахування наднормативних сил, що діють здебільшого на сортувальних гірках, при цьому точність розрахунків потребує додаткових досліджень; [2] – оцінено вплив уданих навантажень на запас опору втомі, не застосовано високоточних розрахунків у САПР;

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-11



Рис. 1. Візок вантажного вагону типу 18-100 під час обладнання його засобами вимірювальної техніки

[3] – враховано в розрахунковій моделі внутрішні литі дефекти; [4] – розроблено математичну модель для врахування сил, що діють на візок. Дослідження щодо проведення розрахунків візків у САПР проводяться такими організаціями, як СНУ ім. В. Даля, ДУІТ, ДІТ, ДП «УкрНДІВ», філія «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця», ПАТ «КВБЗ», ВНИИЖТ тощо. В рамках цієї роботи досліджується можливість створення високоточної розрахункової моделі трьохелементної конструкції візка вантажного вагону на основі використання найбільш сучасних технологій САПР та багатоступінчастої валідації з комплексом ходових міцнісних випробувань.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – створення високоточної розрахункової моделі трьохелементної конструкції візка вантажного вагону типу 18-100 з урахуванням результатів дослідницьких ходових випробувань.

Для досягнення поставленої мети були визначені і вирішені такі завдання:

аналіз раніше проведених досліджень в даній області;

аналіз конструкторської документації на візки типу 18-100;

створення 3D-моделі у САПР та розрахункових моделей;

проведення статичних міцнісних розрахунків та попередніх динамічних розрахунків;

проведення випробувань для оцінки блоків навантажень з урахуванням результатів попередніх розрахунків;

проведення уточнених динамічних розрахунків та валідація моделі, у разі потреби вдосконалення моделей;

оцінка результатів дослідження.

Матеріали і методи дослідження. Ходові міцнісні розрахунки приведено згідно [5–7]. При створенні високоточної розрахункової моделі враховано результати досліджень [1–4]. Проведення розрахунків у програмному комплексі САПР SolidWorks побудовано на використанні методу скінчених елементів.

Результати досліджень. Модель візка крім основних несівних елементів – бічна рама та надресорна балка (далі – НК) доповнена додатковими елементами. Додаткові елементи використовують для моделювання зв'язків між тілами, які представляють собою геометричні примітиви. Ці допоміжні елементи змодельовані абсолютно жорсткими тілами. Додаткові елементи та НК пов'язані між собою пружними елементами з жорсткістними характеристиками відсутнього тіла. Відсутнє тіло – це елемент конструкції, який контактує з НК рами візка 18-100 та передає зусилля або момент сил, або приймає участь в обмеженні руху. Додатковими елементами для рами візка 18-100 є: колісна вісь з буксами, клини та кузов вагону. 3D-модель розрахункової рами візка 18-100 подана на рис. 2.

Фрикційний клин змодельовано абсолютно жорстким тілом. Нормальна жорсткість між «боковою балкою – клином» та «між клином – надресорною балкою» визначається за допомогою комп'ютерного моделювання.

Жорсткість «балка-клин»: 9030321 Н/м. Жорсткість «клин-надресорна балка»: $1,191 \cdot 10^9$ Нм.

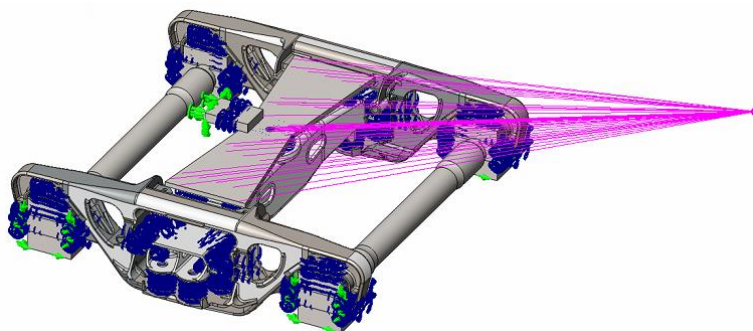


Рис. 2. Модель візка типу 18-100

При побудові динамічної моделі елементи буксового вузла візка 18-100 а саме букса та колісна пара представлені абсолютно твердими тілами та зв'язані з боковиною пружними елементами високої жорсткості.

До пружних елементів шворневого вузла візка 18-100 відносимо контакт між кузовом та надресорною балкою. Жорсткість контакту між кузовом та підп'ятником та скользунном: $210 \cdot 10^9$ Н/м.

На рис. 3 а приведено схему з'єднання бічної рами з клинами та надресорною балкою, на рис. 3 б приведено схему з'єднання бічної рами з буксами, на рис. 3 в приведено схему з'єднання надресорної балки з кузовом вагону. Значення маси, її положення у просторі та інерційні показники моделюються у САПР згідно схеми, приведеної на рис. 4.

Один зі ступенів валідації моделі є порівняння частот коливань візка під час дослідної поїздки та під час моделювання (модального аналізу). Приклад амплітудного спектру деформацій двох тензодатчиків на верхньому поясі бічної приведено на рис. 5 (а, б).

Для перших трьох мод (розрахункової моделі) похибки складають 1,7%; 5,3%; 1,5%. Розраховані частоти узгоджуються з результатами випробувань, це означає що розрахункова модель побудована вірно.

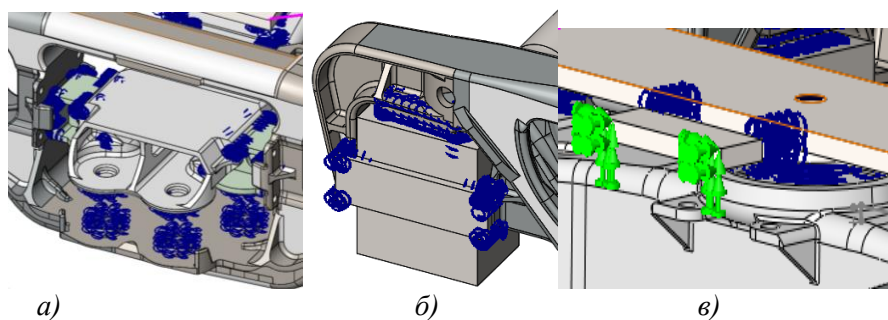


Рис. 3. Модель з'єднання елементів візка типу 18-100

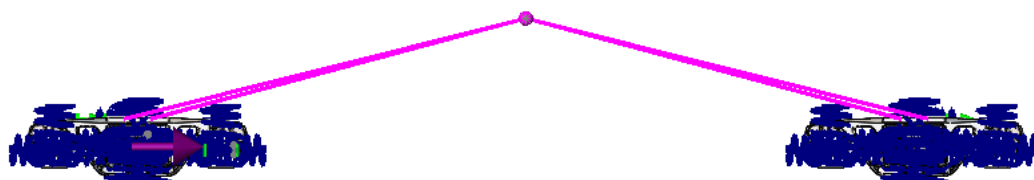


Рис. 4. Модель з'єднання візка з кузовом

Наступним етапом валідації є порівняння середньоквадратичних значень отриманих з випробувань та розрахункових напружень. Для цього під час ходових випробувань формуються блоки навантажень з дослідних тензорезисторів, акселерометрів. На основі прикладання блоків навантажень прискорень букс та бічних рам, проводяться порівняння середньоквадратичних значень напружень, отриманих з випробувань та розрахункових – рис. 6. На рис. 7 приведено приклад епюри середньоквадратичних значень дотичних напружень – а); приклад епюри статичних дотичних напружень від сил тяжіння – б).

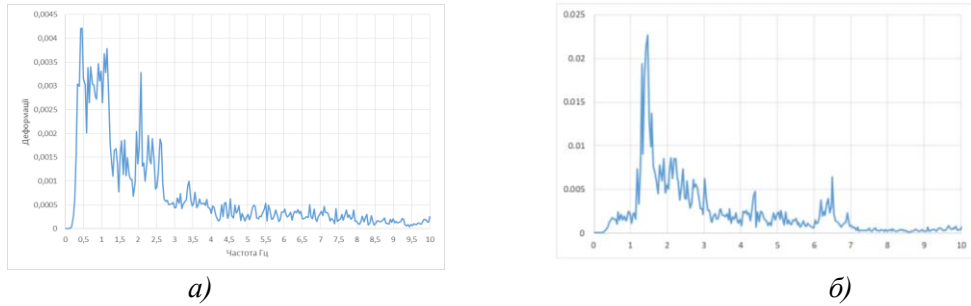


Рис. 5. Амплітудний спектр деформацій на верхньому поясі бічної рами візка

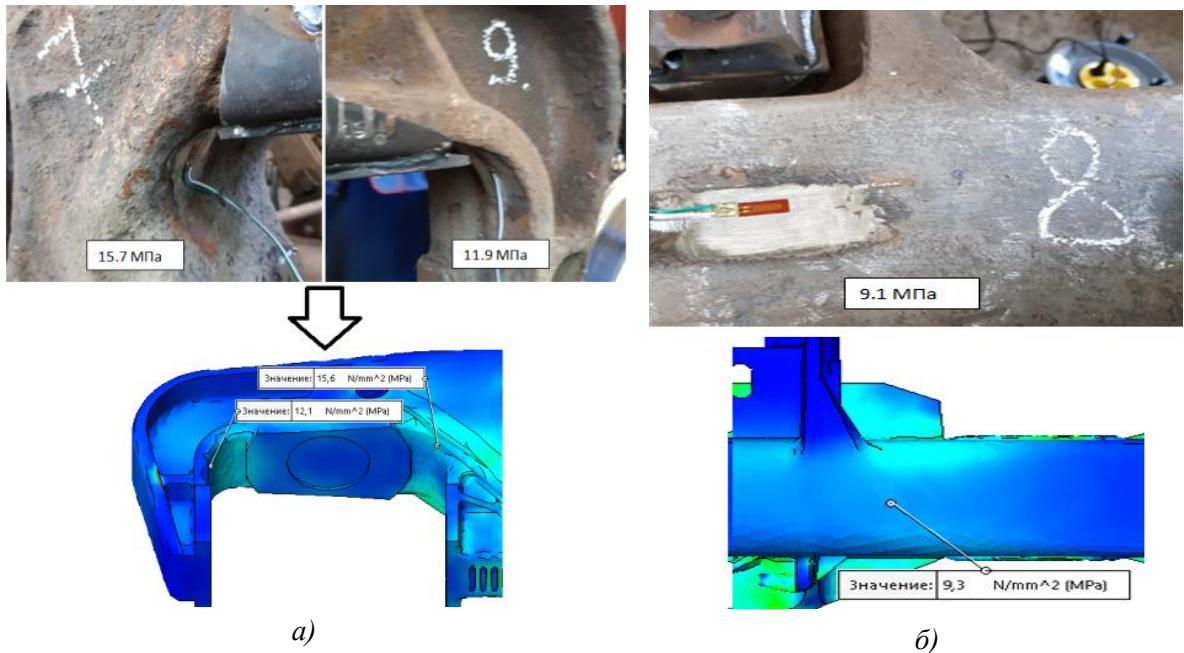


Рис. 6. Порівняння рівнів експериментальних та розрахункових динамічних напружень бічної рами візка

За результатами проведених досліджень напружено-деформованого стану та втомної довговічності несучих конструкцій рами візка 18-100 зроблено наступні висновки.

- В рамі візка 18-100 встановлено 13 імовірних зон виникнення пошкоджень:
- зона 1: галтельний перехід від зовнішнього бурту підп'ятника до верхнього поясу;
 - зона 2: кромки технологічних отворів верхнього поясу;
 - зона 3: внутрішній борт підп'ятника;
 - зона 4: перехід нижнього поясу в бокову стінку;
 - зона 5: радіусні переходи R55 буксового прорізу (внутрішні);
 - зона 6: кромка технологічного отвору;
 - зона 7: кромка технологічного отвору;
 - зона 8: кромка технологічного отвору;
 - зона 9: кут ресорного прорізу нижній;

зона 10: радіусні переходи направляючого бурта;
 зона 11: технологічний отвір над буксовим прорізом;
 зона 12: галтельний перехід від зовнішнього бурту підп'ятника до верхнього поясу;
 зона 13: радіусні переходи R55 буксового прорізу (зовнішні).

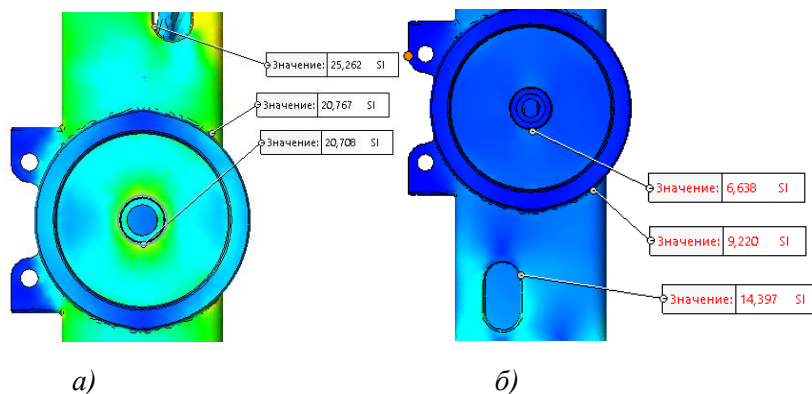


Рис. 7. Епюра середньоквадратичних значень дотичних напружень, статичних дотичних напружень від сил тяжіння

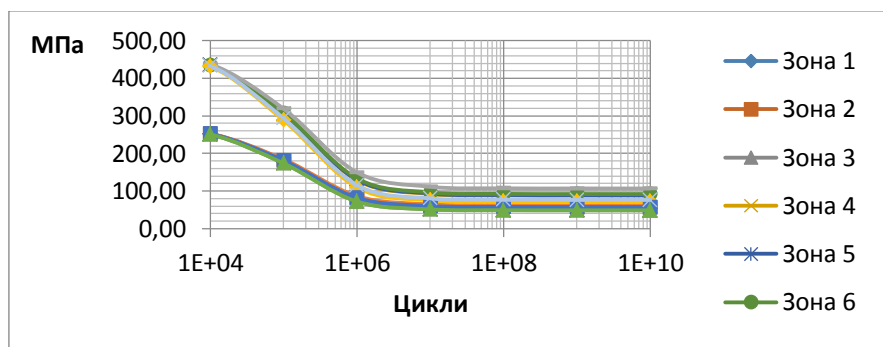


Рис. 8. Криві втоми

Згідно з [8], з урахуванням схематизованих діаграм з визначення границь витривалості, будуються криві втоми за параметром імовірності відмови для кожної дослідної зони НК візка. Криві втоми для всіх 13 зон приведено на рис. 8.

Параметри скінчено-елементної моделі візка вантажного вагону приведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Параметри скінчено-елементної моделі візка вантажного вагону

№ п/п	Параметр скінчено-елементної моделі	Значення
1	Розмір елемента	12 і 6
2	Кількість елементів	2298613
3	Кількість вузлів	555374

Таким чином, з урахуванням [1, 5–7, 9–11] розроблено високоточну розрахункову модель трьохелементної конструкції візка вантажного вагону, яка враховує якісну 3D-модель, пружні зв'язки візка, двоступінчасту валідацію моделі (по прискоренням на напруженням при експериментально отриманих блоках навантажень). Розроблена модель дозволяє проводити більш глибокі дослідження напружено-деформованого стану візка вантажного вагону з урахуванням модернізацій, різноманітних блоків навантажень для існуючих та перспективних завдань.

Ця публікація виконана в рамках проекту: «Розроблення концептуальних засад для

відновлення ефективного функціонування застарілих вантажних вагонів (Development of conceptual frameworks for restoring the efficient operation of obsolete freight cars)» (Рестраційний номер проєкту: 2020.02/0122), фінансування якого здійснюється Національним фондом досліджень України за кошти державного бюджету.

Висновки. Розроблено високоточну розрахункову модель трьохелементної конструкції візка вантажного вагона, яка враховує розробку 3D-моделі, пружних зв'язки візка, проведення та оцінку результатів ходових випробувань, двоступінчасту валідацію моделі. За результатами порівняння рівнів прискорень елементів візка похибки знаходяться на рівні 1,5–5,3%.

На основі розробленої моделі візка вантажного вагону, проведено комплекс розрахунків та встановлено ймовірні зони накопичення втоми: галтельний перехід від зовнішнього бурту під'ятника до верхнього поясу, кромки технологічних отворів верхнього поясу, внутрішній борт під'ятника, перехід нижнього поясу в бокову стінку, радіусні переходи буксового прорізу R55 (з обох сторін буксового прорізу), кромки всіх технологічних отворів, нижній кут ресорного прорізу, радіусні переходи направляючого бурта, технологічний отвір над буксовим прорізом, галтельний перехід від зовнішнього бурту під'ятника до верхнього поясу.

Розроблена модель дозволяє проводити більш глибокі дослідження напружено-деформованого стану візка вантажного вагону з урахуванням модернізацій, різноманітних блоків навантажень для існуючих та перспективних завдань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кара С.В. Підвищення міцності та покращення показників динаміки елементів ходової частини вантажних вагонів шляхом конструктивного вдосконалення: дис. канд. техн. наук / С.В. Кара. Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2018. – 146 с.
2. Сенько В.И. Анализ причин повреждения и возможности продления срока службы боковых рам тележек грузовых вагонов / В.И. Сенько, М.И. Пастухов, С.В. Макеев, И.Ф. Пастухов. – Гомель: *Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого*. №4, 2010. – С. 13–18.
3. Разуметов Я.О. Повышение прочности боковых рам тележек грузовых вагонов: дис. канд. техн. наук / Я.О. Разуметов. – Санкт-Петербург, 2014. – 145 с.
4. Туранов Х.Т., Ситников С.А. Математическое моделирование сил, действующих на вагон при скатывании с горки / Х.Т. Туранов, С.А. Ситников. – Луганск: *Вісник СНУ ім. В. Даля*. №12, Ч. 1, 2011. – С. 225–236.
5. РД 24.050.37-95 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – М., 1995 г.
6. ДСТУ ГОСТ 33211:2017 Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей.
7. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных). ВНИИВ-ВНИИЖТ. М., 1983.
8. РД 50-694-90 Методические указания. Надежность в технике. Вероятностный метод расчета на усталость сварных конструкций. М. – 1991, 84 с.
9. Fomin, O. Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry / O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsybaliuk, O. Burlutski. – *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 7, Issue 1 (97), 2019. — P. 33–40. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154282.
10. Fomin Oleksij Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry / Fomin Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, Vladimir Hauser. – *Communications-Scientific letters of the University of Zilina* 21, no. 1, 2019. – P. 28–34.
11. Turpak S.M. Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production / S.M. Turpak, I.O. Taran, O.V. Fomin, O.O. Tretiak. – *Scientific Bulletin of National Mining University*, Issue 1, 2018. – P. 162–169 DOI: 10.29202/nvngu/2018-1/3.
12. Бондарев А.М. Оценка ресурса несущих конструкций подвижного состава и разработка мероприятий по продлению его срока службы / А.М. Бондарев, В.Л. Горобец, В.В. Колбун, Д.А. Ягода, И.М. Грушак, Л.А. Манашкин. – Днепр: *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Вип. 30, 2009. – С. 92–102.
13. ДСТУ 2444-94 Розрахунки та випробування на міцність. Опір втоми. Терміни та визначення. Київ Держстандарт України 1994, – 23 с.
14. ДСТУ 2825-94 Розрахунки та випробування на міцність. Терміни та визначення основних понять. Київ Держстандарт України 1994, – 41с.
15. ВНД.32.0.07.123-03 Положення про організацію робіт щодо продовження термінів служби тягового рухомого складу Укрзалізниці (рам візків, головних рам кузовів і кузовів) Міністерство транспорту України, 2003 – 16 с.

REFERENCES

1. Kara S. (2018) *Pi`dvishhennya mi`cznosti` ta pokrashhennya pokazniki`v dinami`ki elementi`v khodovoyi chastini vantazhnikh vagoni`v shlyakhom konstruktivnogo vdoskonalennya* [Strength improvement and dynamics indicators improvement of elements of freight cars crew by constructive improvement] Severodoneck [in Ukrainian].
2. Senko V., Pastuhov M., Makieev S., Pastuhov I. (2010) *Analiz prichin povrezhdeniya i vozmozhnosti prodleniya sroka sluzhby` bokovy`kh ram telezhek gruzovy`kh vagonov* [Analysis of the causes of damage and the possibility of extending the service life of the side frames of freight car bogies] Bulletin of GSTU im. B.Y. Sukhoi. [in Russian].
3. Razumetov Ya. (2014) *Povy`shenie prochnosti bokovikh ram telezhek gruzovy`kh vagonov* [Strengthening the side frames of freight car bogies] St. Petersburg [in Russian].
4. Turanov Kh., Sitnikov S. *Matematicheskoe modelirovanie sil, vozdeystvuyushhikh na vagon pri skaty`vanii s gorki* [Mathematical modeling of forces acting on a car when rolling down a hill] Luhansk: Visnik SNU im. V. Dahl [in Russian].
5. RD 24.050.37-95 (1995) *Vagony` gruzovy`e i passazhirskie. Metody` ispy`taniy na prochnost` i khodovy`e kachestva* [Freight and passenger cars. Test methods for strength and driving performance] Moscow [in Russian].
6. DSTU GOST 33211:2017 (2017) *Vagoni vantazhni`. Vimogi do mi`cznosti` ta dinami`chnikh yakostej* [Freight cars. Requirements for strength and dynamic qualities]. Ukraine [in Ukrainian].
7. Standard (1983) *Normy` dlya rascheta i proektirovaniya novy`kh i moderniziruemy`kh vagonov zhelezny`kh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodny`kh)* [Standards for calculation and design of new and modernized railway cars of the Ministry of Railways of 1520 mm gauge (non-self-propelled)]. Moscow: VNIIV-VNIIZHT [in Russian].
8. RD 50-694-90 (1991) *Metodicheskie ukazaniya. Nadezhnost` v tekhnike. Veroyatnostny`j metod rascheta na ustalost` svarny`kh konstrukcij* [Methodical instructions. Reliability in technology. Probabilistic method of fatigue analysis of welded structures]. Moscow [in Russian].
9. Fomin, O., Lovska A., Masliyev V., Tsymbaliuk A., Burlutski 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 [in English].
10. Fomin O. Gerlici Juraj, Lovska Alyona, Kravchenko Kateryna, Prokopenko Pavlo, Fomina Anna, Hauser Vladimir (2019) Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry. Communications-Scientific letters of the University of Zilina [in English].
11. Turpak S.M. I.O. Taran, O.V. Fomin, O.O. Tretiak. (2018) Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production. Scientific Bulletin of National Mining University, Issue 1 [in English].
12. Bondarev A.M., Gorobecz V.L., Kolbun V.V., Yagoda D.A., Grushhak I.M., Manashkin L.A. (2009) *Oczenka resursa nesushhikh konstrukcij podvizhnogo sostava i razrabotka meropriyatij po prodleniyu ego sroka sluzhby`* [Assessment of the resource of the bearing structures of the rolling stock and the development of measures to extend its service life] Dnipro: DIIT [in Russian].
13. DSTU 2444-94 (1994) *Rozrakhunki ta viprobuvannya na mi`czni`st`. Opi`r vtomi`. Termini ta viznachennya* [Calculations and strength tests. Resistance to fatigue. Terms and definitions]. Kyiv: State Standard of Ukraine.
14. DSTU 2825-94 (1994) *Rozrakhunki ta viprobuvannya na mi`czni`st`. Termini ta viznachennya osnovnykh ponyat`* [Calculations and strength tests. Terms and definitions of basic concepts]. Kyiv: State Standard of Ukraine [in Ukrainian].
15. IRD.32.0.07.123-03 (2003) *Polozhennya pro organi`zaczi`yu robi`t shhodo prodovzhennya termi`ni`v sluzhbi tyagovogo rukhomogo skladu Ukrzali`zniczi` (ram vi`zki`v, golovnykh ram kuzovi`v i` kuzovi`v)* [Regulations on the organization of work to extend the service life of traction rolling stock of Ukrzaliznytsia (frames of carts, main frames of bodies and bodies)] Kyiv: Ministry of Transport of Ukraine, Ukrzaliznytsia [in Ukrainian].

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

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

*Кара Сергей Витальевич, к.т.н.,
(начальник управления инжиниринга филиала «Научно-исследовательский и опытно-
конструкторский институт железнодорожного транспорта» АО «Укрзалізниця», г. Киев)*

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

*Гриндей Петр Анисимович,
(специалист филиала «Научно-исследовательский и опытно-конструкторский
институт железнодорожного транспорта» АО «Укрзалізниця», г. Киев)*

СОЗДАНИЕ ВЫСОКОТОЧНОЙ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ТРЕХЭЛЕМЕНТНОЙ КОНСТРУКЦИИ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

*Разработана 3D-модель и расчетная модель тележки грузового вагона типа 18-100.
Проведено валидацию расчетной модели по сравнению с комплексом ходовых испытаний.
Проведены расчеты и оценены показатели прочности и сопротивления усталости для
дальнейших исследований. На основе проведенных расчетов установлено вероятные зоны
накопления усталости.*

Ключевые слова: подвижной состав, грузовой вагон, несущие конструкции, прочность,
модель, расчеты, САПР.

*Fomin Oleksiy Viktorovych, Doctor of Technical Sciences, Professor,
(Professor of the Department of Wagons and Carriage Economy, State University of
Infrastructure and Technologies, Kyiv)*

*Gorbunov Mykola Ivanovych, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Professor, Head of the Department "Railway, Road Transport and Hoisting and Transport
Machines", V. Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk)*

*Kara Sergey Vitalievich, Ph.D.,
(Head of Engineering Department, Branch "Research and Development Institute of Railway
Transport" JSC "Ukrzaliznytsia", Kyiv)*

*Prokopenko Pavlo Mykolayovych,
(Postgraduate student of the Department of Wagons and Carriage Economy, State University of
Infrastructure and Technologies, Kyiv)*

*Grindey Petro,
(specialist, Branch "Research and Development Institute of Railway Transport" JSC
"Ukrzaliznytsia", Kyiv)*

CREATION OF A HIGH-PRECISION CALCULATION MODEL OF A THREE-ELEMENT STRUCTURE OF A FREIGHT CAR BOGIE

*A 3D model and computational model of a freight car bogie of type 18-100 has been developed.
The design model was validated in comparison with the complex of running tests. Calculations were
carried out and indicators of strength and fatigue resistance were evaluated for further research. On
the basis of the calculations, the probable zones of fatigue accumulation have been established.*

Keywords: rolling stock, freight car, supporting structures, strength, model, calculations, CAD.

УДК 004.925.5

Ботвін М.М.,
(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)
Герцій О.А., к.т.н., доц.
(завідувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», Державний університет інфраструктури та технологій)

ПОРІВНЯННЯ АЛГОРИТМІВ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ПРИ РОЗПІЗНАВАННІ ОБ'ЄКТІВ

В статті проаналізовано перспективи застосування алгоритмів кластерного аналізу в цифровій обробці зображень, зокрема, при сегментації та стисненні графічних зображень, а також при розпізнаванні образів у транспортній сфері діяльності. Проведено порівняльне моделювання алгоритмів кластеризації K-means, Mean-shift та DBSCAN на різних типах даних та зроблено висновки щодо доцільності застосування певного алгоритму в тих чи інших умовах.

Ключові слова: розпізнавання об'єктів, кластерний аналіз, алгоритм K-means, Means-shift, DBSCAN.

Вступ. Розпізнавання об'єктів – технологія в області комп'ютерного зору для виявлення та ідентифікації образів на зображенні або відеопослідовності. Люди розпізнають безліч об'єктів на зображеннях без особливих зусиль, незважаючи на те, що зображення об'єктів може дещо відрізнятися в різних точках зору, в багатьох різних розмірах і масштабах або навіть коли вони переводяться або обертаються. Об'єкти можуть бути навіть розпізнані, коли вони частково закриті від очей. Це завдання все ще залишається проблемою для систем комп'ютерного зору. Багато підходів для вирішення цього завдання були реалізовані протягом декількох десятиліть [1]. Сучасне визначення розпізнавання об'єктів таке: область розпізнавання образів пов'язана з автоматичним виявленням закономірностей в даних за допомогою комп'ютерних алгоритмів і за допомогою цих закономірностей для виконання таких дій, як класифікація даних по різних категоріях [2].

В комп'ютерній науці для виявлення меж або розпізнавання об'єктів для поділу цифрового зображення на окремі регіони може використовуватися кластерний аналіз [3].

Кластерний аналіз або кластеризація в задачах ідентифікації – це процес розбиття заданої вибірки об'єктів на непересічні підмножини (кластери) так, щоб кожен кластер складався з схожих об'єктів. Подібність об'єктів визначається на основі метрики, обраної відповідно до критерію кластеризації [4].

При побудові системи розпізнавання кластерний аналіз найбільш часто використовується на етапі попереднього аналізу даних. Його основна мета – визначити, які класи можна виділити на заданій множині образів за наявними ознаками. Саме тому процедури кластерного аналізу називають розпізнаванням без навчання або неконтрольованою класифікацією [5].

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. В цифровій обробці зображень (ЦОЗ) кластерний аналіз знайшов широкий круг застосування: він може бути використаний для сегментації зображень з метою спрощення і/або зміни представлення зображення для полегшення його аналізу [6-8]; для стиснення графічних зображень, що дозволяє зменшити їх інформаційний об'єм з метою збільшення швидкості передачі даних по цифрових каналах зв'язку [9]; при виявленні обличчя на основі алгоритмів кластеризації [10].

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-12

В транспортній сфері діяльності кластерний аналіз може бути застосований при розпізнаванні образів для підтримки управління, операцій і моделювання транспортної системи [11], для визначення сценарію в системах підтримки прийняття рішень на основі симуляції трафіку, де процедура кластеризації сценаріїв може підтримувати управління трафіком в реальному часі, що реагує на погоду (WRTM), швидко класифікуючи поточні або прогнозовані погодні умови по заздалегідь визначеним категоріям і пропонуючи відповідні WRTM стратегії, які можна протестувати за допомогою симуляції трафіку в реальному часі перед розгортанням [12], а також, як варіант, алгоритми кластеризації можуть бути використані в системах обробки та візуалізації зображень для оцінки безпеки руху поїздів [13].

Проте якість очікуваних результатів розпізнавання образів в певній мірі залежить від коректного вибору алгоритму кластерного аналізу та його параметрів. А, оскільки, алгоритмів кластеризації на сьогоднішній день відомо дуже багато [14], тому ми розглянемо лише деякі з них.

Мета і завдання дослідження. Провести порівняльне моделювання таких алгоритмів кластерного аналізу як K-means (K-середніх), Mean-Shift (кластеризація середнього зсуву) та DBSCAN (основана на щільності просторова кластеризація для додатків з шумами) на різних типах даних та зробити висновки щодо доцільності застосування певного алгоритму в тих чи інших умовах.

Матеріали та методи дослідження. Моделювання будемо проводити в середовищі Jupyter Notebook з використанням бібліотеки Scikit-learn.

Алгоритм K-means. Кластеризація K-середніх – один з найпростіших і найбільш часто використовуваних алгоритмів кластеризації. Спочатку вибирається число кластерів k . Після вибору значення k алгоритм K-середніх відбирає точки, які будуть представляти центри кластерів. Потім для кожної точки даних обчислюється його евклідова відстань до кожного центру кластера. Кожна точка призначається найближчому центру кластера. Алгоритм обчислює центроїди – центри тяжкості кластерів. Кожен центр ваги – це вектор, елементи якого являють собою середні значення характеристик, обчислені по всіх точках кластера. Центр кластера зміщується в його центр ваги. Точки заново призначаються найближчого центру кластера. Етапи зміни центрів кластерів і перепризначення точок ітеративно повторюються до тих пір, поки межі кластерів і розташування центроїдів не перестануть змінюватися, тобто на кожній ітерації в кожен кластер будуть потрапляти одні і ті ж точки даних [15].

Моделювання (табл. 1, 2) ілюструє роботу алгоритму на синтетичних наборах даних. Суть моделювання така:


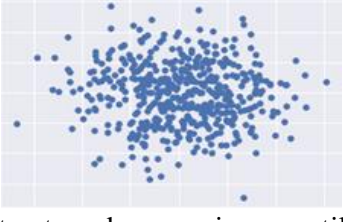
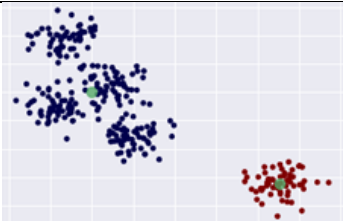
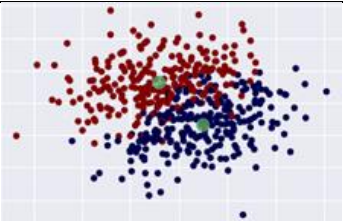
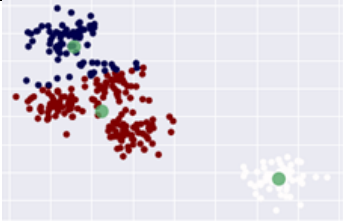
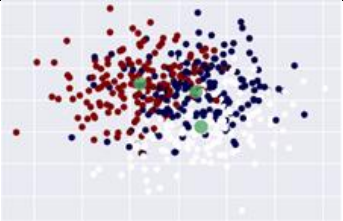
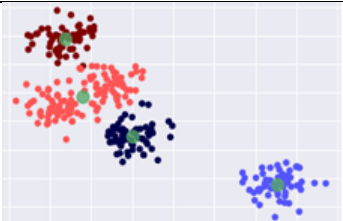
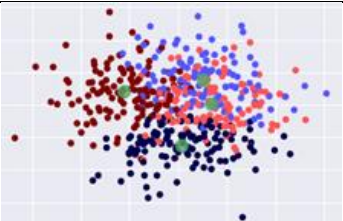
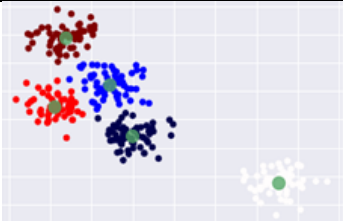
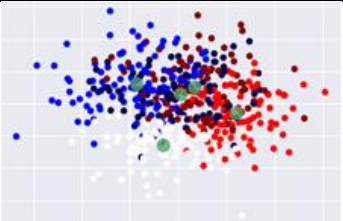
в середовищі Jupyter Notebook за допомогою пакета scikit-learn генеруються чотири набори даних, а саме: `datasets.make_blobs`, `datasets.make_gaussian_quantiles`, `datasets.make_circles` та `datasets.make_moons`;

до кожного типу даних застосовуємо алгоритм K-means, який використовує метрику евклідової відстані, та поетапно збільшуємо число кластерів з 2 до 5, щоб побачити як поводить себе алгоритм на різних типах даних при різному значенні параметра k .

Примітка. Кількість кластерів не перевищуємо 5, оскільки ми заздалегідь знаємо, що число «правильних» кластерів, наприклад, для даних типу `datasets.make_blobs` дорівнює 5, в інших випадках не більше 2.

З таблиці 1 можна зробити висновок, що алгоритм K-середніх найкраще показав себе до даних типу `datasets.make_blobs` при $K = 5$. Кожен кластер визначається виключно його центром, це означає, що кожен кластер має опуклу форму. В результаті цього алгоритм K-середніх може описати відносно прості форми. Крім того, алгоритм K-середніх передбачає, що всі кластери в певному сенсі мають однаковий «діаметр», він завжди проводить межу між кластерами так, щоб вона проходила точно посередині між центрами кластерів. Це іноді може призвести до несподіваних результатів, як показано в табл. 1 на даних типу `datasets.make_gaussian_quantiles`.

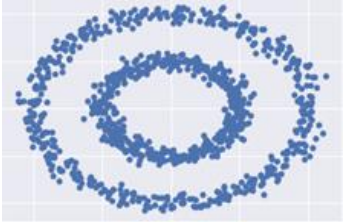
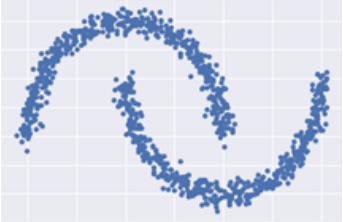
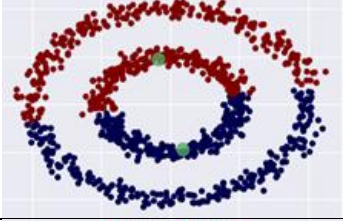
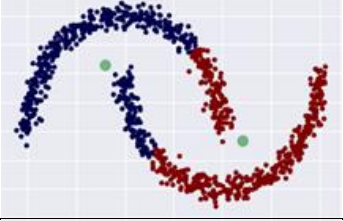
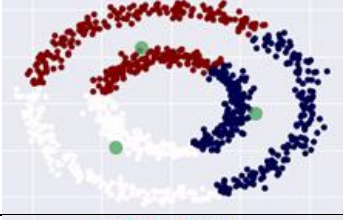
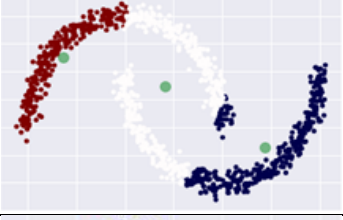
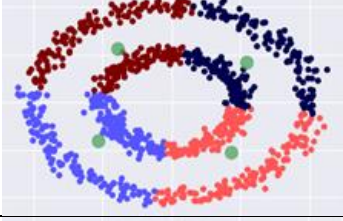
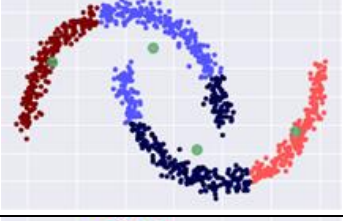
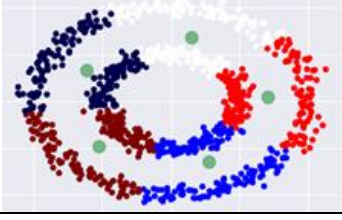
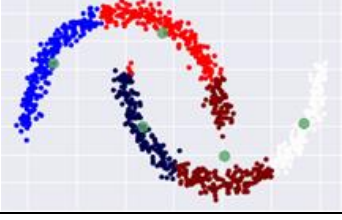
Таблиця 1. Ілюстрація роботи алгоритму К-середніх до штучно-згенерованих даних

Різновид вхідних даних К-сть кластерів	 datasets.make_blobs	 datasets.make_gaussian_quantiles
К = 2		
К = 3		
К = 4		
К = 5		

Також недоліком даного алгоритму є те, що коли ми знаємо «правильну» кількість кластерів для конкретного типу даних, алгоритм не завжди може виділити їх, як це показано в таблиці 2 при $K = 2$. Алгоритм К-середніх погано працює, коли кластери мають більш складну форму, як у випадку з даними `datasets.make_circles` та `datasets.make_moons`. В даному випадку ми сподівалися на те, що алгоритм кластеризації зможе виявити два кластери в формі кіл та півмісяців. Однак визначити їх за допомогою алгоритму К-середніх не представляється можливим.

Алгоритм Mean-shift. Алгоритм середнього зсуву вирішує основну проблему градієнтних методів. Основна ідея середнього зсуву полягає в тому, щоб розглядати точки в D -вимірному просторі ознак як емпіричну функцію щільності ймовірності, де щільні області відповідають локальним максимумам, що лежать в основі розподілу. Градієнтне сходження виконується в просторі ознак при оцінці локальної щільності до збіжності. Після процедури стаціонарні точки відповідають модам розподілу, і одні і ті ж стаціонарні точки вважаються членами одного кластера.

Таблиця 2. Ілюстрація роботи алгоритму К-середніх до штучно-згенерованих даних

Різновид вхідних даних		
К-сть кластерів	<code>datasets.make_circles</code>	<code>datasets.make_moons</code>
К = 2		
К = 3		
К = 4		
К = 5		

Розмір кроку середнього зсуву є адаптивним і залежить від градієнта щільності ймовірності. Градієнт не розраховується, замість цього розраховується більш ефективний вектор середнього зміщення. Вектор середнього зсуву вказує в тому ж напрямку, що і градієнт в градієнтних методах.

Процедура середнього зміщення складається з двох етапів:

- 1) побудова щільності ймовірності в деякому просторі ознак;
- 2) відображення кожної точки на максимум щільності, яка найближче до неї.

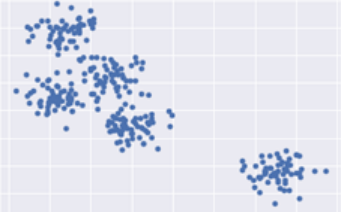
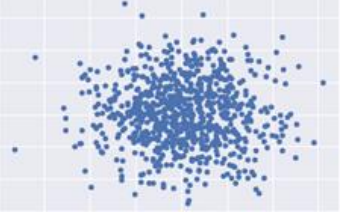
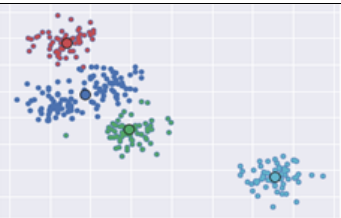
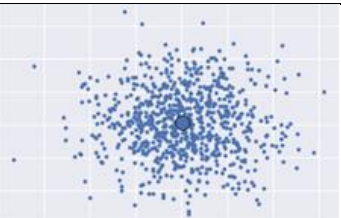
Кожна точка даних зсувається до середньозваженої набору даних. Алгоритм середнього зсуву намагається знайти стаціонарні точки оціненої функції щільності ймовірності [16].

Моделювання проводимо генеруючи ті ж самі чотири типи даних та застосовуємо до них алгоритм Mean-shift.

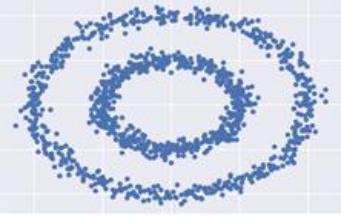

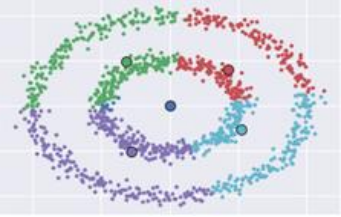
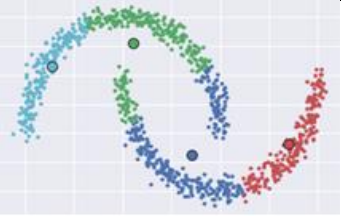
З таблиці 3 бачимо, що на відміну від алгоритму K-means, середнє зміщення Mean-shift не вимагає припущень про кількість кластерів і форми розподілу, але його продуктивність залежить від вибору параметрів масштабу. Смуга пропускання є єдиним параметром для

налаштування, тому для одновимірного випадку це відносно проста процедура, але в багатовимірному випадку це може бути складно. Середнє зміщення може не спрацювати в більш високих вимірах, так як це представлено в таблиці 4.

Таблиця 3. Ілюстрація роботи алгоритму Mean-shift

Різновид вхідних даних		
К-сть кластерів	<code>datasets.make_blobs</code>	<code>datasets.make_gaussian_quantiles</code>
$K_1 = 4$ $K_2 = 1$		
	Розрахункова кількість кластерів $K_1 = 4$	Розрахункова кількість кластерів $K_2 = 1$

Таблиця 4. Ілюстрація роботи алгоритму Mean-shift

Різновид вхідних даних		
К-сть кластерів	<code>datasets.make_circles</code>	<code>datasets.make_moons</code>
$K_1 = 5$ $K_2 = 4$		
	Розрахункова кількість кластерів $K_1 = 5$	Розрахункова кількість кластерів $K_2 = 4$

Алгоритм DBSCAN. Основні переваги алгоритму DBSCAN полягають в тому, що нам не потрібно заздалегідь задавати кількість кластерів, алгоритм може виділити кластери складної форми і здатний визначити точки, які не належать якомусь кластеру. DBSCAN працює трохи повільніше, ніж алгоритм K-means та Mean-shift, але також може масштабуватися на відносно великі набори даних [17].

У DBSCAN кожному зразку (точці) призначається спеціальна мітка, при цьому використовуються такі критерії:

точка розглядається як коренева, якщо, по меншій мірі, вказане число навколишніх точок (MinPts) потрапляє в межі вказаного радіусу ϵ ;

гранична точка – це точка, яка має сусідів менше, ніж MinPts в межах ϵ , але лежить в межах радіусу ϵ кореневої точки;

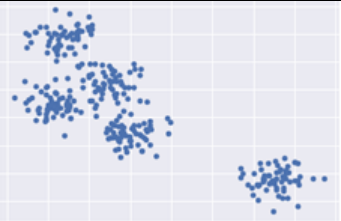
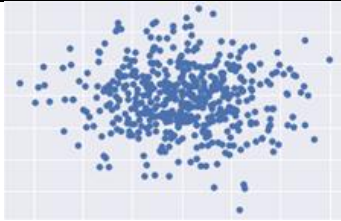
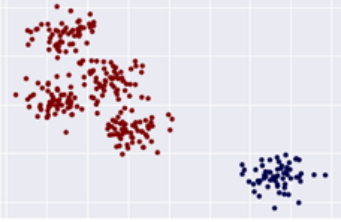
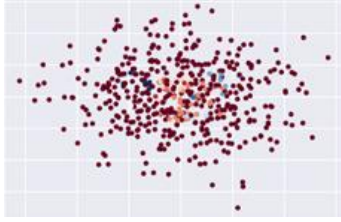
всі інші точки, які не є ні корневими, ні граничними точками, розглядаються як шумові точки.

Після маркування точок як корневих, граничних або шумових алгоритм DBSCAN можна резюмувати в два прості кроки:

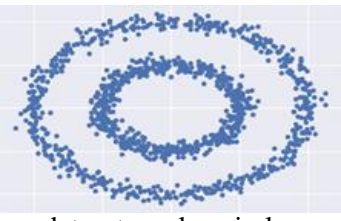
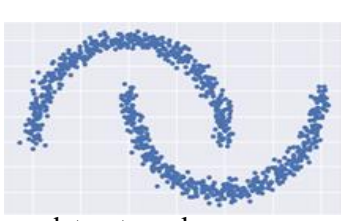
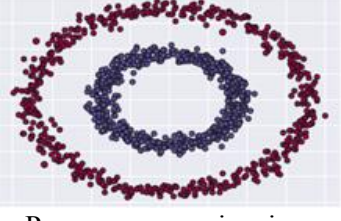
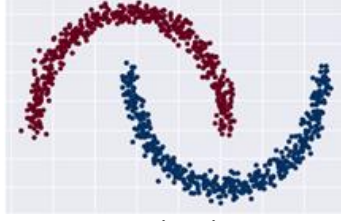
1) сформувати для кожної кореневої точки окремий кластер або зв'язну групу корневих точок (кореневі точки є зв'язковими, в разі якщо вони розташовані не далі, ніж ϵ);

2) призначити кожен граничну точку кластеру відповідної кореневої точки.

Таблиця 5. Ілюстрація роботи алгоритму DBSCAN

Різновид вхідних даних	 datasets.make_blobs	 datasets.make_gaussian_quantiles
К-сть кластерів		
$K_1 = 2$ $K_2 = 4$	 Розрахункова кількість кластерів $K_1 = 2$	 Розрахункова кількість кластерів $K_2 = 4$

Таблиця 6. Ілюстрація роботи алгоритму DBSCAN

Різновид вхідних даних	 datasets.make_circles	 datasets.make_moons
К-сть кластерів		
$K_1 = 2$ $K_2 = 2$	 Розрахункова кількість кластерів $K_1 = 2$	 Розрахункова кількість кластерів $K_2 = 2$

Одна з основних переваг використання алгоритму DBSCAN полягає в тому, що він не робить припущення про сферичну форму кластерів, як в алгоритмі K-means. Крім того, алгоритм DBSCAN відрізняється від кластеризації по методу K-means тим, що він з необхідністю не призначить кожную точку кластеру і одночасно здатний видаляти шумові точки.

Моделювання проводимо по тому ж принципу, що і Mean-shift.

З таблиці 6 можна зробити висновок, що алгоритм DBSCAN може успішно виявляти більш складні фігури, такі як два кільця та півмісяці, що підкреслює одну з сильних сторін алгоритму DBSCAN (кластеризація даних довільної форми). Проте відмітимо деякі недоліки алгоритму DBSCAN. Із зростаючим числом ознак в наборі даних – при заданому фіксованому розмірі тренувального набору – негативний ефект «прокляття розмірності» збільшується. Ця проблема особливо проявляється, якщо ми використовуємо евклідову метрику відстані. Однак проблема «прокляття розмірності» не унікальна для DBSCAN; вона впливає і на інші алгоритми кластеризації, які використовують евклідову метрику відстані, наприклад, алгоритм кластеризації K-means. До того ж в DBSCAN є два гіперпараметра (MinPts і ϵ), які повинні бути оптимізовані з метою отримання хороших результатів кластеризації.

У разі, якщо в наборі даних різниці в щільності відносно великі, знаходження хорошої комбінації параметрів MinPts і ϵ може бути проблематичним. Такий негативний результат відображений в таблиці 5.

Висновки. Результати моделювання показали, що алгоритм K-means може ефективно описати відносно прості форми. На відміну від нього середнє зміщення Mean-shift не вимагає припущень про кількість кластерів і форми розподілу, але його продуктивність залежить від вибору параметрів масштабу. Алгоритм DBSCAN може успішно виявляти більш складні фігури, що підкреслює одну з сильних сторін цього алгоритму – кластеризація даних довільної форми. На практиці не завжди очевидно, що алгоритм на заданому наборі даних буде виконуватися найкраще, особливо якщо дані надходять в численних розмірностях, ускладнюючи візуалізацію або роблячи її неможливою. Більш того, важливо підкреслити, що успішна кластеризація не залежить тільки від алгоритму і його гіперпараметрів. Швидше, більш важливими можуть бути вибір належної метрики відстані і використання знань в предметній області, які допомагають направити експериментальний пошук найкращої конфігурації в потрібне русло.

ЛІТЕРАТУРА

1. Giovanni Maria, Farinella Sebastiano, BattiattoRoberto Cipolla. Advanced Topics in Computer Vision and Pattern Recognition. Italy, 2013. 437p.
2. Amita Pal, Sankar K Pal. Pattern recognition and big data. New Jersey, 2017. 862p.
3. Tal Hassner, Ce Liu. Dense Image Correspondences for Computer Vision. Switzerland, 2016. 302p.
4. Селянкін В. В., Скороход С. В. Анализ и обработка изображений в задачах компьютерного зрения: учебное пособие. Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. 82 с.
5. Чабан. Л.Н. Методы и алгоритмы распознавания образов в автоматизированном дешифрировании данных дистанционного зондирования: учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 2016, – 94 с.
6. Neelambike S. Color image segmentation by clustering. *International journal of advanced research in computer science & technology*. 2014. Vol. 2. № 1. P. 95-97.
7. Aqil Burney S.M. K-means cluster analysis for image segmentation. *International Journal of Computer Applications*. 2014. Vol. 96. № 4. P. 8.
8. Nameirakpam Dh. Image segmentation using k-means clustering algorithm and subtractive clustering algorithm. Eleventh international multi-conference on information processing-2015 (IMCIP-2015). India. P. 764 – 771.
9. Xing Wan. Application of K-means Algorithm in Image Compression // AEMCME. 2019. Vol. 5: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering – China 2019.
10. Yousef Farhang. Face Extraction from Image based on K-Means Clustering Algorithms. (IJACSA) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2017. Vol. 8, No. 9.
11. Rajib Saha, Mosammat Tahnin Tariq, Mohammed Hadi, and Yan Xiao. Pattern Recognition Using Clustering Analysis to Support Transportation System Management, Operations, and Modeling. *Journal of Advanced Transportation*. Volume 2019, Article ID 1628417, 12 pages.
12. Ying Chen, Jiwon Kim, Hani S. Mahmassani. Pattern Recognition Using Clustering Algorithm for Scenario Definition in Traffic Simulation-based Decision Support Systems. 2014 IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) October 8-11, 2014. Qingdao, China.

13. Karaman S., Pezzatini D., Bimbo A. A multi-camera image processing and visualization system for train safety assessment. *Multimedia Tools and Applications*. 2018. Vol. 77. № 2. P. 1583–1604.
14. Sergios Theodoridis, Koutroumbas K. An introduction to pattern recognition: a MATLAB approach. / Academic Press, 2010. – 240 p.
15. An Introduction to Machine Learning with Python (O'Reilly) by Andreas C. Mueller and Sarah Guido. Copyright 2017 Sarah Guido and Andreas Mueller, 978-1-449-36941-5.
16. Damir Demirović. An Implementation of the Mean Shift Algorithm // ISSN 2105–1232 с 2019 IPOL & the authors CC–BY–NC–SA.
17. Рашка С. Python и машинное обучение / пер. с англ. А. В. Логунова. - М.: ДМК Пресс, 2017. - 418 с.: ил.

REFERENCES

1. Giovanni Maria, Farinella Sebastiano, BattiatoRoberto Cipolla. (2013). *Advanced Topics in Computer Vision and Pattern Recognition*. Italy, 437. (in English).
2. Amita Pal, Sankar K Pal. (2017). *Pattern recognition and big data*. New Jersey, 862. (in English).
3. Tal Hassner, Ce Liu. (2016). *Dense Image Correspondences for Computer Vision*. Switzerland, 302. (in English).
4. Selyankin V.V., Skorokhod S.V. (2015). *Analyze i obrabotka izobrajenie v zadachah computernogo zreniya [Analysis and processing of images in computer vision problems]*. Taganrog, SFedU Publ. (in Russian).
5. Chaban L.N. (2016). *Metody i algoritmy raspoznavaniya obrazov v avtomatizirovanom deshifrovanii danyh distancionnogo zonirovaniya: uchebnoe posobie. [Methods and algorithms for pattern recognition in automated decoding of remote sensing data: A study guide]*. Moscow: MIIGAiK. (in Russian).
6. Neelambike S. (2014). Color image segmentation by clustering. *International journal of advanced research in computer science & technology*. Vol. 2, 1, 95-97 (in English).
7. Aqil Burney S.M. (2014). K-means cluster analysis for image segmentation. *International Journal of Computer Applications*. Vol. 96, 4, 8 (in English).
8. Nameirakpam Dh. (2015). Image segmentation using k-means clustering algorithm and subtractive clustering algorithm. *Eleventh international multi-conference on information processing-2015 (IMCIP-2015)*. (pp. 764 – 771). India. (in English).
9. Xing Wan. (2019). Application of K-means Algorithm in Image Compression. *IOP Conference Series Materials Science and Engineerin (AEMCME)*. Vol. 5. (pp. 1-4). China. (in English).
10. Yousef Farhang. (2017). Face Extraction from Image based on K-Means Clustering Algorithms. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. Vol. 8, 9, 96-107. (in English).
11. Rajib Saha, Mosammat Tahnin Tariq, Mohammed Hadi, and Yan Xiao. (2019). Pattern Recognition Using Clustering Analysis to Support Transportation System Management, Operations, and Modeling. *Journal of Advanced Transportation*. Volume, 2019, Article ID 1628417, 12 pages. (in English).
12. Ying Chen, Jiwon Kim, Hani S. Mahmassani. (2014). Pattern Recognition Using Clustering Algorithm for Scenario Definition in Traffic Simulation-based Decision Support Systems. *IEEE, 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) October 8-11, 2014*. (pp. 798-803). Qingdao, China. (in English).
13. Karaman S., Pezzatini D., Bimbo A. (2018). A multi-camera image processing and visualization system for train safety assessment. *Multimedia Tools and Applications*. Vol. 77, 2, 1583–1604. (in English).
14. Sergios Theodoridis, Koutroumbas K. (2010). *An introduction to pattern recognition: a MATLAB approach*. Academic Press, 240. (in English).
15. Andreas C. Mueller and Sarah Guido. (2016). *An Introduction to Machine Learning with Python*. O'Reilly Media, Inc. 978-1-449-36941-5. (in English).
16. Damir Demirovic. (2019). An Implementation of the Mean Shift Algorithm. *IPOL Journal Image Processing On Line*, 9 (2019), 251–268. (in English).
17. Raschka Sebastian. (2015). *Python Machine Learning*. Packt Publishing Ltd: 1st edition, 456. (in English).

Ботвин М.М.,
(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий)
Герций А.А., к.т.н., доц.
(заведующий кафедры «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии транспорта», Государственный университет инфраструктуры и технологий)

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ОБЪЕКТОВ

В статье проанализированы перспективы применения алгоритмов кластерного анализа в цифровой обработке изображений, в частности, при сегментации и сжатии графических изображений, а также при распознавании образов в транспортной сфере деятельности.

Проведено сравнительное моделирование алгоритмов кластеризации K-means, Mean-shift и DBSCAN на разных типах данных и сделаны выводы относительно целесообразности применения определенного алгоритма в тех или иных условиях.

Ключевые слова: *распознавание объектов, кластерный анализ, алгоритм K-means, Means-shift, DBSCAN.*

Maksym Botvin,
(PhD-student, State University of Infrastructure and Technology)
Aleksander Gertsy, PhD (Technical Sciences), Associate Professor,
(Head of the Department of Automation and Computer-Integrated Transport Technologies, State University for Infrastructure and Technology)

COMPARISON OF CLUSTER ANALYSIS ALGORITHMS IN OBJECT RECOGNITION

The article is an overview of the direction of graphic image processing based on clustering algorithms. The analysis of prospects of application of algorithms of cluster analysis in digital image processing, in particular, at segmentation and compression of graphic images, and also at recognition of images in transport sphere of activity is carried out. Comparative modeling of such algorithms of cluster analysis as K-means, Mean-Shift (clustering of average shift) and DBSCAN (based on density of spatial clustering for applications with noise) on various types of data is carried out. The simulation was performed on synthetic datasets in a Jupyter Notebook environment using the Scikit-learn library. In particular, four data sets were generated in this environment, to which these clustering algorithms were applied. The simulation results showed that the K-means algorithm can effectively describe relatively simple shapes. In contrast, the mean shift does not require assumptions about the number of clusters and the shape of the distribution, but its performance depends on the choice of scale parameters. The DBSCAN algorithm can successfully detect more complex shapes, which emphasizes one of the strengths of this algorithm - the clustering of arbitrary data. The disadvantages of the selected algorithms are also given and it is indicated on which types of images they effectively work with the estimation of computational speed.

Keywords: *object recognition, cluster analysis, algorithms K-means, Means-shift, DBSCAN.*

УДК 539.3

*Елена Шикула, д.ф.-м.н.
(профессор кафедры компьютерных наук Государственного университета телекоммуникаций)*

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложена модель нелинейного деформирования слоистых материалов с физически нелинейными слоями. Построен алгоритм для определения их эффективных деформативных свойств и напряженно-деформированного состояния. Исследовано нелинейное деформирование слоистых материалов. Получены кривые деформирования для простого нагружения. Изучено влияние нелинейности слоев на деформирование материала. Установлено, что нелинейность слоев существенно влияет на эффективные деформативные свойства и напряженно-деформированное состояние слоистых материалов.

***Ключевые слова:** слоистый материал, нелинейное деформирование слоев, напряженно-деформированное состояние, эффективные деформативные свойства, влияние нелинейности*

Введение. В различных отраслях промышленности широкое распространение получили композитные материалы различного типа армирования. Широко применяются они также на транспорте. В связи с широким применением композитных материалов в современных инженерных конструкциях и сооружениях актуальной задачей является изучение механического поведения композитных материалов при нагружении. Наряду с экспериментальными методами определения свойств композитных материалов интенсивно разрабатываются теории, посвященные изучению их деформирования и разрушения. Проводятся исследования по определению напряженно-деформированного состояния, прогнозированию физико-механических свойств, выбору оптимальной структуры композитных материалов.

Анализ последних исследований и постановка проблемы. При достаточно большом нагружении многие композитные материалы деформируются нелинейно вследствие физической нелинейности компонентов материала [1]. Нелинейный характер зависимостей между макродеформациями и макронапряжениями характерен для композитов на основе металлической матрицы, а также на основе полимерных материалов при высоких температурах. Экспериментальные исследования показывают [2], что при достаточно высоких температурах нелинейно деформируются также высокомолекулярные материалы типа органического стекла. На рис. 1 приведены графики экспериментальной зависимости напряжения от деформации для органического стекла при различных температурах. Как видим при температуре 80° зависимость между напряжением и деформацией имеет параболический характер. Поэтому представляет интерес исследование физически нелинейного деформирования слоистых материалов при нелинейном деформировании как наполнителя, так и связующего.

Слоистые композиты на основе металлической и полимерной матриц широко применяются для изготовления деталей, работающих в условиях высоких силовых и температурных нагрузок. Поэтому прогнозирование их нелинейных свойств является актуальным.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-13

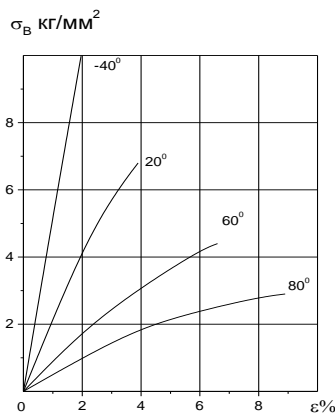


Рис. 1. Экспериментальная зависимость напряжения от деформации для органического стекла при различных температурах

Методы решения нелинейных задач механики деформируемого твердого тела разрабатывались в работах Бленда Д., Каудерера Г., Лурье А.И., Митропольского Ю.А., Березовского А.А., Новожилова В.В., Труделла К., Bharatha S., Levinson M., Green A.E. Adkins I.E., Hill R., Ogden R.W. и др. В большинстве работ применялся метод разложения решения по степеням малого параметра, причем при решении конкретных задач ограничивались, как правило, первыми двумя членами разложения. В связи с этим решение задач о нелинейном деформировании материалов получено для слабо нелинейных деформаций, то есть для таких деформаций, для которых материал деформируется по нелинейному закону, близкому к линейному. Изучению механического поведения композитных материалов с нелинейно деформируемыми компонентами или нелинейно деформирующихся материалов посвящены работы Васильева В.В. и Солдатова С.А., Дудукаленко В.В. и Минаева В.А., Крегерса А.Ф. и Мелбардиса Ю.Г., Левина В.М., Малмейстера А.К. и Янсона Ю.О., Хорошуна Л.П. и Маслова Б.П., Цурпала И.А., Штерна М.Б. и др., Hill R., Ogden R.W., Tandon G.P. и Weng G.J., Tzadka V. и Shulgasser K. и др.

Решение линейной задачи о деформировании стохастически неоднородных композитов различных типов армирования было получено Л.П.Хорошуном [3, 4]. Различные аспекты деформирования слоистых композитных материалов с нелинейной матрицей были изучены в работах Хорошуна Л.П., Шикеры Е.Н. [5-7, 9-18]. Однако авторы рассматривали слоистые материалы с нелинейной или упругопластическим связующим и упругим наполнителем. Не было построено модели деформирования слоистых материалов в случае нелинейного деформирования всех видов слоев – как наполнителя, так и связующего.

Цель и задачи исследования. Целью данной работы является построение модели и исследование нелинейного деформирования слоистых материалов. Задачами исследования являются построение модели нелинейного деформирования слоистых материалов, разработка алгоритма определения напряженно-деформированного состояния и эффективных деформативных свойств слоистого материала с физически нелинейными слоями, а также исследование зависимости деформирования слоистого материала от объемного содержания слоев. В основу положены стохастические дифференциальные уравнения физически нелинейной теории упругости Л.П.Хорошуна [3-6].

Материалы и методы исследования. Исходные уравнения. Слоистый материал стохастической структуры можно представить как микронеоднородный материал, физико-механические характеристики которого являются функциями одной координаты. Рассмотрим макрообъем слоистого материала. Если макрообъем (объем, размеры которого значительно превосходят размеры микронеоднородностей) композита находится в условиях однородных макронапряжений $\langle \sigma_{ij} \rangle$ и макродеформаций $\langle \epsilon_{ij} \rangle$, то напряжения σ_{ij} и деформации ϵ_{ij} в

микроточке будут статистически однородными случайными функциями, удовлетворяющими свойству эргодичности. При этом их математические ожидания в произвольной точке совпадают соответственно с макронапряжениями и макродеформациями. Будем предполагать, что свойства и параметры материала статистически однородны на расстояниях, значительно превосходящих характерные размеры неоднородностей. Тогда композит можно рассматривать как однородный материал с эффективными характеристиками [3-6, 8].

Напряженно-деформированное состояние в микроточке описывается уравнениями равновесия

$$\sigma_{ij,j} = 0, \quad (1)$$

соотношениями Коши, выражающими микродеформации ε_{ij} через перемещения в точке u_i

$$\varepsilon_{ij} = u_{(i,j)} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (i, j, p = 1, 2, 3) \quad (2)$$

и соотношениями упругости

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{pp} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \quad (\lambda = K - \frac{2}{3}\mu) \quad (3)$$

где модули объемного сжатия K и сдвига μ — случайные функции координат, принимающие значения $K_1(\varepsilon)$, $\mu_1(\varepsilon)$ и $K_2(\varepsilon)$, $\mu_2(\varepsilon)$ соответственно для наполнителя и связующего.

Нелинейные уравнения для определения эффективных деформативных свойств и напряженно-деформированного состояния композита. Пусть ось x_3 направлена по нормали к слоям. Тогда упругие характеристики K, λ, μ будут случайными функциями только координаты x_3 . Вследствие однородности макронапряжений $\langle \sigma_{ij} \rangle$ и макродеформаций $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$ напряжения σ_{ij} , деформации ε_{ij} и флуктуации перемещений $u_i^0 = u_i - \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j$ в микроточке также будут функциями одной координаты x_3 . В этом случае уравнения равновесия упрощаются

$$\sigma_{i3,3} = 0, \quad (4)$$

откуда находим

$$\sigma_{i3} = A_i, \quad A_i = const. \quad (5)$$

Выражения для деформаций согласно (2) имеют вид

$$\varepsilon_{ij} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle + \frac{1}{2}(u_{i,3}^0 \delta_{j3} + u_{j,3}^0 \delta_{i3}). \quad (6)$$

Подставляя (3), (6) в интегралы уравнений равновесия (5), получаем алгебраические уравнения относительно производных флуктуаций перемещений [3-6]

$$u_{i,3}^0 = \frac{1}{\mu} A_i - 2 \langle \varepsilon_{i3} \rangle;$$

$$u_{3,3}^0 = \frac{1}{\lambda + 2\mu} A_3 - \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \langle \varepsilon_{kk} \rangle - \langle \varepsilon_{33} \rangle \quad (i, k = 1, 2). \quad (7)$$

Осредняя (7), определяем постоянные интегрирования

$$A_i = 2 \left\langle \frac{1}{\mu} \right\rangle^{-1} \langle \varepsilon_{i3} \rangle;$$

$$A_3 = \left\langle \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right\rangle^{-1} \left(\left\langle \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \right\rangle \langle \varepsilon_{kk} \rangle + \langle \varepsilon_{33} \rangle \right) \quad (i, k = 1, 2). \quad (8)$$

Здесь обозначено $\langle f \rangle = c_1 f_1 + c_2 f_2$, где f_1, f_2 - значения параметра f соответственно для наполнителя и связующего, а c_1, c_2 - их объемные содержания.

На основе (6) – (8) находим микродеформации [3-6]

$$\varepsilon_{ij} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle; \quad \varepsilon_{i3} = \frac{1}{\mu} \left\langle \frac{1}{\mu} \right\rangle^{-1} \langle \varepsilon_{i3} \rangle;$$

$$\varepsilon_{33} = \frac{1}{\lambda + 2\mu} \left\langle \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right\rangle^{-1} \left[\left(\left\langle \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \right\rangle - \lambda \left\langle \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right\rangle \right) \langle \varepsilon_{kk} \rangle + \langle \varepsilon_{33} \rangle \right] \quad (i, j, k = 1, 2). \quad (9)$$

Подставляя (9) в (3), получаем выражения для микронапряжений [3-6]

$$\sigma_{ij} = 2\mu \langle \varepsilon_{ij} \rangle + \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \left\langle \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right\rangle^{-1} \left(\left\langle \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \right\rangle + 2\mu \left\langle \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right\rangle \right) \langle \varepsilon_{kk} \rangle \delta_{ij} +$$

$$+ \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \left\langle \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right\rangle^{-1} \langle \varepsilon_{33} \rangle \delta_{ij}; \quad \sigma_{i3} = 2 \left\langle \frac{1}{\mu} \right\rangle^{-1} \langle \varepsilon_{i3} \rangle;$$

$$\sigma_{33} = \left\langle \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right\rangle^{-1} \left(\left\langle \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \right\rangle \langle \varepsilon_{kk} \rangle + \langle \varepsilon_{33} \rangle \right) \quad (i, j, k = 1, 2). \quad (10)$$

Осредняя (10), находим зависимости между макронапряжениями и макродеформациями

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = (\lambda_{11}^* - \lambda_{12}^*) \langle \varepsilon_{ij} \rangle + (\lambda_{12}^* \langle \varepsilon_{kk} \rangle + \lambda_{13}^* \langle \varepsilon_{33} \rangle) \delta_{ij};$$

$$\langle \sigma_{33} \rangle = \lambda_{13}^* \langle \varepsilon_{kk} \rangle + \lambda_{33}^* \langle \varepsilon_{33} \rangle; \quad \langle \sigma_{i3} \rangle = 2\lambda_{44}^* \langle \varepsilon_{i3} \rangle \quad (i, j, k = 1, 2), \quad (11)$$

Где эффективные упругие постоянные определяются формулами [3-6]

$$\lambda_{11}^* = \left\langle \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right\rangle^{-1} \left\langle \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \right\rangle^2 + 4 \left\langle \frac{\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} \right\rangle;$$

$$\lambda_{12}^* = \left\langle \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right\rangle^{-1} \left\langle \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \right\rangle^2 + 2 \left\langle \frac{\lambda\mu}{\lambda + 2\mu} \right\rangle;$$

$$\lambda_{13}^* = \left\langle \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right\rangle^{-1} \left\langle \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \right\rangle; \quad \lambda_{33}^* = \left\langle \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right\rangle^{-1}; \quad \lambda_{44}^* = \left\langle \frac{1}{\mu} \right\rangle^{-1}. \quad (12)$$

Отметим, что в случае физической нелинейности слоев в композите упругие постоянные этих слоев, а следовательно, и эффективные коэффициенты (12) являются функциями средних в слоях деформаций $\langle \varepsilon_{ij}^{\nu} \rangle$ ($\nu = 1, 2$). Выразив средние деформации в слоях через средние деформации в композите $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$, получим эффективные коэффициенты как функции средних деформаций в композите. Согласно (9) средние деформации в слоях $\langle \varepsilon_{ij}^{\nu} \rangle$ ($\nu = 1, 2$) связаны со средними деформациями в композите $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$ соотношениями:

$$\begin{aligned} \langle \varepsilon_{ij}^{\nu} \rangle &= \langle \varepsilon_{ij} \rangle; & \langle \varepsilon_{i3}^{\nu} \rangle &= \frac{1}{\mu_{\nu}} \left\langle \frac{1}{\mu} \right\rangle^{-1} \langle \varepsilon_{i3} \rangle; \\ \langle \varepsilon_{33}^{\nu} \rangle &= \frac{1}{\lambda_{\nu} + 2\mu_{\nu}} \left\langle \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right\rangle^{-1} \left[\left(\left\langle \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \right\rangle - \lambda_{\nu} \left\langle \frac{1}{\lambda + 2\mu} \right\rangle \right) \langle \varepsilon_{kk} \rangle + \langle \varepsilon_{33} \rangle \right] \end{aligned} \quad (i, j, k = 1, 2). \quad (13)$$

Подставив выражения (13) в (12), получим выражения для эффективных коэффициентов λ_{mn}^* как функций средних деформаций в композите $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$.

Алгоритм для определения эффективных деформативных свойств и напряженно-деформированного состояния композита. Эффективные коэффициенты слоистого материала с физически нелинейными слоями будем определять итерационным методом по следующему алгоритму. Нулевое приближение соответствует случаю физически линейных слоев. Тогда для нулевого приближения

$$\begin{aligned} \lambda_{11}^{*(0)} &= \left\langle \frac{1}{\lambda(0) + 2\mu(0)} \right\rangle^{-1} \left\langle \frac{\lambda(0)}{\lambda(0) + 2\mu(0)} \right\rangle^2 + 4 \left\langle \frac{\mu(0)(\lambda(0) + \mu(0))}{\lambda(0) + 2\mu(0)} \right\rangle; \\ \lambda_{12}^{*(0)} &= \left\langle \frac{1}{\lambda(0) + 2\mu(0)} \right\rangle^{-1} \left\langle \frac{\lambda(0)}{\lambda(0) + 2\mu(0)} \right\rangle^2 + 2 \left\langle \frac{\lambda(0)\mu(0)}{\lambda(0) + 2\mu(0)} \right\rangle; \\ \lambda_{13}^{*(0)} &= \left\langle \frac{1}{\lambda(0) + 2\mu(0)} \right\rangle^{-1} \left\langle \frac{\lambda(0)}{\lambda(0) + 2\mu(0)} \right\rangle; \\ \lambda_{33}^{*(0)} &= \left\langle \frac{1}{\lambda(0) + 2\mu(0)} \right\rangle^{-1}; & \lambda_{44}^{*(0)} &= \left\langle \frac{1}{\mu(0)} \right\rangle^{-1}. \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \langle \varepsilon_{ij}^{\nu} \rangle^{(0)} &= \langle \varepsilon_{ij} \rangle; & \langle \varepsilon_{i3}^{\nu} \rangle^{(0)} &= \frac{1}{\mu_{\nu}(0)} \left\langle \frac{1}{\mu(0)} \right\rangle^{-1} \langle \varepsilon_{i3} \rangle; \\ \langle \varepsilon_{33}^{\nu} \rangle^{(0)} &= \frac{1}{\lambda_{\nu}(0) + 2\mu_{\nu}(0)} \left\langle \frac{1}{\lambda(0) + 2\mu(0)} \right\rangle^{-1} \times \end{aligned}$$

$$\times \left[\left(\left\langle \frac{\lambda(0)}{\lambda(0)+2\mu(0)} \right\rangle - \lambda_v(0) \left\langle \frac{1}{\lambda(0)+2\mu(0)} \right\rangle \right) \langle \varepsilon_{kk} \rangle + \langle \varepsilon_{33} \rangle \right] \quad (i, j, k = 1, 2). \quad (15)$$

Для первого приближения получим

$$\begin{aligned} \lambda_{11}^{*(1)} &= \left\langle \frac{1}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle^{-1} \left\langle \frac{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle^2 + \\ &\quad + 4 \left\langle \frac{\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) (\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) + \mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}))}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle; \\ \lambda_{12}^{*(1)} &= \left\langle \frac{1}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle^{-1} \left\langle \frac{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle^2 + \\ &\quad + 2 \left\langle \frac{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) \mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle; \\ \lambda_{13}^{*(1)} &= \left\langle \frac{1}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle^{-1} \left\langle \frac{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle; \\ \lambda_{33}^{*(1)} &= \left\langle \frac{1}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle^{-1}; \quad \lambda_{44}^{*(1)} = \left\langle \frac{1}{\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle^{-1}. \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \langle \varepsilon_{ij}^v \rangle^{(1)} &= \langle \varepsilon_{ij} \rangle; \quad \langle \varepsilon_{i3}^v \rangle^{(1)} = \frac{1}{\mu_v(\langle \varepsilon^v \rangle^{(0)})} \left\langle \frac{1}{\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle^{-1} \langle \varepsilon_{i3} \rangle; \\ \langle \varepsilon_{33}^v \rangle^{(1)} &= \frac{1}{\lambda_v(\langle \varepsilon^v \rangle^{(0)}) + 2\mu_v(\langle \varepsilon^v \rangle^{(0)})} \left\langle \frac{1}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle^{-1} \times \\ &\times \left[\left(\left\langle \frac{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle - \lambda_v(\langle \varepsilon^v \rangle^{(0)}) \left\langle \frac{1}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(0)})} \right\rangle \right) \langle \varepsilon_{kk} \rangle + \langle \varepsilon_{33} \rangle \right] \\ &\quad (i, j, k = 1, 2), \end{aligned} \quad (17)$$

где принято обозначение $\langle f(\langle \varepsilon \rangle^{(0)}) \rangle = c_1 f_1(\langle \varepsilon^1 \rangle^{(0)}) + c_2 f_2(\langle \varepsilon^2 \rangle^{(0)})$.

И для n -го приближения

$$\begin{aligned} \lambda_{11}^{*(n)} &= \left\langle \frac{1}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle^{-1} \left\langle \frac{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle^2 + \\ &\quad + 4 \left\langle \frac{\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) (\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) + \mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}))}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle; \\ \lambda_{12}^{*(n)} &= \left\langle \frac{1}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle^{-1} \left\langle \frac{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle^2 + \\ &\quad + 2 \left\langle \frac{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) \mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle; \end{aligned}$$

$$\lambda_{13}^{*(n)} = \left\langle \frac{1}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle^{-1} \left\langle \frac{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle;$$

$$\lambda_{33}^{*(n)} = \left\langle \frac{1}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle^{-1}; \quad \lambda_{44}^{*(n)} = \left\langle \frac{1}{\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle^{-1}. \quad (18)$$

$$\langle \varepsilon_{ij}^v \rangle^{(n)} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle; \quad \langle \varepsilon_{i3}^v \rangle^{(n)} = \frac{1}{\mu_v(\langle \varepsilon^v \rangle^{(n-1)})} \left\langle \frac{1}{\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle^{-1} \langle \varepsilon_{i3} \rangle;$$

$$\langle \varepsilon_{33}^v \rangle^{(n)} = \frac{1}{\lambda_v(\langle \varepsilon^v \rangle^{(n-1)}) + 2\mu_v(\langle \varepsilon^v \rangle^{(n-1)})} \left\langle \frac{1}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle^{-1} \times$$

$$\times \left[\left\langle \frac{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle - \lambda_v(\langle \varepsilon^v \rangle^{(n-1)}) \left\langle \frac{1}{\lambda(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)}) + 2\mu(\langle \varepsilon \rangle^{(n-1)})} \right\rangle \right] \langle \varepsilon_{kk} \rangle + \langle \varepsilon_{33} \rangle$$

$$(i, j, k = 1, 2), \quad (19)$$

Предложенный метод позволяет определить эффективные коэффициенты слоистого материала с любой заданной степенью точности.

Исследование влияния нелинейности компонентов на деформирование композита. В качестве конкретной задачи исследуем нелинейное деформирование слоистого материала, у которого модули объемного сжатия наполнителя K_1 и связующего K_2 постоянны, а модули сдвига μ_v ($v = 1, 2$) задаются функциями

$$\mu_1(\langle \varepsilon^1 \rangle) = \begin{cases} \mu_{01}, & J_\varepsilon^1 < \frac{k_1}{2\mu_{01}}; \\ \mu_{01} - \mu'_1 \left(1 - \frac{k_1}{2J_\varepsilon^1} \right), & J_\varepsilon^1 \geq \frac{k_1}{2\mu_{01}}; \end{cases} \quad (20)$$

$$\mu_2(\langle \varepsilon^2 \rangle) = \begin{cases} \mu_{02}, & J_\varepsilon^2 < \frac{k_2}{2\mu_{02}}; \\ \mu'_2 + \left(1 - \frac{\mu'_2}{\mu_{02}} \right) \frac{k_2}{2J_\varepsilon^2}, & J_\varepsilon^2 \geq \frac{k_2}{2\mu_{02}}, \end{cases} \quad (21)$$

где $\mu_{0v}, \mu'_v, k_v = \sigma_{0v} \sqrt{2/3}$ – постоянные наполнителя (при $v = 1$) и связующего (при $v = 2$) материала, σ_{0v} – предел их текучести, $J_\varepsilon^v = (\langle \varepsilon_{pq}^v \rangle' \langle \varepsilon_{pq}^v \rangle')^{1/2}$, $\langle \varepsilon_{pq}^v \rangle'$ – девиатор средних в наполнителе или связующем деформаций.

При выполнении расчетов в качестве компонентов взяты соответственно наполнитель из органического стекла, который имеет диаграмму нелинейного деформирования (20) с постоянными [2, 5-7]

$$K_1 = 27,78 \text{ ГПа}; \quad \mu_{01} = 20,83 \text{ ГПа}; \quad \mu'_1 = 0,184 \text{ ГПа}; \quad \sigma_{01} = 1,8 \text{ ГПа}, \quad (22)$$

объемным содержанием $c_1 = 0; 0,2; 0,4; 0,6; 1,0$

и эпоксидное связующее, которое имеет диаграмму линейного упрочнения (21) с постоянными [2, 5-7]

$$K_2 = 3,33 \text{ ГПа}; \quad \mu_{02} = 1,11 \text{ ГПа}; \quad \mu'_2 = 0,02 \text{ ГПа}; \quad \sigma_{02} = 0,12 \text{ Гпа}. \quad (23)$$

На основе полученных зависимостей были исследованы эффективные диаграммы нелинейного деформирования слоистого материала при различных объемных концентрациях наполнителя в случае заданных макропараметров

$$\langle \varepsilon_{33} \rangle \neq 0; \quad \langle \sigma_{11} \rangle = \langle \sigma_{22} \rangle = 0. \quad (24)$$

В этом случае согласно (11) макронапряжение $\langle \sigma_{33} \rangle$ в материале связано с макродеформацией $\langle \varepsilon_{33} \rangle$ соотношением

$$\langle \sigma_{33} \rangle = \frac{1}{\lambda_{11}^* + \lambda_{12}^*} \left[(\lambda_{11}^* + \lambda_{12}^*) \lambda_{33}^* - 2(\lambda_{13}^*)^2 \right] \langle \varepsilon_{33} \rangle. \quad (25)$$

при этом имеют место равенства

$$\langle \varepsilon_{11} \rangle = \langle \varepsilon_{22} \rangle = -\frac{\lambda_{13}^*}{\lambda_{11}^* + \lambda_{12}^*} \langle \varepsilon_{33} \rangle, \quad (26)$$

что эквивалентно условию (24).

На рис. 2 приведены графики зависимостей макронапряжения $\langle \sigma_{33} \rangle / \mu_2$ от макродеформации $\langle \varepsilon_{33} \rangle$ для слоистого материала при различных объемных концентрациях наполнителя c_1 . Как видим, физическая нелинейность слоев материала оказывает существенное влияние на характер диаграмм деформирования для всех значениях объемного содержания наполнителя $c_1 < 1$. При $c_1 > 0$ кривые зависимостей $\langle \sigma_{33} \rangle / \mu_2$ от $\langle \varepsilon_{33} \rangle$ имеют параболический характер

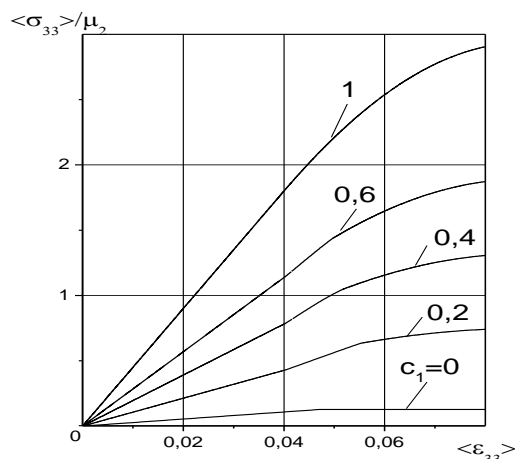


Рис. 2. Зависимости макронапряжения $\langle \sigma_{33} \rangle / \mu_2$ от макродеформации $\langle \epsilon_{33} \rangle$ для слоистого материала при различных объемных концентрациях наполнителя c_1 .

Выводы. В данной работе проведено исследование нелинейного деформирования слоистых материалов при нелинейном деформировании слоев. Построена модель нелинейного деформирования слоистых композитных материалов, разработан алгоритм определения напряженно-деформированного состояния и эффективных деформативных свойств слоистого материала с физически нелинейными слоями, а также исследованы зависимости деформирования слоистого материала от объемного содержания наполнителя. Установлено, что физическая нелинейность слоев оказывает существенное влияние на характер диаграмм деформирования для всех значениях объемного содержания наполнителя. В отличие от случая линейного деформирования слоев, когда зависимости макронапряжений от макродеформаций являются линейными, и от случая, когда нелинейным является только связующее и влияние нелинейности прослеживается только при объемных содержаниях наполнителя $c_1 \ll 1$, в данном случае слоистый материал за пределом упругости деформируется по параболическому закону при всех объемных концентрациях наполнителя c_1 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Каудерер Г. Нелинейная механика. URL: <https://www.razym.org/naukaobraz/disciplini/fizika/277596-kauderer-g-nelineynaya-mekhanika.html> . (дата звернення 6.11.2020).
2. Михеев С.В., Строганов Г.Б., Ромашин А.Г. Керамические и композиционные материалы в авиационной технике. М.: Альтекс, 2002. 276 с.
3. Хорошун Л.П. Методы теории случайных функций в задачах о макроскопических свойствах микронеоднородных сред. *Прикладная механика*. 1978. Т. 14, № 2. С. 3–17.
4. Хорошун Л.П. Метод условных моментов в задачах механики композитных материалов. *Прикладная механика*. 1987. Т. 23, № 10. 100–108.
5. Хорошун Л.П., Маслов Б.П., Шикуча Е.Н., Назаренко Л.В. Механика композитов: В 12-х т. / под общ. ред. А.Н.Гузя / Т.3 Статистическая механика и эффективные свойства материалов. К.: Наук. думка, 1993. 390 с.
6. Гузь А.Н., Хорошун Л.П., Михайлова М.И., Бабич Д.В., Шикуча Е.Н. Механика композитов: В 12 т. / под общ. ред. А.Н.Гузя / Т. 12: Прикладные исследования. К.: «А.С.К.», 2003. 398 с.
7. Хорошун Л.П., Шикуча Е.Н., Деформирование физически нелинейных стохастических композитных материалов. Деформирование и кратковременная повреждаемость физически нелинейных стохастических

композитных материалов / Успехи механики: В 6-ти томах / под редакцией А.Н.Гузя. / Том 6 (книга 2). К.: Литера ЛТД, 2011. 832 с. С. 161–191, 436–463.

8. Шермергор Т.Д. Теория упругости микронеоднородных сред. URL: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=шермергор+т.д.+теория+упругости+микронеоднородных>. (дата звернення 6.11.2020).
9. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Short-term microdamageability of laminated materials under thermal actions. *International Applied Mechanics*. 2002. V. 38. N 4. P. 432-439.
10. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Influence of physically nonlinear deformation on short-term microdamage of a laminar material. *International Applied Mechanics*. 2004. V. 40. N 8. P. 656-663.
11. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Deformation of a laminated composite with a physically nonlinear reinforcement and microdamageable matrix. *International Applied Mechanics*. 2005. V. 41. N 11. P. 1131-1138.
12. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Short-term microdamage of laminated material with nonlinear matrix and microdamaged reinforcement. *International Applied Mechanics*. 2005. V. 41. N 12. P. 1246-1253.
14. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Short-term microdamage of a physically nonlinear laminate under simultaneous normal and tangential loads. *International Applied Mechanics*. 2007. V. 43. N 4. P. 409-417.
15. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Deformation of physically nonlinear stochastic composites. *International Applied Mechanics*. 2008. V. 44. N 12. P. 1325-1351.
16. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Deformation and short-term damage of physically nonlinear stochastic composites. *International Applied Mechanics*. 2009. V. 45. N 6. P. 1204-1232.
17. L.P., Shikula E.N. Deformation and damage of composite materials of stochastic structures: physically nonlinear problems. *International Applied Mechanics*. 2012. V. 48. N 4. P. 359-413.
18. Khoroshun L.P., Shikula E.N. Coupled processes of deformation and long-term damage of physically nonlinear laminated materials. *International Applied Mechanics*. 2013. V. 49. N 6. P. 650-657.

REFERENCES

1. Kauderer G. *Nelinejnaya mekhanika. [Non-linear mechanics]*. Retrieved from http://ssily.ru/admin/uploads/states/file/aktivnyie_filtryi_garmonik_rus.pdf (Accessed 18 May 2014).
2. Mikheev S.V., Stroganov G.B., & Romashin A.G. (2002) *Keramicheskiye i kompozitsionnyye materialy v aviatsionnoy tekhnike. [Ceramic and composite materials in aeronautical engineering]*. Moskva: Alteks.
3. Khoroshun L.P. (1978). Metody teorii sluchaynykh funktsiy v zadachah o makroskopicheskikh svoystvakh mikroneodnorodnykh sred [Methods of the theory of random functions in problems of macroscopic properties of microinhomogeneous media]. *Prikladnaya mehanika - Applied Mechanics*. Vol. 14, 2, 3–17.
4. Khoroshun L.P. (1987). Metod uslovnnykh momentov v zadachah mehaniki kompozitnykh materialov [The method of conditional moments in the problems of mechanics of composite materials]. *Prikladnaya mehanika - Applied Mechanics*. Vol. 23, 10. 100–108.
5. Khoroshun L.P., Maslov B.P., Shikula E.N., & Nazarenko L.V. (1993) *Mekhanika kompozitov. (Vols. 1-12). Vol. 3. Statisticheskaya mehanika i effektivnyye svoystva materialov [Mechanics of composites. (Vols. 1-12). Vol. 3. Statistical mechanics and effective properties of materials]*. K.: Nauk. Dumka.
6. Guz A.N., Khoroshun L.P., Mihaylova M.I., Babich D.V., Shikula E.N. (2003) *Mekhanika kompozitov. (Vols. 1-12). Vol. 12. Prikladnyye issledovaniya [Mechanics of composites. (Vols. 1-12). Vol. 12. Applied research]*. K.: «A.S.K.»
7. Khoroshun L.P., Shikula E.N., (2011) Deformirovaniye fizicheskii nelineynykh stohasticheskikh kompozitnykh materialov. Deformirovaniye i kratkovremennaya povrezhdaemost fizicheskii nelineynykh stohasticheskikh kompozitnykh materialov [The deformation of physically nonlinear stochastic composite materials. Deformation and short-term damage of physically nonlinear stochastic composite materials]. *Uspehi mehaniki - (Vols. 1-6; Vol. 6.2)*. K.: Litera LTD.
8. Shermergor T.D. *Teoriya uprugosti mikroneodnorodnykh sred [Theory of elasticity of microinhomogeneous media]*. Retrieved from <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=шермергор+т.д.+теория+упругости+микронеоднородных>. (Accessed 28 November 2012).
9. Khoroshun L.P., Shikula E.N. (2002). Short-term microdamageability of laminated materials under thermal actions // *International Applied Mechanics*. V. 38. N 4. P. 432-439. (in English).
10. Khoroshun L.P., Shikula E.N. (2004). Influence of physically nonlinear deformation on short-term microdamage of a laminar material // *International Applied Mechanics*. V. 40. N 8. P. 656-663. (in English).
11. Khoroshun L.P., Shikula E.N. (2005). Deformation of a laminated composite with a physically nonlinear reinforcement and microdamageable matrix // *International Applied Mechanics*. V. 41. N 11. P. 1131-1138. (in English).
12. Khoroshun L.P., Shikula E.N. (2005). Short-term microdamage of laminated material with nonlinear matrix and microdamaged reinforcement // *International Applied Mechanics*. V. 41. N 12. P. 1246-1253. (in English).
14. Khoroshun L.P., Shikula E.N. (2007). Short-term microdamage of a physically nonlinear laminate under simultaneous normal and tangential loads // *International Applied Mechanics*. V. 43. N 4. P. 409-417. (in English).
15. Khoroshun L.P., Shikula E.N. (2008). Deformation of physically nonlinear stochastic composites // *International Applied Mechanics*. 2008. V. 44. N 12. P. 1325-1351. (in English).
16. Khoroshun L.P., Shikula E.N. (2009). Deformation and short-term damage of physically nonlinear stochastic composites // *International Applied Mechanics*. V. 45. N 6. P. 1204-1232. (in English).

17. Khoroshun L.P., Shikula E.N. (2012). Deformation and damage of composite materials of stochastic structures: physically nonlinear problems // International Applied Mechanics. V. 48. N 4. P. 359-413. (in English).

18. Khoroshun L.P., Shikula E.N. (2013). Coupled processes of deformation and long-term damage of physically nonlinear laminated materials // International Applied Mechanics. V. 49. N 6. P. 650-657. (in English).

Елена Шикула, д.ф.-м.н.
(профессор кафедри Комп'ютерних наук Государственного университета телекоммуникаций)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложена модель нелинейного деформирования слоистых материалов с физически нелинейными слоями. Построен алгоритм для определения их эффективных деформативных свойств и напряженно-деформированного состояния. Исследовано нелинейное деформирование слоистых материалов. Получены кривые деформирования для простого нагружения. Изучено влияние нелинейности слоев на деформирование материала. Установлено, что нелинейность слоев существенно влияет на эффективные деформативные свойства и напряженно-деформированное состояние слоистых материалов.

Ключевые слова: слоистый материал, нелинейное деформирование слоев, напряженно-деформированное состояние, эффективные деформативные свойства, влияние нелинейности

Elena Shikula, Doctor in Physical and Mathematical Sciences
(Professor of the Department of Computer Science, State University of Telecommunications)

NONLINEAR DEFORMATION OF GRANULAR COMPOSITES

The model of nonlinear deformation of a layered material with physically nonlinear layers is proposed. The laminate is considered a two-component material with random layers. The basis is the stochastic differential equations of the physically nonlinear theory of elasticity L.P. Khoroshun. The solution to the problem of the stress-strain state and effective properties of the composite material is constructed by the averaging method. An algorithm for determining the effective deformable properties of a layered material with physically nonlinear layers has been developed. The solution of nonlinear equations taking into account their physical nonlinearity is constructed by an iterative method. The law of the relationship between macrostresses and macrostrains in a layered material and the dependence of average strains and stresses in its layers on macrostrains has been established. Curves of material deformation are plotted for different values of the volumetric content of its filler. The dependence of the effective deformative properties of the laminated material on the volumetric content of the filler has been studied. The effect of nonlinearity of layers on the deformation of a layered composite material is investigated. It was found that the nonlinearity of the layers significantly affects the effective deformative properties and the stress-strain state of laminated materials.

Keywords: laminated material, nonlinear deformation of layers, stress-strain state, efficient deformative properties, influence of nonlinearity

УДК 629.424.1:629.423.2

*Фалендиш А.П., д.т.н., професор
(професор кафедри транспортних технологій підприємств Приазовського державного технічного університету)*
*Гатченко В.О., к.т.н., доцент
(доцент кафедри тягового рухомого складу залізниць Державного університету інфраструктури та технологій)*
*Клецька О.В., к.т.н.
(доцент кафедри транспортних технологій підприємств Приазовського державного технічного університету)*
*Кіріцева О.В.
(асистент кафедри транспортних технологій підприємств Приазовського державного технічного університету)*
*Барибін М.А.
(аспірант кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту Українського державного університету залізничного транспорту)*

МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖИМНИХ КАРТ ВЕДЕННЯ ПОЇЗДА

У статті розглянуті питання визначення раціональних підходів до створення режимних карт ведення поїзда, раціональному використанню режимів роботи дизеля та застосування автоматизованої системи комп'ютерного моделювання. Встановлені основні значення та методика розрахунку для конкретних умов експлуатації на базі закону збереження механічної енергії.

***Ключові слова:** автоматична система, тягові розрахунки, режимна карта, математичне моделювання, локомотив.*

Вступ. Сучасний стан залізничного транспорту характеризується помітним спрацюванням та застарілістю основних фондів. Локомотивне господарство, як одне з найбільших фондомістких та енергоємних структурних підрозділів, вимагає суттєвих фінансових витрат для оновлення тягового рухомого складу (ТРС), засобів для реєстрації та обробки інформації в процесі експлуатації локомотивів. В умовах недофінансування виникає потреба пошуку шляхів зменшення витрат при експлуатації локомотивів та перенаправлення вивільнених резервів на першочергові вимоги локомотивного господарства. Швидкий розвиток мікропроцесорної техніки та обладнання, впровадження методів математичного моделювання параметрів руху поїзда дозволяє виявити резерви в підвищенні економічності експлуатації ТРС, ефективному використанню потужності локомотива та раціональним режимам роботи дизеля. Створення на їх основі рекомендацій з економного використання палива при експлуатації тепловозів та режимних карт ведення поїзда дозволить зменшити витрати на експлуатацію.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Розвиток електронно-обчислювальної техніки відкрив широкі можливості до виконання розрахунків і моделювання процесів у теорії тяги поїздів. Ряд фахівців присвятили свої роботи питанням встановлення: раціональних

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-14

режимів ведення рухомого складу; методів та засобів збору і обробки інформації; способам побудови режимних карт та визначенню основних тягових параметрів. На просторі країн СНД слід відмітити дослідження Міхєєва В.А. [1], що відкривають можливість до засобів збору, аналізу та обробки статистичної інформації. Роботи Осипова С.І. [2], в яких сформовані основні методи для визначення сил що діють на поїзд. В роботах [3, 5, 6] автори приводять приклади методів створення математичних моделей та розробки їх оптимальної структури. В країнах західної півкулі та Азії виділяються праці Юань [4] з побудовою метода нелінійного прогнозування. Сонг [7] в роботах формує стратегію адаптивного управління з віртуальним підходом. Використання новітньої технології нейронних мереж в локомотивному господарстві приведена в дослідженнях Гао [14]. На базі їх праць та ряду інших авторів були розроблені програмні продукти розрахунку тягових параметрів та оптимізації витрати енергоресурсів. Найбільшого поширення набули спеціалізовані комплекси «ІСКРА-ПТР», «ЕРА», «ВЕКТРУМ» та «MoveRW». В них можливо розрахувати основні тягові параметри та побудувати моделі ведення поїзда, адаптувати режими ведення при зміні графіку руху. Проте вони мають ряд недоліків: висока вартість та технічні вимоги до електронно-обчислювальної техніки, недостатня точність впливу колії на рухомий склад і неможливість гнучкого реагування на мінливі технічні характеристики рухомого складу. Важливим недоліком робіт пострадянського простору є вузько направленість математичних моделей для конкретних умов експлуатації, при цьому праці [4, 7-8, 13-15] не відповідають критерію типу рухомого складу наявному в парку Укрзалізниці.

Оскільки в процесі експлуатації постійно відбувається зміна параметрів, що характеризують якість функціонування рухомого складу [10-12], виникає потреба створити адаптивний режим ведення поїзда, пристосування якого включало б зміну величин сил тяги та витрат палива. В [9] представлений програмний продукт оптимізуючи алгоритм якого можливо досягти поставлених цілей. Всі фактори, які впливають на рухомий склад під час руху враховуються в законі збереження енергії. Тому вирішенням проблеми є розробка на базі закону збереження механічної енергії адаптивного режиму ведення поїзда з гнучкою системою корегування з врахуванням вхідних параметрів.

Мета і задачі дослідження. Метою даної статті є розробка моделі по визначенню енергоефективного режиму ведення поїзда. Для її досягнення необхідно вирішити наступні задачі. Розробити математичну модель раціоналізації застосування позиції контролера машиніста та втілити її у формі «режиму ведення поїзда» програмного продукту «Тягові розрахунки» на мові програмування «Visual C#». Довести доцільність перегляду режимних карт та навчання локомотивних бригад ефективному управлінню за новою методикою з метою визначення раціональних режимів ведення поїзда та зниження ресурсів на тягу. Графічно побудувати режимну карту ведення поїзда з нанесенням на неї всіх вихідних параметрів розрахунку та отриманих параметрів: кривих часу, швидкості, струму, позиції контролера машиніста та температури в залежності від шляху на плечі обслуговування маневрового тепловозу серії ЧМЕЗ.

Матеріал та методи дослідження. Розробка методів встановлення раціональних режимів ведення поїзда базується на математичному моделюванні поїзда, профілю колії та поїзної обстановки. Повнота математичної моделі, як основа для отримання достовірних і найбільш близьких до експериментальних даних, повинна не тільки адекватно відображати картину процесів, що відбуваються, але і представляти можливість вибору шляхів раціоналізації. Тому пропонується не використовувати існуючі підходи створення режимних карт ведення поїзда, а скористатися законом збереження механічної енергії:

$$E = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2} + mgh_2 - mgh_1, \quad (1)$$

де E – значення зміни механічної роботи, Дж;

V_1, V_2 – швидкість на початку та в кінці елемента профілю, км/год;

m – маса поїзда, кг;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9.81\text{м/с}^2$
 h_1, h_2 – відповідно висоти на початку та в кінці елемента профілю, м.

Механічна робота яку виконує поїзд, рухаючись по колії, має вигляд:

$$E = F \cdot S, \quad (2)$$

де F – сила що діє на рухомий склад, Н;
 S – довжина ділянки переміщення, м.

Відповідно до 2-го закону Ньютона вираз для сили буде мати вигляд:

$$F = m \cdot a, \quad (3)$$

де a – прискорення руху, км/год².

Згідно з [2] прискорення руху має вираз:

$$a = \xi \cdot (f_k - w - b_T), \quad (4)$$

де ξ – коефіцієнт питомого прискорення, $\xi = 0.00926 \frac{\text{м/с}^2}{\text{Н/кН}}$;

f_k – питома сила тяги, Н/кН;

w – питомі сили опору руху, Н/кН;

b_T – питомі гальмівні сили, Н/кН.

Підставимо (2), (3), (4) в вираз (1), тоді він буде мати вигляд:

$$m \cdot \xi \cdot (f_k - w - b_T) \cdot S = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2} + mgh_2 - mgh_1 \quad (5)$$

Виконаємо перетворення виразу (5) таким чином, щоб в лівій частині рівняння отримати швидкість в кінці елемента шляху що розглядається, а в правій (для зручності) згрупуємо за логічною концепцією можливості управління. Тобто значення якими може керувати машиніст буде знаходитись в кінці виразу, тоді рівняння буде мати вигляд:

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 - 2 \cdot (g \cdot (h_2 - h_1) + \xi w S) + 2 \xi S \cdot (f_k - b_T)} \quad (6)$$

Витрата палива ТРС визначається особливостями робочого процесу дизеля та регіоном експлуатації локомотива. Оскільки в ході експлуатації на плечах обслуговування силова установка працює в своїй більшості на проміжних режимах, виникає потреба оцінити вплив умов на характер використання режиму роботи. Також слід врахувати той момент, що коефіцієнт корисної дії тепловоза в залежності від швидкості та позиції контролера машиніста переважно в літературних джерелах заданий графічно в габаритах, які не дозволяють повноцінно обрати режим роботи дизеля у всьому діапазоні швидкостей. Розвиток мікропроцесорного обладнання та його інтеграція на модернізованих дизельних локомотивах вимагає точних значень позицій в залежності від швидкості руху поїзда. Тому пропонується для визначення оптимальної позиції контролера машиніста використовувати криві витрати палива та гіперболічні характеристики сили тяги.

Логічна інтерпретація вказаного твердження базується на потребі визначення величини сили тяги яку ми отримаємо при вказаній витраті палива. Отримане значення назвемо коефіцієнтом тягових витрат $\eta_{ТВ}$, математичне відображення якого пропонується визначати за допомогою виразу:

$$\eta_{ТВ} = \frac{F_{k_v}}{G_v}, \quad (7)$$

де F_{k_v} – сила тяги тепловоза i -ої позиції на j -й швидкості руху, кН;

G_v – витрата палива тепловоза i -ої позиції на j -й швидкості руху, кг/хв.

Розглянемо для прикладу роботу тепловозу серії ЧМЕЗ приписки локомотивного депо «Харків-Сортувальний» та розрахуємо коефіцієнт тягових витрат. Вхідні дані сили тяги та витрат палива взяті з [2]. Отримані розрахунки представимо в графічному вигляді та наведемо на рис. 1.

Як видно з рис. 1 раціональність використання режиму роботи дизеля базується на аксонометричному проєцюванні на вісь аплікат коефіцієнта тягових витрат та визначення піків виступів під час перекриття площинами криволінійних фігур.

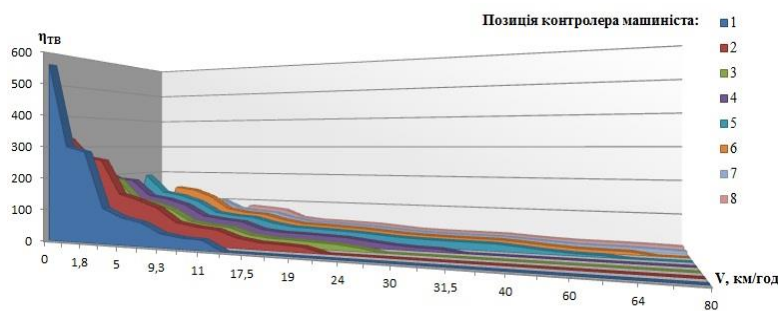


Рис. 1. Графічне відображення коефіцієнта тягових витрат тепловоза ЧМЕЗ залежно від швидкості та позиції контролера машиніста

За допомогою метода Крамера знайдемо точки перетину та побудуємо діаграму залежності позиції контролера машиніста відносно швидкості руху з урахуванням паливної економічності та зобразимо на рис. 2.

Наступним кроком вирішення поставленої мети є аналіз тягових властивостей реальних поїзних обставин. Для прикладу візьмемо плече обслуговування «Харків-Сортувальний – Белгород» тепловозом ЧМЕЗ з відправленням поїзду зі станції Козача Лопань. Згідно [11] та «Журналу руху поїздів дільничної станції Козача Лопань (ДУ-3)» побудуємо полігон зміни величини основного опору рухомого складу [2, 10] в залежності від кількості та типу вагонів, які формуються станцією протягом року, графічне відображення якого подано на рис. 3.

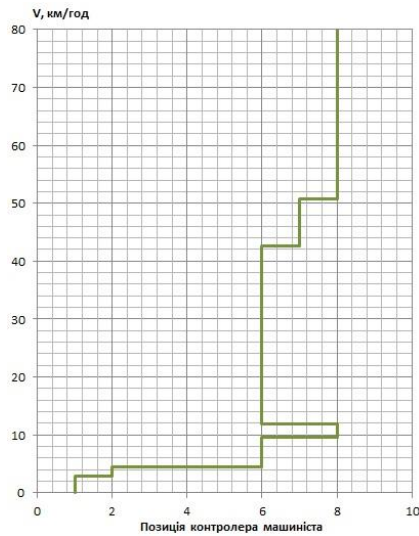


Рис. 2. Залежність позиції контролера машиніста відносно швидкості руху з урахуванням паливної економічності

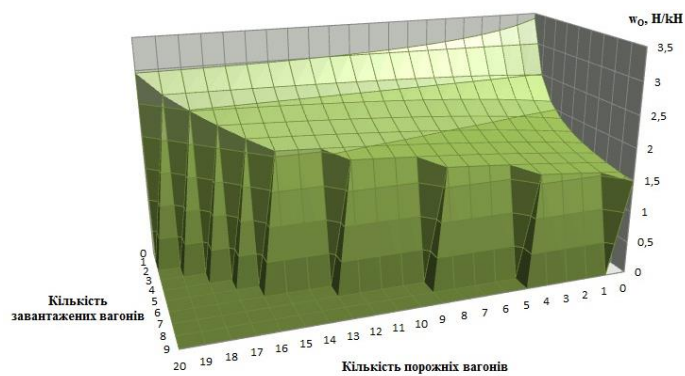


Рис. 3. Зміна величини основного опору залежно від типу вагонів у сформованому складі

Відокремимо згідно з маршрутним листом сформований склад вагою 783 тони та використавши графік руху поїздів (в частині встановлення часу перегінного ходу вантажного поїзда, та як наслідок швидкості – 46,95 км/год) побудуємо зміну основного опору на швидкісному діапазоні для встановлення величини коливань швидкості, графічно зобразивши на рис. 4.

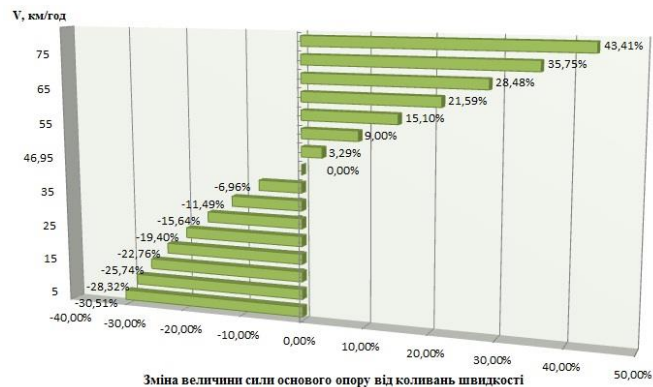


Рис. 4. Зміна величини основного опору залежно від зміни швидкості

Як видно з рис. 4 сили основного опору найбільш близькі чисельно до лінійного виразу з кутом нахилу кривої в 45° діапазон швидкостей в 30...60 км/год, що відповідно є значення мінімальної шкідливої роботи сил опору. При чому раціоналізація твердження знаходить свою економічну доцільність на кінцях швидкісної дистанції, а в середині пропонується мінімізувати час руху. Використання вказаного інтервалу обумовлено неможливістю роботи ТРС у вузькому діапазоні швидкостей в силу специфіки дизельного двигуна.

Наступним кроком визначення величини впливу профілю колії є формалізація колійних обставин. Для цього сили додаткового опору від уклонів та кривих переведемо з тисячних долей (промиле) в висоти (метри), та використавши формулу (5) з підстановкою основного опору для графікової швидкості руху, на заданому плечі обслуговування, побудуємо криві зміни висот в залежності від шляху та шляху і опору. Оскільки дана модель є формальною то слід вважати сили тяги та гальмівні сили рівні нулю, а кінетична енергія на всьому плечі є незмінною. Графічне відображення зображено на рис. 5.

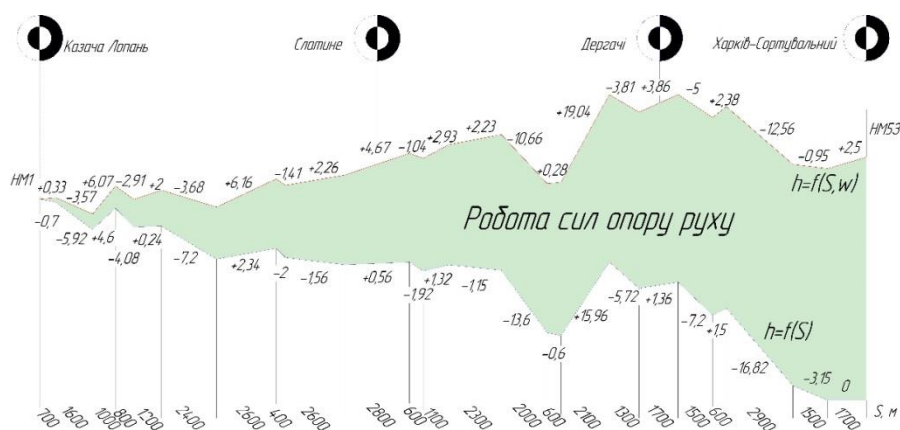


Рис. 5. Вплив поїзних обставин і профілю колії на рухомий склад в залежності від пройденого шляху

Отримані значення кривої $h=f(S,w)$, наведеної на рис. 5, використовуємо підставивши в формулу (6). При цьому початкова швидкість V_1 дорівнює кінцевому значенню елемента профілю шляху; залишкові сили тяги та гальмівні, як ті якими може керувати машиніст, при правильно підібраних їх значеннях та величини шляху, протягом якого вони діють, дозволять отримати приблизні значення V_2 . Оскільки наближення формалізованої моделі на даному етапі є аналітичне, тобто таке яке дасть картину зміни швидкості при сталому основному опорі складу, то будемо вважати результати слабо достовірними. З метою підвищення точності розрахунку використаємо дані рис.4 та врахуємо коефіцієнти зміни основного опору в середній швидкості розглянутого елемента профілю. Як результат корегування отримані швидкості будуть мати достатні довірчі значення. Реальний профіль шляху встановлює обмеження швидкості та місця перевірки гальм, що в свою чергу підвищить час на їх проходження. Для виконання графіку руху вантажних поїздів обраного плеча обслуговування використаємо кумулятивний метод підрахунку часу проходження елемента дільниці. Тобто рух відбувається з запасом часу на початку перегону, але в рамках значень отриманих на рис. 4, що є дзеркальним відображенням нелінійної залежності основного опору руху. Це дає можливість машиністу оперативно реагувати на мінливу поїзну обстановку або інші фактори. Вказані твердження втілено в програмний комплекс «Тягові розрахунки» [9] на мові програмування «Visual C#» у вигляді «енергоефективного» режиму ведення поїзда. Вхідні дані розрахунку наведені на рис. 6.

За результатами виконаних обчислень була побудована режимна карта ведення поїзда та встановлена економія палива на 9,53% у порівнянні з [12]. Графічне відображення режимної карти зображено на рис. 7.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Використання енергоефективного режиму розроблення режимних карт ведення поїзда з аналого-цифровими пристроями знімання основних параметрів руху дозволить підвищити точність, виконувати графік руху та зменшити витрату паливно-енергетичних ресурсів на тягу поїздів. Проте це потребує діагностичного обладнання та масової практичної апробації на виробництві.

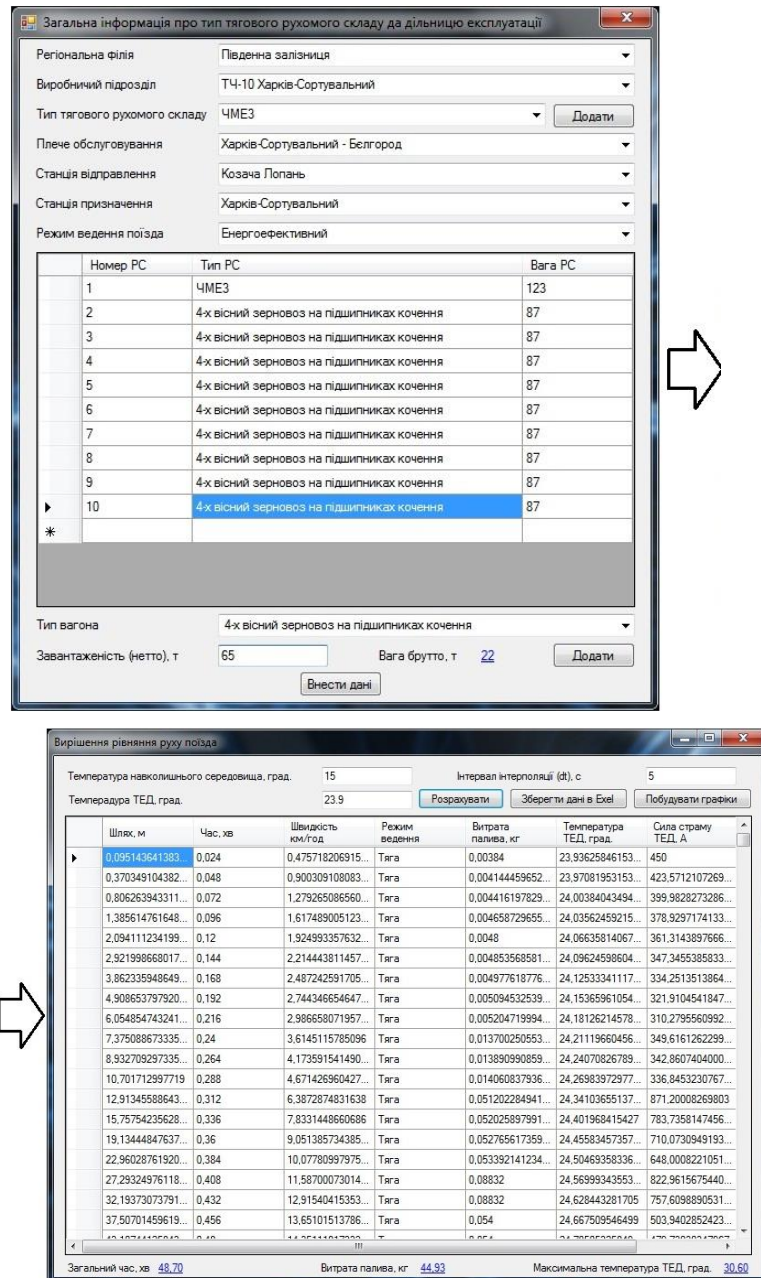


Рис. 6. Інтерактивне контекстне меню введення необхідних даних та вікно для тягових розрахунків

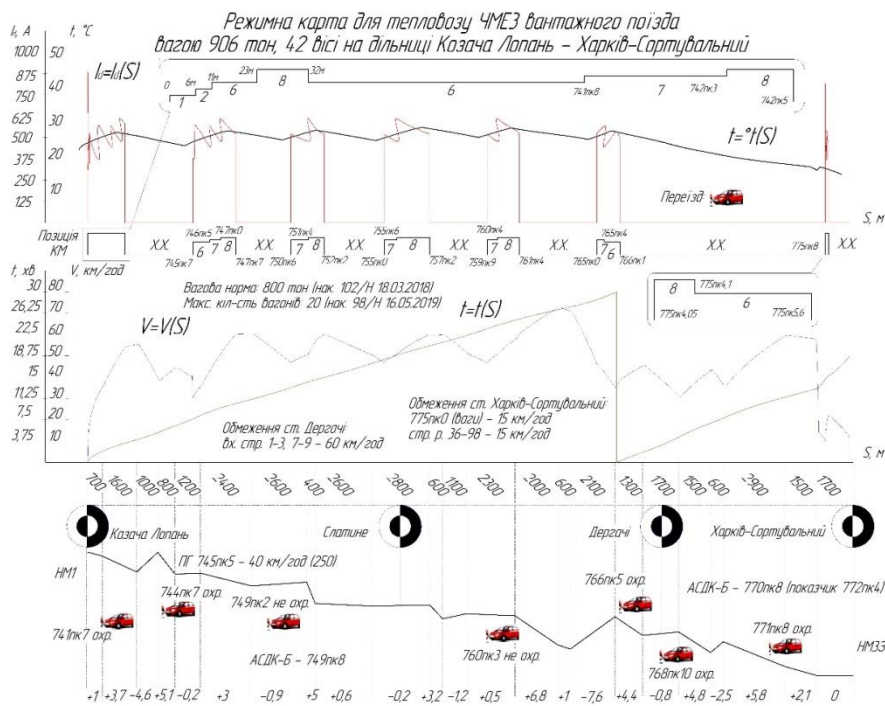


Рис. 7. Режимна карта

Висновки. В результаті проведеної роботи була розроблена модель визначення раціональних параметрів режимних карт ведення поїзда. Запропоновано енергоефективний режим ведення поїзда який втілено в формі «енергоефективного режиму» програмного продукту «Тягові розрахунки» на мові програмування «Visual C#». Сформована необхідність застосування засобів комп'ютерного моделювання. Обґрунтовано доцільність перегляду застарілих режимних карт та методів навчання локомотивних бригад економічному веденню ТРС. Графічно побудована режимна карта ведення поїзда з нанесенням на неї всіх вихідних параметрів розрахунку: кривих часу, швидкості, струму, позиції контролера машиніста та температури в залежності від шляху на плечі обслуговування. В подальшому доцільно впровадити запропоновані математичні моделі та програмний продукт в локомотивне господарство з метою встановлення раціональних режимів ведення поїзда, зниження ресурсів на тягу поїздів.

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. Тартаковский Э.Д., Фалендыш А.П., Калабухин Ю.Е., Грищенко С.Г. Оценка жизненного цикла. *Локомотив-информ*: научный журнал. 2013, №2 (80). С.56-60.
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. Програмний комплекс вибору системи технічної експлуатації 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. Фалендиш А.П., Гатченко В.О., Возненко С.В., Клецька О.В., Барибін М.А. Математичне моделювання

основних параметрів у тягових розрахунках. *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2020., №35. С.102-112.

10. Приказ №867р. Правила тяговых расчетов для поездной работы. Утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 р. М.: 510 с.

11. Наказ №98-Н. Положення про особливості утримання та експлуатації автоматичних гальм рухомого складу у філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця». - Введ. 2019-05-16. – Харків:, 2019. - 49 с.

12. Наказ №204-Ц. Положення про інспекцію з контролю ефективності використання енергоресурсів Укрзалізниці. - 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. Mikheyev 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 - Vesnik of the Siberian State Automobile and Road Academy. №1(41), 91-96 [in Russia].

2. Osipov S.I., & Osipov S.S. (2010) *Osnovy tyagi poyezdov [Principles of traction]*. Moscow: UMC MPS of Russia [in Russia]

3. Tartakovsky, E.D., Falendysh, A.P., Kalabukhin, Y.E., & Grishchenko, S.G. (2013). *Otsenka zhiznennogo tsikla [Life cycle assessment]*. Lokomotiv-inform: nauchnyiy zhurnal - Lokomotiv-inform: a scientific journal, 2, 80, 56-60 [in Russian].

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). *Proqramnyy kompleks vyboru systemy tekhnichnoy 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. Falendysh A.P., Gatchenko V.O., Voznenko S.V., Kletska O.V., & Barybin M.A. (2020). *Matematychni modelyuvannya osnovnykh parametriv u tyahovykh rozrakhunkakh [Mathematical modeling of basic parameters in traction calculations]*. Zbirnyk naukovykh prats' DUIT. Seriya «Transportni systemy i tekhnolohiyi» - Collection of scientific works of DUIT. Transport Systems and Technologies Series, 35, 102-112 [in Ukraine].

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. Polozhennya pro osoblyvosti utrymannya ta ekspluatatsiyi avtomatychnykh hal'm rukhomoho skladu u filiyi «Pivdenna zaliznytsya» АТ «Ukrzaliznytsya» [Regulations on the peculiarities of maintenance and operation of automatic brakes of rolling stock in the branch of "Southern Railway" JSC "Ukrzaliznytsia"]. (2019). *Order 98-N from 16.05.2019* Kharkiv: Joint-Stock Company Ukrzaliznytsia [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].

*Фалендыш А.П., д.т.н., професор
(професор кафедри транспортних технологій підприємств Приазовського державного технічного університета)*

*Гатченко В.А., к.т.н., доцент
(доцент кафедри тягового подвижного состава железных дорог Государственного университета инфраструктуры и технологий)*

*Клецкая О.В., к.т.н.
(доцент кафедры транспортных технологий предприятий Приазовского государственного технического университета)*

*Кирицева Е.В.
(ассистент кафедры транспортных технологий предприятий Приазовского государственного технического университета)*

*Барыбин Н.А.
(аспирант кафедры теплотехники, тепловых двигателей и энергетического менеджмента Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)*

МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖИМНЫХ КАРТ ВЕДЕНИЯ ПОЕЗДА

В статье рассмотрены вопросы определения рациональных подходов к созданию режимных карт ведения поезда, рациональному использованию режимов работы дизеля и применения автоматизированной системы компьютерного моделирования. Установлены основные значения и методика расчета для конкретных условий эксплуатации на базе закона сохранения механической энергии.

Ключевые слова: автоматическая система, тяговые расчеты, режимная карта, математическое моделирование, локомотив.

*A. Falendysh, Doctor of scines, Professor
(Professor, Head of the Department of Industrial transportation technologies of the Pryazovskyi State Technical University)*

*V. Gatchenko, Ph.D., Associate Professor
(Associate Professor, Department of Traction Rolling Stock Railways of the State University of Infrastructure and Technology)*

*O. Kletska Ph.D.
(Associate Professor, Department of Industrial transportation technologies of the Pryazovskyi State Technical University)*

*E. Kiritseva
(Assistant Professor, Department of Industrial transportation technologies of the Pryazovskyi State Technical University)*

*M. Barybin
(Postgraduate student of the Department of Thermal Engineering, Heat Engines and Energy Management of the Ukrainian State University of Railway Transport)*

MODEL FOR DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF RAILWAY TRAIN REGIME MAPS

The article considers the issues of determining rational approaches to the creation of train maps, the rational use of diesel modes and the use of automated computer simulation system. Based on the obtained results, an energy-efficient mode of train driving is proposed and a mathematical model of the locomotive operation character is created. There is a need to review obsolete regime and train

locomotive crews in the latest methods of operation. The basic values and methods of calculation for specific operating conditions on the basis of the law of conservation of mechanical energy are established. It is proposed to create a passport of each locomotive to determine the rational weight norms on the existing service shoulders. After all, overloading or underutilization of the locomotive's resource is associated with loss of profit or the emergence of emergencies. The necessity of the offered methods within the limits of ecological requirements to traction rolling stock is proved. The possibility of forming a rational system of mileage between technical inspections and repairs for each locomotive as a whole on the basis of forecasting and statistics is determined. It is recommended to further implement mathematical modeling and digital means of monitoring the technical condition after repairs to achieve economic efficiency of railway transport.

Keywords: *automatic system, traction calculations, mode map, mathematical modeling, locomotive.*

УДК 656.614.3

Круглий Д.Г.

(д.т.н., професор кафедри інноваційних технологій та технічних засобів судноводіння, Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПІД ЧАС ПАНДЕМІЇ

У статті досліджено стан глобальної економічної ситуації галузі морських перевезень під час пандемії Covid-19, розглянуто взаємозв'язок та вплив факторів на стан всесвітньої економіки. В результаті дослідження запропоновано: прискорити введення безконтактного документообігу, закріпити позиції морської логістики, яка грає важливу економічно вигідну роль в економічних відносинах та товаропотоках.

Ключові слова: економічна криза; пандемія Covid-19; морська логістика; товарообіг; морські перевезення.

Вступ. Сьогодні людство зіштовхнулося з принципово новою катастрофою – пандемією Covid-19. Карантини, закриття кордонів, створення численних проблем практично для всіх держав – все це реалії сьогодення. У експертів ще зможуть повною мірою оцінити масштаб пов'язаного з епідемією економічного шоку і всіх його віддалених наслідків. Але вже зараз очевидно, що відновлення глобальної економіки це нелегкий шлях. Причому далеко не завжди будуть працювати вже апробовані антикризові заходи. Необхідно шукати принципово нові, нестандартні рішення.

Передові цифрові технології дозволили швидко перебудувати систему освіти, торгівлі, сфери послуг. Колосальним проривом стало введення в багатьох сферах штучного інтелекту. Але, як і будь-які інші інновації, цифрові технології мають тенденцію до некерованого поширення і, так само, як і звичайна зброя, можуть потрапити в руки кібер шахраїв не тільки в зонах регіональних конфліктів, а і у цілком благополучних країнах, породжуючи величезні ризики. [1, с.1-2] У зв'язку з цим питання кібербезпеки при застосуванні передових цифрових технологій заслуговують найретельнішого вивчення.

Постановка проблеми. На даний момент в усьому світі постала гостра необхідність введення так званих зелених коридорів – вільних від торгових воєн і санкцій шляхів, перш за все, для товарів першої необхідності: продовольства, ліків, засобів індивідуального захисту, які просто необхідні саме для боротьби з пандемією. Ринок морських перевезень занадто вузький, щоб трансформуватися в умовах коронавірусу і прийнятих державами обмежень. При цьому експерти акцентують увагу на готовність представників портів швидко пристосуватися в умовах, що склалися, до нових вимог і продовжити надавати якісні послуги.

Але на сьогодні не всі процеси залежать від них. Найчастіше складнощі полягають в процесах переговорів, термінах укладання договорів, портової бюрократії [2, с. 32-35].

Розчищення, звільнення світової торгівлі від бар'єрів, заборон, обмежень, нелегітимних санкцій могло б стати гарною основою для відновлення глобального зростання економіки. Це дійсно одна з найгостріших глобальних соціальних проблем, тому місія політики зараз – прокласти дорогу торгівлі, товарообміну, спільним проектам і чесній конкуренції, а не погіршувати умови для здорової діяльності бізнесу і ділової ініціативи.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-15

В даній статті представлено актуальне дослідження стану товарообміну на тлі глобального світового економічного стану. Досліджено порівняння економічних показників країн, що впливають на глобальну економіку світу та товарообмін в період 2019 та 2020 рр. Визначено недоліки галузі, перспективи розвитку та доведено економічні переваги, на які необхідно звернути пріоритетну увагу з метою вдосконалення роботи та покращення ситуації під час пандемії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дана проблема була широко представлена на засіданні Генеральної асамблеї Організації Об'єднаних Націй. Багато голів держав висловили свою думку про необхідність глобального відновлення всіх напрямів життєдіяльності людства. Без сумнівів ООН може сприяти зміцненню і підвищенню ролі багатосторонніх відносин, а це - громадські та молодіжні обміни, культурні зв'язки, соціальні, економічні та освітні програми, кооперація у сфері спорту, науки, технологій, охорони навколишнього середовища і здоров'я людей. Свою актуальність в повній мірі довели відповідні багатосторонні конвенції, договори та протоколи в рамках ООН. Всі держави повинні відповідально підходити до їх дотримання, особливо по досягненню цілей Паризької угоди. У складних умовах, що сьогодні мають місце в нашому житті, всім країнам важливо проявити політичну волю, мудрість і далекоглядність. І звичайно, провідна роль тут належить постійним членам Ради Безпеки. У взаємопов'язаному, взаємозалежному світі, в вирі міжнародних подій необхідно діяти спільно і спиратися при цьому на зафіксовані в Статуті ООН принципи міжнародного права.

Цікава думка проголошена в одному з виступів Генерального секретаря ПС МПК ТРАСЕКА А. Асавбаева. Він наголосив, що навіть рішення компаній про трансформацію не вплине на показники вантажообігу в загальному обсязі. Тому всі держави мають координувати процеси, що впливають на збільшення вантажоперевезень, в тому числі і морським шляхом. Для цього необхідно сформувати більш привабливі тарифи, переглянути податкові режими і надати преференції – скасувати або призупинити стягування ПДВ.

Як українські порти пережили два місяці карантину і чого чекати галузі в найближчому майбутньому, представники морського бізнесу обговорили на онлайн-конференції Grain & Maritime Day. Генеральний директор «Майерск Україна» Р. Колоянов вважає, що відновлення світової економіки буде відбуватися по так званій U-подібній кривій. Тобто, буде не швидким, а плавним. «У другому кварталі 2020 року ми, швидше за все, знаходимося в нижній точці економічної кризи. Очікується, що відновлення почнеться з третього кварталу. Якщо не буде проблем з повторним введенням карантинних заходів, то до кінця року тренд повинен стати вже позитивним, а економіка повинна відновлюватися».

Вже зараз експерти застерігають від надмірного оптимізму: позитивні тенденції, відображені в звітах за перший квартал 2020 р. оманливі. Попереду криза, яку можна порівняти, за масштабами з кризою 2008-2009 років, якщо тільки вона не перевершить ці показники. І відновлення галузі буде тривалим і непростим.

Свої прогнози про те що пандемія не проходить безслідно у світі наголосив і глава Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) Тедрос Адханом Гебрейсус, він зазначив, що наслідки такого удару будуть виправлятися десятиліттями.

В літературі поки мало розкрито дане питання науковцями, але є вже опублікована думка науковців всього світу, щодо даного глобального питання, а саме: Долбневої Д. [3, с. 20-26], Мізінцева М. [4], Флахаурд А. [5, с. 1037-1038], Легідо-Квіклей Х. Метеос-Гарсія Х., Кампос В. [6, с. 1-2], Каннан С., Чезза А. [7, с. 2006-2011], Долгов С. И., Савинов Ю. А., Тарановская Е. В. [8, с. 7-18], Тейлор Л. Вулхаус М. [9, с. 983-989] та інші.

Мета статті, постановка задачі: дослідити та проаналізувати вплив світової пандемії Covid-19 на стан світової економіки загалом, товарообороту, перспектив відновлення процесу сталої економіки, визначити шляхи подолання саме у галузі морських перевезень.

Матеріали та методи дослідження. На сьогоднішній день перспективи економічного зростання залишаються невизначеними. Економісти серйозно побоюються подальшого поширення Covid-19, тому що це може нести серйозну загрозу продовольчій безпеці. Багато держав неодноразово зтикалися з подібними пандеміями: ГРВІ, пташиний грип, атипова

пневмонія та багато інших сплесків хвороб. Все це призводило до паніки і, як наслідок, підвищення цін, що неодмінно впливало на транспортування та умови імпорту та експорту товарів. Спостерігаючи за пандемією 2019-2020 р. року можна зробити висновок, що дефіциту продуктів харчування або критичного зростання ціни поки що не було. Навіть у Китаї, на піку зростання захворюваності, стан поставки продовольчих товарів задовільний. Але доставка продовольчих товарів, в той же час, може бути дещо порушена, в результаті того, що робота транспорту схильна до перебоїв та введення карантинних заходів та обмежень. На основні товари такі фактори суттєво не впливають в порівнянні з харчовими товарами з більшою ціною, тому що їх можна завантажувати, вивантажувати, відправляти та приймати з мінімальною присутністю людського ресурсу.

Вирішення проблеми при негативних ризиках та при зростанні, яке відбувається на значно низькому рівні протягом тривалого часу, полягає в наступних багатосторонніх діях, що забезпечать ефективну політику в сфері охорони здоров'я: стримання та пом'якшення заходів щодо контролю діяльності бізнесу, підтримка суб'єктів господарювання, контроль роботи сфери товарообміну, експорту та імпорту товарів.

Невизначеність дуже ускладнює ефективну оцінку наслідків спалаху пандемії Covid-19. Найбільш негативний сценарій, що зараз активно обговорюється, це ефект «доміно», від передбачає стрімке поширення коронавірусу саме в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні. Зачепить також основні розвинені країни Північної півкулі. Тоді під владу пандемії, потраплять країни, яким характерний паритет купівельної спроможності та на які припадає понад 70% світового валового внутрішнього продукту.

Розглянемо економічний стан великих держав, які впливають на економіку всього світу та значно на товарообіг та транспортні поставки, щоб зрозуміти шкоду нанесену пандемією світовій економіці.

Експерти Організації економічного співробітництва і розвитку (ОЕСР) оцінюють коронавірус і його наслідки як найбільший ризик для глобальної економіки з часів фінансової кризи. Організація опублікувала 2 березня звіт, що містить проміжну оцінку стану економік світу. Зростання світової економіки було слабким, але стабільним до поширення коронавірусу. Вплив спалаху Covid-19 на економічні перспективи є серйозним, і ОЕСР жорстко знижує прогнози по ВВП країн (табл. 1) [1, 1-2].

Таблиця 1. Темпи зростання ВВП. Річна зміна %

Назва країни	2019 р.	Проміжні прогнози ЕО 2020 р.	Різниця від листопаду ЕО 2020 р.	Проміжні прогнози ЕО 2021 р.	Різниця з листопаду ЕО 2021 р.
Світ	2,9	2,4	-0,5	3,3	0,3
G20 ^{1,2}	3,1	2,7	-0,5	3,5	0,2
Австралія	1,7	1,8	-0,5	2,6	0,3
Канада	1,6	1,3	-0,3	1,9	0,2
Євросона	1,2	0,8	-0,3	1,2	0,0
Німеччина	0,6	0,3	-0,1	0,9	0,0
Франція	1,3	0,9	-0,3	1,4	0,2
Італія	0,2	0,0	-0,4	0,5	0,0
Японія	0,7	0,2	-0,4	0,7	0,0
Корея	2,0	2,0	-0,3	2,3	0,0
Мексика	-0,1	0,7	-0,5	1,4	-0,2
Туреччина	0,9	2,7	-0,3	3,3	0,1

Закінчення таблиці 1

Об'єднане Королівство	1,4	0,8	-0,2	0,8	-0,4
Сполучені штати	2,3	1,9	-0,1	2,1	0,1
Аргентина	-2,7	-2,0	-0,3	0,7	0,0
Бразилія	1,1	1,7	0,0	1,8	0,0
Китай	6,1	4,9	-0,8	6,4	0,9
Індія	4,9	5,1	-1,1	5,6	-0,8
Індонезія	5,0	4,8	-0,2	5,1	0,0
Росія	1,0	1,2	-0,4	1,3	-0,1
Саудівська Аравія	0,0	1,4	0,0	1,9	0,5
Південна Африка	0,3	0,6	-0,6	1,0	-0,3

Вивчивши дані та оцінюючи вплив пандемії, наприклад в Китаї, закриття заводів і повну зупинку виробництва, експерти відзначають різке скорочення виробничого і внутрішнього попиту в країні. Однак вплив епідемії на решту світу збільшується, особливо з огляду на ключову і зростаючу роль Китаю в глобальних ланцюжках поставок, на туристичних і товарних ринках: припиняються ділові та туристичні поїздки, порушується товарообмін, знижується довіра між партнерами і країнами.

На тлі таких даних зупинимося на аналізі справ Китаю під час спалаху Covid-19. Що насамперед необхідно відзначити: в лютому 2020 року китайська економіка зростала досить повільно. За даними Bloomberg та враховуючи різні джерела інформації можна констатувати, що економіка Китаю на початку березня працювала на 65-75% від рівня характерного цій країні. Зростання показників все ще можливе, якщо економіка компенсує деякі виробничі втрати в найближчі місяці. Рівень китайської економіки за 20 років зріс та зв'язок з іншими економіками світу став досить тісним. Сьогодні економіка Китаю становить 20% від всієї економіки світу. Для великої кількості країн Китай – це важливий експортний ринок, джерело туризму, майже основний постачальник проміжних товарів. З роками ця країна стала світовою «фабрикою». Під час спалаху пандемії виробництво в Китаї значно сповільнило свої темпи, тому багато товарів стали тимчасово недоступними в інших країнах. Торгівля проводилася спираючись на запаси товару. Рівень їх дефіциту призвів до підвищення цін, що негативно вплинуло на витрати покупців. І чим довше триває відсутність пропозицій товару, тим ситуація складнішає [10, с. 1-2].

Погіршення ситуації призведе до припинення виробництва на підприємствах, де використовуються проміжні товари, виготовлені в Китаї. За короткий термін загалом досить важко знайти аналог з такою ж якістю. Відсутність ключового компоненту, негативно вплине на весь ланцюг вартості [11, с. 72-79].

Отже, зазначимо, що Китай зі своїм ланцюгом вартості відіграє велику роль у економіці всього світу в цілому та кожної держави окремо. Результатом коронавірусу разом з руйнівними наслідками зниження торгових відносин між США та Китаєм може стати порушення міжнародної торгівлі. Все це сприяє диверсуванню виробництва в деяких країнах. Весь цей негативний вплив уповільнить темпи економічного розвитку Китаю.

В Південно-Східній Азії ринки, які поволі виходять з кризи, все таки потерпають від спалаху Covid-19. Велика кількість країн Південно-Східної Азії значно пов'язані з Китаєм. Їхні зв'язки також можуть призвести до значного спалаху пандемії, а в наслідку і на спад економіки. Якщо економічна активність не зросте найближчим часом, кількість збанкрутілих підприємств може швидко збільшитися, оскільки малі і середні підприємства будуть особливо вразливі. А це безпосередньо взаємопов'язане з поставками товару, товарообігом з країнами - партнерами зацікавленими в даному виді товару [12, с. 9-13].

Як наслідок, в результаті загального економічного уповільнення, кількість збанкрутілих підприємств може збільшитися в усьому світі. Особливо, якщо вірус пошириться, як в сценарії ризику, це може призвести до фінансової нестабільності. В першу чергу це стосується країн, де рівень корпоративного боргу стрімко зростає (наприклад, США) або які вже були уразливі (наприклад, Італія).

Ринки по-різному відреагували на пандемію Covid-19. Проте безпечна і надійна доставка товарів залишається незамінним аспектом сучасного життя. Більше 80% всього обсягу світової товарної торгівлі здійснюється морем.

Потреби в товарах, що цікавлять споживача на тлі епідемії сильно змінюються. Деякі галузі, такі як фармацевтика та продукти харчування, стали прискорювати свої ланцюжки поставок. Однак багато компаній і їх постачальники зіткнулися з додатковими витратами, не тільки грошовими, а й часовими. Йдуть судна, функціонують порти, здійснюються інтермодальні перевезення. Проте незаплановані збої в роботі залишаються загрозою, включаючи брак робочої сили з-за карантинних заходів, які іноді можуть призводити до скупчення вантажів у портах.

Висновки. Події 2020 року стали суворим нагадуванням про те, що хоча сьогоднішній глобальний ланцюжок поставок приносить вигоду, вона пов'язана з ризиком і фінансовими втратами, а збої на національному або регіональному рівні перестають бути ізольованими подіями. Компаніям - перевізникам необхідно приділяти більшу увагу підвищенню стійкості в ланцюжках поставок з метою зростання гнучкості, з тим, щоб справлятися з будь-якими несподіваними збоями. Ця тенденція вже зароджувалася, але її підштовхнула нинішня криза. Вартість більше не є єдиним чинником вибору способу транспортування [11, с. 45-53; 12, с. 63-68].

У зв'язку з цим компанії повинні розширити свої інтермодальні сервіси, які передбачають доставку вантажів з використанням морського транспорту. Часті скасування морських рейсів та затори в портах по всьому світу через пандемію Covid-19 зробили звичайні сервіси доставки менш привабливими для клієнтів. Для того, щоб відновити так звані довіру і безперебійну роботу морських перевезень необхідно зміцнити позиції морської логістики, яка грає ключову роль в сучасних економічних відносинах. Адже завдяки використанню в плануванні рейсу можливостей логістичних прийомів можна покращити і гнучкість у формуванні маршруту, і точність в прогнозах доставки, і ступінь безпеки, а також значно знизити кінцеву собівартість товару. Основне значення набуває економічність обслуговування вантажопотоків і надійність роботи маршруту.

Щодня тисячі суден перевозять десятки мільйонів тон вантажів. Річний обіг морських перевезень колосальний. Саме морським шляхом перевозиться більшість великогабаритних і збірних вантажів. Міжнародна статистика говорить про те, що близько 90% товарів, представлених на полицях сучасних магазинів, були перевезені морем [13, с. 9-13; 14, с. 15-17].

Крім логістичної ланки велике значення має удосконалення безконтактного документообігу, розробленого ще кілька років тому. Адже нинішня інформаційна система порту дає можливість все автоматизувати і подавати всі документи в електронній формі [15, с. 9-13].

В цьому плані управління технічним станом і організацією роботи судноплавних компаній зводиться до вибору інноваційних проектів розвитку. Сучасний стан глобального ринку морської торгівлі характеризується постійною змінністю за кількісними та якісними характеристиками. При цьому особливою закономірністю розвитку стає посилення конкурентного протистояння операторських підсистем і формування інтеграційних взаємодій. Такі процеси націлені на досягнення збалансованості стану вантажопотоків та безперечної спроможності суден торговельного флоту.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Global Economic Prospects*, June 2020. Washington, DC: World Bank. DOI: 10.1596/978-1-4648-1553-9.
2. Моряков К. Проект для развития морской отрасли. *Порты Украины*, № 1 (173), 2018. С. 32-35.
3. Долбнева Д. В. Влияние COVID-19 на экономику стран мира. *Проблеми економіки*. 2020. №1. С. 20–26. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2020-1-20-26>
4. Пандемия COVID-19. *Биология и экономика*. Специальный выпуск: информационно-аналитический сборник: [Текст] / Под редакцией д.э.н. Мизинцевой М.Ф. // ВИНТИ РАН. – М., Издательство Перо, 2020. 110 с.

5. COVID-19 cacophony: is there any orchestra conductor? / Flahault A. *Lancet*. 2020. 395, № 10229, с. 1037-1038. Англ. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30675-9
6. The resilience of the Spanish health system against the COVID-19 pandemic / Legido-Quigley H., Mateos-Garcia J.T., Campos V.R., Gea-Sanchez M., Muntaner C., McKee M. *Lancet Pub. Health*. 2020. Published online. 18 March, с. 1-2. Англ. DOI: 10.1016/S2468-2667(20)30060-8
7. Novel Coronavirus 2019 – recent trends / Kannan S., Shaik Syed Ali P., Sheeza A., Hemalatha K. *Eur. Rev. Med. and Pharmacol. Sci*. 2020. 24, № 4, с. 2006-2011. Англ. DOI: 10.26355/eurrev_202002_20378.
8. Влияние вспышки нового коронавируса на международную торговлю. Долгов С. И., Савинов Ю. А., Тарановская Е. В. *Рос. внешнеэкон. вестн.* 2020. № 2, с. 7-18.
9. Taylor L.H., Latham S.M., Woolhouse M.E. Risk factors for human disease emergence. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci*. 2001, №. 356, pp. 983–989.
10. Стадник М. Мировой опыт. Украинская практика. *Вестник МСФО* №03. С.1-2
11. Д. Парк Грузы выходят на сушу. *Журнал «Гудок»*. Выпуск №155 (27004). 27.08.2020.
12. Сенько О.В. Організаційно-економічний механізм параметричного управління морською транспортною індустрією : Чернігів: ЧНТУ, 2019. 359 с.
13. Вадатурский А. В Украине нет проблемы переваливать объем экспорта в 60 млн. тонн. *Порты Украины*, 2019, № 6. С. 9-13.
14. Аткиссон А. Как устойчивое развитие может изменить мир. М. : БИНОМ, 2011. 455 с.
15. Чекаловец В.И., Скворцов Г.П., Крыжановский С.В. Морские торговые порты Украины в условиях Европейской интеграции. *Транспорт*. 2013. №30 (458). С. 63-68.

REFERENCES

1. *Global Economic Prospects*, June 2020. Washington, DC:World Bank. DOI: 10.1596/978-1-4648-1553-9.
2. Morjakov K. *Proekt dlja razvitiya morskoy otrasli* // *Porty Ukrainy*, № 1 (173), 2018. p. 32-35. [in Russian].
3. Dolbneva D. V. *Vliyanie COVID-19 na ekonomiku stran mira*. *Problemi ekonomiki*. 2020. #1. С. 20–26. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2020-1-20-26> [in Russian].
4. *Pandemiya COVID-19. Biologiya i ekonomika*. Spetsialnyiy vyipusk: informatsionno-analiticheskiy sbornik: [Tekst] / Pod redaktsiey d.e.n. Mizintsevoy M.F. // VINITI RAN. – М., Izdatelstvo Pero, 2020. – 110 s. [in Russian].
5. *Kakofoniya COVID-19: est li u orkestra dirizher?* COVID-19 cacophony: is there any orchestra conductor? / Flahault A. // *Lancet*. 2020. 395, # 10229, с. 1037-1038. Англ. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30675-9 [in Russian].
6. *The resilience of the Spanish health system against the COVID-19 pandemic* / Legido-Quigley H., Mateos-Garcia J.T., Campos V.R., Gea-Sanchez M., Muntaner C., McKee M. // *Lancet Pub. Health*. 2020. Published online. 18 March, с. 1-2. Англ. DOI: 10.1016/S2468-2667(20)30060-8
7. *Novel Coronavirus 2019 – recent trends* / Kannan S., Shaik Syed Ali P., Sheeza A., Hemalatha K. // *Eur. Rev. Med. and Pharmacol. Sci*. 2020. 24, № 4, с. 2006-2011. Англ. DOI: 10.26355/eurrev_202002_20378.
8. *Vliyanie vspyishki novogo koronavirusa na mezhdunarodnyuyu torgovlyu* / Dolgov S. I., Savinov Yu. A., Taranovskaya E. V. // *Ros. vneshneekon. vestn.* 2020. # 2, с. 7-18. [in Russian].
9. *Vliyanie vspyishki novogo koronavirusa na mezhdunarodnyuyu torgovlyu* / Dolgov S. I., Savinov Yu. A., Taranovskaya E. V. // *Ros. vneshneekon. vestn.* 2020. # 2, с. 7-18. [in Russian].
10. Stadnik M. *Mirovoy opyt. Ukrainskaya praktika* // *Vestnik MSFO*#03. S.1-2.
11. D. Park *Gruzy vyhodjat na sushu* // *Zhurnal «Gudok»* Vypusk №155 (27004) 27.08.2020. URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1532488&archive=2020.08.24> [in Russian].
12. Sen'ko O.V. *Organizacijno-ekonomichnij mehanizm parametrichnogo upravlinnja morskoyu transportnoju industriju* : Chernigiv: ChNTU, 2019. 359 s. [in Russian].
13. Vadaturskij A. *V Ukraine net problemy perevalivat' ob'em jeksporta v 60 mln. tonn* // *Porty Ukrainy*, 2019, № 6. p. 9-13. 64 [in Ukrainian].
14. Atkisson A. *Kak ustojchivoe razvitie mozhet izmenit' mir*. М. : БИНОМ, 2011. p. 455. [in Russian].
15. Chekalovets V.I., Skvortsov G.P., Kryzhanovskiy S.V. *Morskie torgovye porty Ukrainyi v usloviyah Evropeyskoy integratsii* // *Transport*. 2013. #30 (458). S. 63-68. [in Russian].

Круглый Д.Г.

(д.т.н., профессор кафедры инновационных технологий и технических средств судовождения, Херсонская государственная морская академия)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ МОРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ВО ВРЕМЯ ПАНДЕМИИ

В статье исследовано состояние глобальной экономической ситуации области морских перевозок во время пандемии Covid-19, рассмотрена взаимосвязь и влияние факторов на состояние глобальной экономики. В результате исследования предложено: ускорить введение

Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології», 2020. Вип. 36

бесконтактного документооборота, закріпити позиції морської логістики, яка грає важливу економічно вигідну роль в економічних відносинах і товаропотоках.

Ключевые слова: *економічний кризис; пандемія Covid-19; морська логістика; товарооборот; морські перевезення.*

D. Hr. Kruhlyi

(Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Innovative Technologies and Technical Means of Navigation Kherson State Maritime Academy)

CONDITION STUDY SHIPPING DURING THE PANDEMIC

Today, humanity has faced a fundamentally new catastrophe - the Covid-19 pandemic. Quarantine, closing borders, creating numerous problems for almost all states - all these are the realities of today. Experts will still be able to fully assess the scale of the economic shock associated with the epidemic and all its long-term consequences. But it is already clear that the recovery of the global economy is not an easy one. And already tested anti-crisis measures will not always work. It is necessary to look for fundamentally new, non-standard solutions. The aim of the research is to analyze the state of trade against the background of the global world economic situation. Identify the shortcomings of the industry, development prospects and highlight the economic benefits that need to be addressed as a matter of priority in order to improve performance and improve the situation during a pandemic. The article examines the current state of the global economic situation in the maritime transport industry during the Covid-19 pandemic. The international market of maritime trade is based on certain patterns, among which there is a clear focus on the parameters of international economic relations, the constant use of innovative technologies and the cyclical changes in key indicators. The trend of development of the maritime transport industry and its regionalization is due to a complex set of external and internal factors. Therefore, the article considers the relationship and impact of both negative and positive factors on the state of the world economy. The data of the interim economic forecasts for 2019-2022 in the estimated comparison of countries that have a global impact on the economic development of partner countries are studied. The interrelation of economic and maritime industries is analyzed, the state of modern problems of sea transportation is investigated, perspective directions are revealed and the necessity of concrete decisions for large-scale development of competitiveness of the transport industry is emphasized. As a result of the research it is suggested: in order to automate the process of sea transportation to accelerate the introduction of contactless document management, to consolidate the position of maritime logistics, which plays an important organizational and cost-effective role in modern economic relations and trade flows.

Keywords: *economic crisis; the Covid-19 pandemic; maritime logistics; commodity circulation; sea transportation.*

УДК 656.025.4

*Габа Василь, к.т.н., професор
(професор кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць» Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ)*
*Стрелко Олег, д.і.н., професор
(професор кафедри «Технологій транспорту та управління процесами перевезень» Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ)*
*Грушевська Тетяна, к.т.н., доцент
(доцент кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць» Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ)*
*Гусар Євген
(аспірант кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць» Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ ГРУПОВИМИ ТА ОДИНОЧНИМИ ВАГОНАМИ

Досліджено вплив існуючих умов експлуатаційної роботи при перевезенні вантажів груповими та одиночними вагонами. Проведений аналіз сучасних підходів до підвищення ефективності використання парку вагонів та конкурентоспроможності залізничного транспорту на транспортному ринку України. Виділені найбільш перспективні підходи та напрямки вдосконалення систем доставки вантажів. Проведено порівняння ефективності двох моделей організації відправлення хімічних вантажів та визначено більш ефективний варіант перевезення.

***Ключові слова:** перевезення вантажів, транспортний ринок, конкурентоспроможність, доставка вантажів, обіг вагону.*

Вступ. На сьогоднішній день Україна належить до держав Східної Європи з розвинутою залізничною інфраструктурою. Виконуючи значну частку внутрішньодержавних та експортно-імпорتنих перевезень, залізниці України є одночасно важливою ланкою забезпечення міжнародних транзитних перевезень, які у різні періоди складають майже 18 % їх тарифного вантажообороту та ще більшу частку їх доходів. Згідно даних Державної служби статистики України, протягом останніх десяти років залізниці України забезпечують більше 50 % [1] вантажообороту всіх видів транспорту. Якщо порівняти ситуацію, яку маємо в Україні, з Центральною та Західною Європою, то там ці цифри складають 15–20 %, причому залізниці там продовжують втрачати свою частку транспортного ринку. У зв'язку з підвищенням конкурентоспроможності транспортних послуг на залізниці, виникла потреба в структурних перетвореннях на залізничному транспорті [2]. Все більшого значення набуває питання підвищення якості транспортного обслуговування вантажів, незважаючи на те, що залізничний транспорт виступає монополістом в масових перевезеннях металургійної, хімічної та видобувної промисловості. Ефективністю дослідження залізничних перевезень вантажів при перевезенні груповими та одиночними вагонами можемо назвати рівень експлуатаційних витрат, який суттєво залежить від швидкості доставки, схоронності вантажу, регулярності доставок.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-16

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю вдосконалення технології роботи залізничних вантажних перевезень, підвищенням конкурентоспроможності, шляхом покращення технологічного та організаційного забезпечення цих перевезень, дотриманням термінів доставки вантажу з подальшим вдосконаленням методик та методів визначення показників експлуатаційної роботи.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Досліджуючи перевезення вантажів залізничним транспортом, можна сказати, що успішний розвиток України в теперішніх умовах неможливий без конкурентоспроможності транспортної галузі. Підвищення конкурентоспроможності може бути за рахунок відповідності технічних, технологічних та економічних параметрів залізничної транспортної системи України міжнародним вимогам відносно швидкості доставки, неперервності перевезень, цілісності вантажів, величини тарифів і цін на послуги [3-5]. Поточні значення цих параметрів не забезпечують не лише зростання обсягів перевезень, а і стабілізацію існуючих [6]. Тому проблема дослідження перевезення вантажів залізничним транспортом при перевезенні груповими і одиночними вагонами є доволі актуальною для транспортної науки.

Розвиток досліджень щодо підвищення ефективності організації залізничних перевезень, питань якості надання транспортних послуг для вантажовласників у науково-практичній літературі згадуються все частіше, що зумовлено зростаючою актуальністю проблеми.

У своїх наукових роботах науковці виділяють як економічні, так і технічні та технологічні чинники, що впливають на конкурентоспроможність залізничної мережі України. Однак, в процесі досліджень аналізується або один маршрут перевезень, або декілька конкуруючих маршрутів, а не вся транспортна система в цілому [7, 8].

Розширення експорту українських товарів на європейський ринок є одним із головних факторів прискорення росту внутрішнього валового продукту України, її економічного процвітання та покращення добробуту населення.

У науковому середовищі, серед фахівців транспортних технологій та організації перевезень на залізничному транспорті, постійно ведеться дискусія щодо вдосконалення окремих хімічних вантажів, яка може бути здійснена різними способами організації поїздів на залізничних напрямках [9]. Розглядаються два основних варіанта: відправлення окремих хімічних вантажів груповими або повагонними відправками та відправлення вантажів у складі контейнерного поїзда, при накопиченні до норми состава.

Вважається, що при відправленні вантажів повагонними або груповими відправками збільшується обіг вагона, за рахунок простоювання вагонів на технічних станціях в очікуванні накопичення та відправлення. При організації вантажів у складі контейнерного поїзда збільшується обсяг перевезення хімічних вантажів і зменшується обіг вагонів.

Аналіз сучасних досліджень в сфері вдосконалення міжнародних залізничних перевезень показує, що особливу увагу приділяють саме моделюванню технологічних процесів залізниць, що дозволяє врахувати технологічні особливості вагонопотоків та розвитку математичних моделей функціонування транспортних систем. Розробка математичної моделі доставки масових вантажів маршрутами залізничного транспорту, яка враховує взаємодію виробництва, транспорту та споживання запропонована у роботі [10]. Дана модель дозволяє вирішити широке коло завдань: які постають перед постачальниками і споживачами при виборі залізничного транспорту, та пов'язана із плануванням і управлінням експлуатаційною роботою станцій. Проте запропонована математична модель доставки вантажів маршрутами залізничного транспорту не враховує перевезення вантажів у складі контейнерного поїзда і вплив основних технологічних параметрів, що впливають на обіг вагону.

Дослідження проблем роботи залізниць в системі міжнародних транспортних коридорів були актуальними як для вітчизняних дослідників, так і закордонних. Слід відзначити, що в більшості наукових робіт, з точки зору привабливості міжнародних транзитних перевезень, приділялась увага питанням скорочення термінів перевезень вантажів, скорочення часу обігу

вагонів [11]. Вчені також досліджують терміни доставки вантажів, існуючі автоматизовані технології, зокрема управління процесом доставки вантажів [12, 13].

Аналіз впливу складових елементів на величину обороту вантажного вагону проаналізовано у роботі [14]. Визначені параметри законів їх розподілу та за результатами повного факторного експерименту отримано функцію відгуку. Проте це не дає змогу визначити ефективність відправлення вантажів залізничним транспортом одиночними вагонами, групами вагонів та маршрутами або контейнерними поїздами.

У роботі [15] запропоновано та узагальнено процес доставки вантажів в загальнотранспортних вузлах на теоретико-методологічному інструментарії теорій ігор. Однак це не дозволяє використовувати технологічні параметри вагонопотоків та характеристики процесу доставки вантажів.

Науковці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ): Березовий М. І., Вернигора Р. В., Жуковицький І. В., Козаченко Д. М. та ін. також займаються дослідженнями у сфері залізничних перевезень вантажів, а саме: аналізом функціонування транспортної системи, застосуванням нових інформаційних технологій у вантажній і експлуатаційній роботі, розвитком теорії та практики технології вантажних міжнародних перевезень [16, 17]. Ними було досліджено проблему підвищення економічної ефективності використання вантажного вагонного парку з урахуванням особливостей обліку та використання вагонів. Перевезення вантажів вагонами приватного парку у переважній кількості випадків прямування вагонів відбувається за кільцевим маршрутом, коли у прямому напрямку – вагони слідують завантаженими, а у зворотному – у порожньому стані. При цьому вартість оренди приватних вагонів є значно вищою, ніж інвентарних, тому ефективним заходом при організації залізничних перевезень у приватних вагонах може бути відправницька маршрутизація порожніх вагонопотоків [18]. Також проводиться робота по дослідженню проблем організації руху вантажних поїздів за розкладом [19].

Тематиці міжнародних залізничних перевезень присвячено значну кількість закордонних наукових робіт. Міжнародна практика свідчить, що в останні роки більше 60% перевезених вантажів у міжнародному сполученні здійснювалось у змішаних сполученнях «від дверей до дверей». Це надає можливість оптимізувати терміни перевезення, зменшити витрати на зберігання та перевезення вантажу. Міжнародний досвід вдосконалення організації інтермодальних вантажних перевезень розкритий в роботі [20].

Однак, слід зазначити, що перераховані дослідження не враховують стохастичної природи надходження вагонів у пункти накопичення. Комплексні моделі оцінки ефективності перевезення груповими або повагонними відправками та перевезення вантажів у складі контейнерного поїзда відсутні.

Дослідження залізничних перевезень вантажів без системного аналізу та проведення розрахунків неможливе, особливо при врахуванні нерівномірного надходження вагонів у пункти накопичення. Отже, вирішення вищенаведеної задачі залишається актуальним і на сьогоднішній день.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту України при перевезенні вантажів груповими та одиночними вагонами за рахунок підвищення ефективності використання парку вагонів, пов'язаного з цим дотримання термінів доставки вантажу, за рахунок зміни методики та принципу розрахунку основних показників роботи.

Для досягнення поставленої мети використали такі загальнодоступні методи, як аналіз, синтез, аналогія, порівняння, системний підхід. На підставі проведеного аналізу та досліджень сформульовані теоретичні положення і обґрунтовані практичні рекомендації щодо збільшення обсягів перевезень хімічних вантажів в країні ЄС.

Матеріали та методи дослідження. Робота залізничного транспорту в новому форматі діяльності висуває підвищені вимоги до організації та технології раціонального використання вантажних вагонів. Одним із товарів, який виробляється промисловими підприємствами України та

експортується в країни ЄС, є бензол – безбарвна летка рідина з характерним запахом. Густина – $0,88 \text{ г/см}^3$. Температура кипіння – $80,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура плавлення – $5,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Бензол – небезпечний наливний вантаж, який згідно з чинною класифікацією небезпечних вантажів належить до третього класу (легкозаймисті рідини з присвоєнням спеціального номера ООН 1114).

Бензол входить в десятку найважливіших речовин хімічної промисловості і має великий попит на підприємствах країн ЄС. Він широко застосовується в промисловості, є вихідною сировиною для виробництва полімерів (пластиків, гуми), ліків, барвників, пестицидів, миючих засобів, вибухових речовин, як розчинник для лаків тощо.

Основні області застосування бензолу – виробництво етилбензолу, кумолу і циклогексану. На частку цих продуктів припадає близько 70% світового споживання бензолу. Доставка бензолу до місць призначення виконується як автомобільним, так і залізничним транспортом. Перевезення бензолу автомобільним транспортом здійснюється в спеціальних автоцистернах. Даний транспорт оснащують необхідним обладнанням, що забезпечує безпечне транспортування вантажу. Такий вид перевезень має свої переваги в мобільності, схоронності, «доставки від дверей до дверей» і ефективно може використовуватись при внутрішніх перевезеннях та перевезеннях в малих кількостях на невеликі відстані. Враховуючи незначний обсяг перевезень в міжнародному сполученні автомобільним транспортом, вартість таких перевезень не розглядатимемо. Порівняння витрат на доставку вантажів автомобільним транспортом та танк-контейнерами повного ланцюга поставок «від дверей до дверей» між відправником та одержувачем прописана в контракті і є конфіденційною інформацією. Тому розрахунки проведені лише залізничним транспортом від станції відправлення до станції призначення.

Перевезення бензолу у великих обсягах на значні відстані здійснюється, як правило, залізничним транспортом з подальшим вивантаженням або перевантаженням на інші види транспорту. Транспортування бензолу залізничним транспортом здійснюється в залізничних цистернах моделі 15-1443-07, 15-5103-6Б, 15-150-03Б, 15-1527. Залізничним транспортом у внутрішньому сполученні бензол перевозиться відповідно до Правил перевезення небезпечних вантажів, Правил перевезення наливних вантажів, а в міжнародному сполученні також відповідно до «Правил перевозок опасных грузов» (Додаток 2 до СМГС). Діаграма перевезеного бензолу в країни ЄС за 2019 рр. (експорт) приведена на рис. 1.

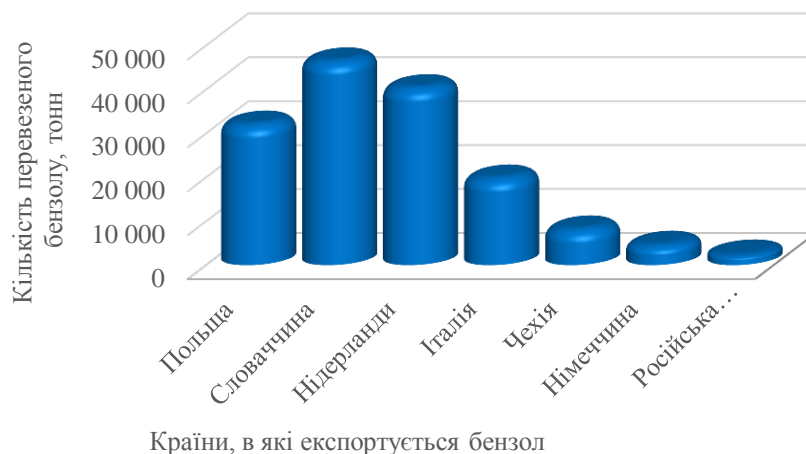


Рис. 1. Діаграма перевезення бензолу в країни ЄС за 2019 р. (експорт)

Головними відправниками бензолу на експорт є ПрАТ «Запоріжжкокс», ПрАТ «АКХЗ», ПАТ «Арселорміттал», ПрАТ «ДКХЗ», ПрАТ «МК Азовсталь» та інші. Аналіз використання рухомого складу для перевезення бензолу за 2019 р. приведено в таблиці 1.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Таблиця 1. Аналіз використання рухомого складу для перевезення бензолу

Назва одиниці вантажу	Рухомий склад	2019 рік			
		внутрішнє	експорт	транзит	всього
Бензол	Невизначені		35		35
	Платформи			1772	1772
	Платформи фітингові		33705	3774	37479
	Цистерни	21458	74546		96004
	Всього	21458	108286	5546	135290
Бензол сирий кам'яновугільний	Невизначені		33		33
	Платформи фітингові	110	14748		14858
	Цистерни	6289	46572		52861
	Всього	6399	61353		67752
Всього		27857	169639	5546	203042

Вантаж доставляється до прикордонної передавальної станції, де здійснюється перестановка вагонів колії 1520 мм на візки колії 1435 мм, або у разі перевезення танк-контейнерами здійснюється їх перевантаження з платформи колії 1520 мм на платформу колії 1435 мм.

Технологія передачі вантажів на прикордонних передавальних станціях з країнами ЄС визначається Протоколами прикордонних залізничних комісій та постійних положень до таких протоколів, Технологічними схемами роботи пунктів пропуску та технологічними процесами роботи прикордонних передавальних станцій.

На рис. 2 подано використання рухомого складу за типом протягом 2019 р.

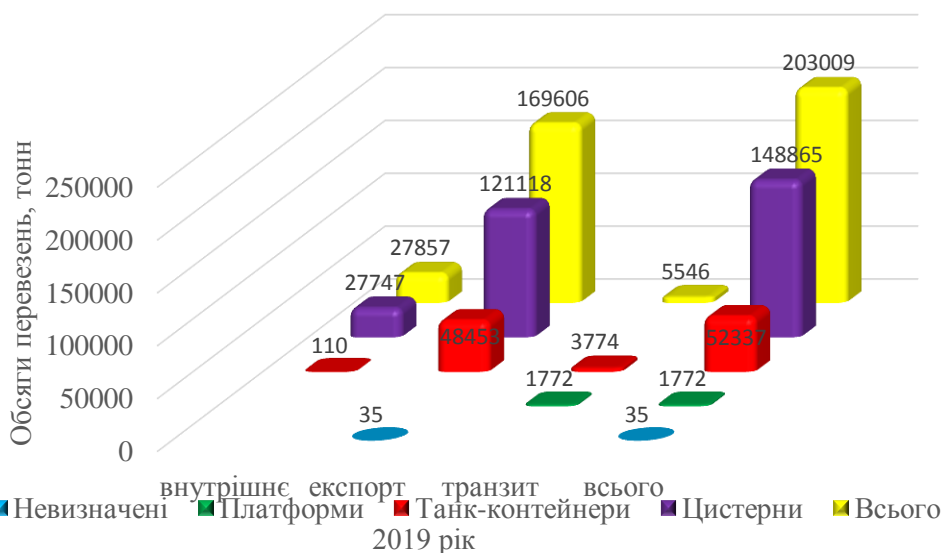


Рис. 2. Аналіз використання рухомого складу за типом рухомого складу протягом 2019 р.

З графіка можливо зробити висновок, що в цистернах експортується із України 66% бензолу і лише 34% в танк-контейнерах на фітингових платформах. У внутрішніх перевезеннях для перевезення бензолу залізничним транспортом використовуються цистерни.

Дефіцит залізничних цистерн через граничний термін їх експлуатації та недостатність коштів для виробництва нових, високих тарифів при перевезенні в цистернах призводить до пошуку альтернативних варіантів перевезення бензолу. Сучасним видом транспортування

бензолу є танк-контейнери таких моделей ЕМТ5, ЕМТ6, ЕМКD. Характерною відмінністю таких контейнерів є те, що їх типорозмір становить 30 футів в довжину, але рама стандартна для 20 футового контейнера. В деяких джерелах зустрічається їх назва – «SWAP-container». Для перевезення таких контейнерів необхідне залучення відповідних платформ довжиною 60-80 футів, а саме: залізничних фітингових платформ таких моделей –13-4117, 13-7024, 13-1796-04. Вантажопідйомність платформ – 70-72 тонни, довжина по осях автозчепів – 19500 - 25690 мм.

Для покупця вантажу одним із головних факторів є оцінка вартості доставки вантажу [21]. Розглядаються витрати по кожній схемі доставки залежно від встановлених базисних умов. Загальні витрати, які несуть продавець чи покупець містять групи витрат:

$$P_1 P_2 = \sum P_{пв} + P_{нав} + \sum P_{пт} + P_{мов} + P_{пор} + \sum P_{ес} + P_{пт} \quad (1)$$

де $P_{пв}$ – витрати на підготовку товару до відправки, грн;

$P_{нав}$ – комплекс витрат з навантаження, грн;

$\sum P_{пт}$ – плата за транспортування з урахуванням вартості додаткових послуг при перевантаженні вантажу, грн;

$P_{мов}$ – витрати на митну очистку вантажу при відправленні вантажу на експорт, грн;

$P_{пор}$ – витрати на оренду рухомого складу (цистерн, танк-контейнерів та фітингових платформ);

$\sum P_{ес}$ – витрати на послуги експедитора, грн;

$P_{пт}$ – інші витрати з транспортування вантажу.

Витрати продавця та покупця визначаються залежно від базисних умов під час укладення зовнішньоторговельного контракту. Саме вони впливають на формування складу витрат організацій, і, відповідно, на фінансовий результат з експортно-імпортних операцій.

Кожний показник групи витрат складається з підгруп окремих витрат. Витрати на підготовку товару до відправлення розраховують, виходячи з вартості однієї тонни вантажу. Здебільшого це робить відправник вантажу і може включати ці витрати у вартість товару.

Комплекс витрат із навантаження визначається за формулою:

$$P_{нав} = P_{нав}^{маг} + P_{сюр} \quad (2)$$

де $P_{нав}^{маг}$ – витрати на навантаження в магістральний (оренований або приватний) рухомий склад;

$P_{сюр}$ – сюрвентарні послуги.

Витрати на митну очистку під час відправки вантажу на експорт визначаються за формулою:

$$P_{мов} = P_{м.пл} + P_{м.зб} + P_{м.д} \quad (3)$$

де $P_{м.пл}$ – митні платежі, грн;

$P_{м.зб}$ – митні збори, грн;

$P_{м.д}$ – оформлення митної декларації, грн.

Витрати на доставку товару розраховуються відповідно до вимог тарифних політик та додаткових документів державних адміністрацій країни перевізника вантажів.

Витрати на оренду цистерн або фітингових платформ укладаються із власниками рухомого складу.

Витрати на послуги експедитора під час перевезення вантажу на експорт визначаються процентною ставкою від вартості доставки вантажу, що вказується в додатку до договору на надання послуг при експедитуванні вантажів.

Під час перевезення можуть виникати окремі витрати, не передбачені умовами перевезень (затрати із неправильно оформлених документів, технічних неполадок рухомого складу тощо). Такі витрати розглядаються, виходячи із конкретних ситуацій і відповідно оформлених документів, а іноді і в судовому порядку.

Дослідження вартості перевезення бензолу в цистернах та танк-контейнерах проведено на одному із напрямків Авдіївка – Ізов – Авдіївка свідчать:

1. Цистерна приватна вантажопідйомністю 60 тонн – вартість перевезення завантаженої та порожньої цистерни під налив склали 88 950 грн. за вагон. В ціну не включена плата за користування приватним вагоном.

2. Цистерна парку УЗ вантажопідйомністю 60 тонн – вартість перевезення за аналогічним маршрутом склали 96 920 грн. за вагон. У вартість входить тариф за перевезення та плата за користування вагоном.

3. Приватні танк-контейнери з перевезенням їх на платформах «УЦТС Ліски» (УЗ) – завантаження двох танк-контейнерів загальною масою 60 тонн складає за вказаним маршрутом 36 880 грн за вагон. У вартість входить плата за перевезення та користування платформою, без врахування плати за користування танк-контейнерами.

Аналіз проведених розрахунків свідчить про ефективність перевезення бензолу в танк-контейнерах і такі перевезення є рентабельними для підприємств-отримувачів бензолу. Перевезення бензолу в цистернах з урахуванням постійного підвищення вартості перевезення для більшості підприємств-отримувачів є нерентабельним.

Перевага в перевезенні бензолу в танк-контейнерах є очевидною, але стримуючим фактором є обмежена кількість залізничних фітінгових платформ.

Підприємства Польщі і частково Словаччини для перевезення бензолу з України використовують танк-контейнери в кількості 90 одиниць і є можливість збільшити їх до 110, однак відсутність довгобазних фітінгових платформ парку залізниць України не дають можливість нарощувати обсяги перевезень.

Позитивним фактором в підвищенні ефективності і, тим самим, збільшенням контейнерних перевезень в сполученні Україна–Польща стало призначення правлінням АТ «Укрзалізниця» з 01.04.2019 року курсування контейнерного поїзда за маршрутом Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці–Ізов-експорт Львівської залізниці. Формування контейнерного поїзда здійснюється із груп вагонів відправленням зі станцій Маріуполь-сортувальний, Авдіївка та Сартана Донецької залізниці та Запорожжя–Ліве і Правда Придніпровської залізниці. Курсування даного контейнерного поїзда реально зменшує час перебування фітінгових платформ на маршрутах і тим самим збільшує їх оборот.

Важливим фактором у збільшенні обсягів перевезень бензолу та інших хімічних вантажів України в країни ЄС є ефективним використання рухомого складу за рахунок зменшення обігу вагонів та скорочення термінів його доставки.

Прискорення обігу вагона дозволяє без збільшення вагонного парку збільшити обсяг перевезень, скоротивши тим самим капітальні витрати на рухомий склад.

Перевезення бензолу та інших хімічних вантажів зі станцій Донецької та Придніпровської залізниць може здійснюватися одиночними вагонами, групами вагонів та маршрутами або контейнерними поїздами, модель яких подано на рис. 3, 4 відповідно [22].

Модель перевезення хімічних вантажів повагонними та груповими відправками

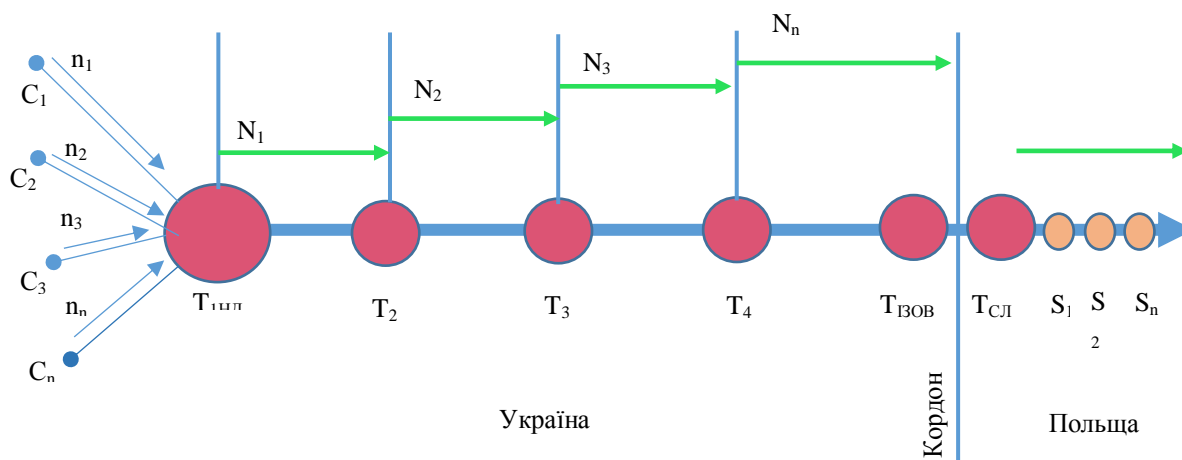


Рис. 3. Перевезення хімічних вантажів Донецькою та Придніпровською залізницями повагонними та груповими відправками

Модель перевезення хімічних вантажів у складі контейнерного поїзда

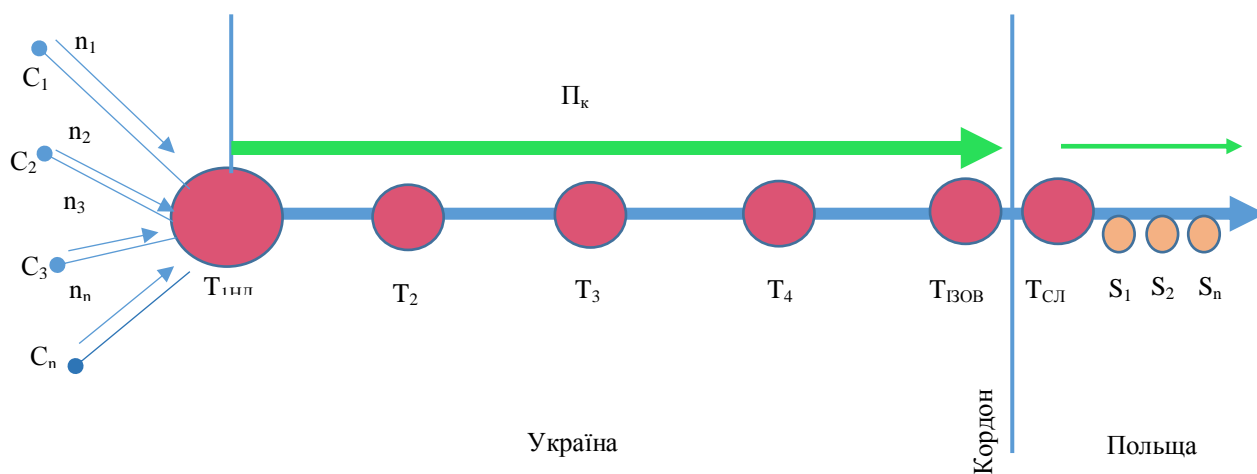


Рис. 4. Перевезення контейнерного поїзда за маршрутом Нижньодніпровськ-Вузол – Ізов експортний

де C_1, C_2, C_3, C_n – станції навантаження;
 $T_{1ДП}, T_2, T_3, T_n, T_{ІЗОВ}, T_{СЛ}$ – технічні станції;
 S_1, S_2, S_n – станції вивантаження, які знаходяться на території Польщі;
 n_1, n_2, n_3, n_n – перевезення вантажів груповими або одиночними вагонами;
 Π_k – перевезення вантажів у складі контейнерного поїзда.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Для розрахунку часу обігу вагона застосуємо тричленну формулу:

$$\theta = \frac{1}{24} \cdot \left(\frac{(1+\alpha)l_{ван}}{V_{dil}} + \frac{(1+\alpha)l_{ван}}{L_{mex}} \cdot t_{mex} + K_m \cdot t_{вант} \right), \quad (4)$$

де $l_{ван}$ – рейс вагона в завантаженому стані, км;

α – коефіцієнт порожнього пробігу;

V_{dil} – середня дільнична швидкість вагонів, км/год;

t_{mex} – середній простій вагона на технічних станціях при відправленні повагонних (групових) вагонів та у складі контейнерного поїзда, год;

L_{mex} – «вагонне плече» – середня відстань між технічними станціями, на яких состави поїздів не підлягають або підлягають переформуванню, км;

K_m – коефіцієнт місцевої роботи;

$t_{вант}$ – середній простій вагона під вантажною операцією, год.

При розгляді кожної моделі величини K_m та α приймаємо рівними 1.

Формула (4) дозволяє здійснити розрахунки щодо порівняння витрат часу на доставку хімічних вантажів при перевезенні повагонними відправками та контейнерного поїзда за накопиченням до норми составів за напрямком перевезення залізничним транспортом.

Проведеними дослідженнями встановлено, що при перевезенні груповими та одиночними вагонами обіг вагона складає 15 діб, тобто два рейси за місяць, а при перевезеннях у складі контейнерного поїзда до 10 діб, або три рейси. Найбільш ефективними є перевезення контейнерними поїздами, оскільки вагони не простоюють на технічних станціях в очікуванні накопичення та відправлення. Курсування контейнерних поїздів дає можливість збільшити обсяг перевезень хімічних вантажів, в тому числі, бензолу в країни ЄС в 1,5 разів.

Важлива роль в організації міжнародних перевезень, зокрема, і бензолу, відводиться транспортно-експедиторським або операторським компаніям, які можуть більш ефективно з найменшими витратами організувати такі перевезення. Однією з таких компаній є ТЕР «Галтранс» м. Львів, яка протягом 20 років працює на ринку надання транспортних послуг і є одним із лідерів в організації перевезень вантажів залізницями на західному напрямку. Компанія надає послуги підприємствам Польщі, Словаччини, Німеччини в організації перевезень міжнародних вантажів, в тому числі і бензолу. Досвід роботи компанії доводить її ефективність на ринку надання міжнародних транспортно-експедиторських послуг. ТЕР «Галтранс» є надійним партнером між відправником, перевізником та отримувачем вантажу.

Одним із стримуючих факторів зменшення обороту перевезень в танк-контейнерах та збільшення кількості рейсів і тим самим збільшення об'ємів перевезень на експорт бензолу, є на нашу думку, незадовільна охорона вантажів на Донецькій та Придніпровській залізницях України, що приводить до частих крадіжок запасних частин як платформ так і танк-контейнерів. В результаті цих крадіжок, вагони простоюють в очікуванні заміни запчастин по кілька тижнів. Не менш важливим фактором, який впливає на оборот вагонів, і тим самим на зменшення об'ємів перевезення бензолу в танк-контейнерах, є недостатня робота відповідних станційних працівників УЗ, які не виявляють пошкоджень рухомого складу під час перевезення чи на станціях прибуття, а поломка вагонів виявляється здебільшого на під'їзних коліях отримувача. Таким чином, вагон з виявленою певною несправністю вже не може повернутись на станцію приписки для ремонту, і знову ж простій в очікуванні ремонту на під'їзних коліях триває тижнями

Висновок. Для вдосконалення міжнародних перевезень бензолу та споріднених вантажів залізничним транспортом між Україною та країнами Європейського Союзу в статті:

розроблено математичну модель перевезення хімічних вантажів повагонними (груповими) відправками та перевезення контейнерного поїзда за накопиченням до норми составів за

напрямом перевезення. Найбільш ефективний варіант перевезення хімічних вантажів – у складі контейнерного поїзда;

проведено дослідження вартості перевезень бензолу в цистернах та танк-контейнерах на окремих напрямках, в результаті якого пропонується здійснювати поетапний перехід на перевезення бензолу в танк-контейнерах, а для більш ефективного використання рухомого складу – зменшити оборот вагонів за рахунок перевезення вагонів у складі контейнерних поїздів.

приведено розрахунок оцінки вартості доставки вантажів за групами витрат. Вище наведені пропозиції дадуть можливість збільшити обсяги перевезень хімічних вантажів в 1,5 – 2 рази та зменшити витрати на ці перевезення;

запропоновано збільшити виробництво довгобазних фітінгових платформ під танк-контейнери, залучивши до цього інвесторів та найбільш професійні експедиторські/операторські компанії, які працюють в наданні транспортних послуг на міжнародному ринку.

Зазначені рекомендації дозволять вдосконалити процес перевезення та збільшення обсягів міжнародних вантажів залізничним транспортом, перш за все, хімічних вантажів між Україною та країнами ЄС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Статистичний збірник «Транспорт і зв'язок України – 2018» За редакцією І. Петренко. 154 с., С.50
2. Габа В.В., Грушевська Т.М., Поворознік О.О., Рудюк М.В. Удосконалення розрахунків між ПАТ «Укрзалізниця» та клієнтами в умовах реформування залізниць. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. К.: ДЕТУТ, 2017. Вип. 30. С. 272 – 279.
3. Olshevskiy, A., Olshevskiy, A., Inshakova, S., Kim, C. W., & Yang, H. I. Freight cars shunting impacts analysis using an improved dynamic model of friction draft gear. *Vehicle system dynamics*, 2018. 56(10), 1492-1507. <https://doi.org/10.1080/00423114.2017.1415454>
4. Bohlin, M., Hansmann, R., & Zimmermann, U. T. Optimization of railway freight shunting. In *Handbook of Optimization in the Railway Industry* (pp. 181-212). Springer, Cham. 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72153-8_9
5. Abuobidalla, O., Chen, M., & Chauhan, S. A matheuristic method for planning railway freight transportation with hazardous materials. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 2019. 10, 46-61. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2019.06.001>
6. Германюк Ю. М. Актуальні проблеми удосконалення процесу просування вагонних парків власності іноземних держав на мережі залізниць України. *Вісник ДНУЗТ*. Дніпропетровськ, 2011. Вип. 37. С. 26–31.
7. Висоцька Г. С. Технологічне забезпечення міжнародних залізничних перевезень на основі закономірностей формування вантажопотоків: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. К., 2013. 227 с.
8. Германюк Ю. М., Нестеренко О.В. Дослідження процесу просування іновагонів мережею Львівської залізниці. *Збірник наукових праць ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень»*. 2012. Вип. 4. С. 30–34.
9. Masiuk V., Myronenko V., Horoshko V., Prokhorchenko A., Hrushevska T., Shcherbyna R., Masiuk N., Khokhlacheva J., Biziuk I., Tymchenko N. Improvement of efficiency in the organization of transfer trains at developed railway nodes by implementing a «flexible model». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Control processes*. 2019. Vol. 2/3 (98). P. 32 – 39 (Scopus). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162143>
10. Shramenko N., Shramenko V. Mathematical model of the logistics chain for the delivery of bulk cargo by rail transport. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018. Vol. 5, P. 136–141.
11. Куліченко, А. Я., Германюк Ю. М. Імовірності розподілення оптимальних критеріїв терміну переміщення транзитних іновагонів залізницями України. *Вісник СНУ ім. В.Дала*. 2009. № 4(134). Ч.2. С. 130–134
12. Кириченко Г. І. Проблематика застосування інформаційних технологій в управлінні процесами доставки вантажу. *Проблеми транспорту*. 2012. Вип. 9. С. 17–27.
13. Кириченко Г. І., Стрелко О.Г., Бердніченко Ю.А., Петриковець О.В. Моделивання сценаріїв переміщення вантажів у ланцюгах доставки. *Транспортні системи та технології перевезен: зб. наук. Праць. Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Дніпропетровськ, 2016. Вип. 12. С. 32–37. Режим доступу: http://tstt.diit.edu.ua/article/view/85882/pdf_93.
14. Переста Г.І., Болвановська Т.В. Аналіз впливу складових елементів на величину обороту вантажного вагона. *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В.Лазаряна*. Вип. 1. 2011. С. 75 – 77.
15. Muradian A. Razrabotka kontseptsyy yhrovoho podkhoda k sohlasovanyiu upravleniya dostavkoi hruzov s perevalkoi v obshchetransportnykh uzlakh. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiy: Protseyi upravleniya*, 2015. Vol. 6, 3(78), 17–24.

16. Козаченко Д. М., Верлан А. І., Германюк Ю. М. Удосконалення методів оцінки залізничного транспорту у сфері міжнародних транзитних перевезень. *Залізничний транспорт України*. К., 2013. Вип.2(99). С. 40–42.
17. Козаченко Д. М., Германюк Ю. М. Математична модель для дослідження перевезення вантажів у міжнародному сполученні. *Зб. наук. праць ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень»*. Д.: ПФ «Стандарт-Сервіс», 2013. Вип. 5. С. 28–32.
18. Верлан А. І., Козаченко Д. М., Вернигора Р. В. Підвищення ефективності управління приватним вагонним парком за рахунок відправницької маршрутизації порожніх вагонопотоків. *Залізничний транспорт України*. Київ, 2012. № 6. С. 35–37.
19. Kozachenko D., Vernigora R., Balanov V., Berezovy N., Yelnikova L., Germanyuk Yu. Evaluation of the transition to the organization of freight trains traffic by the schedule. *Transport problems [Problemy transportu]*. 2015. Vol. 11, is. 1. pp. 41–48.
20. В.З. Яневич, А.М. Огороков. Дослідження та оптимізація процесу перевезення вантажів залізничним транспортом. *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. Вип. 7. 2014. С. 73 – 79.
21. Нагорний Є.В., Ломотько Д.В., Шраменко Н.Ю. та ін Транспортно-експедиторська діяльність.: підручник. Х.: ХНАДУ, 2012. 352 с.
22. Gaba V., Hrushevska T., Strelko O., Kyrychenko A., Rudyuk M., Gusar Ie. Improvement of international rail transportation of benzene between Ukraine and the European Union countries. MATEC Web of Conferences. 2nd International Scientific and Practical Conference “Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport” (EOT-2019). Lviv, Ukraine, September 19-20, 2019. Volume 294 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1051 /mateconf /201929404010>

REFERENCES

1. Statystychnyi zbirnyk «Transport i zviazok Ukrainy – 2018» Za redaktsiieiu I. Petrenko. 154 s., s.50.
2. Haba, V.V, Hrushevska, T.M., Povoroznik, O.O., Rudiuk, M.V. (2017). Udoshkonalennia rozrakhunkiv mizh PAT «Ukrzaliznytsia» ta kliientamy v umovakh reformuvannia zaliznyts [Improving settlements between PJSC Ukrzaliznytsia and customers in the context of railway reform]. *Zbirnyk naukovykh prats DETUT. Seriia «Transportni systemy i tekhnologii»*. – *Collection of scientific works DETUT. Transport Systems and Technologies Series*. K.: DETUT. 30. 272 – 279.
3. Olshevskiy, A., Olshevskiy, A., Inshakova, S., Kim, C. W., & Yang, H. I. (2018). Freight cars shunting impacts analysis using an improved dynamic model of friction draft gear. *Vehicle system dynamics*, 56(10), 1492-1507. <https://doi.org/10.1080/00423114.2017.1415454>
4. Bohlin, M., Hansmann, R., & Zimmermann, U. T. (2018). Optimization of railway freight shunting. In *Handbook of Optimization in the Railway Industry* (pp. 181-212). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72153-8_9
5. Abuobidalla, O., Chen, M., & Chauhan, S. (2019). A matheuristic method for planning railway freight transportation with hazardous materials. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. 10, 46-61. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2019.06.001>
6. Hermaniuk, Yu. (2011). Aktualni problemy udoshkonalennia protsesu prosuvannia vahonnykh parkiv vlasnosti inozemnykh derzhav na merezhi zaliznyts Ukrainy [Current problems of improving the process of promoting car fleets owned by foreign countries on the railway network of Ukraine]. *Visnyk DNUZT. Dnipropetrovsk*. 37. . 26–31.
7. Vysotska, H. S. (2013). Tekhnolohichne zabezpechennia mizhnarodnykh zaliznychnykh perevezen na osnovi zakonmironosti formuvannia vantazhopotokiv [Technological support of international railway transportation on the basis of regularities of freight traffic formation]. : dys. ...kand. tekhn. nauk: 05.22.01. K. 227 p.
8. Hermaniuk, Yu., Nesterenko, O. (2012). Doslidzhennia protsesu inovahoniv merezheiu Lvivskoi zaliznytsi [Research of the process of promotion of new cars by the Lviv Railway network]. *Zbirnyk naukovykh prats DNUZT “Transportni systemy ta tekhnologii perevezen”*. 4. 30–34.
9. Masiuk, V., Myronenko, V., Horoshko, V., Prokhorchenko, A., Hrushevska, T., Shcherbyna, R., Masiuk, N., Khokhlacheva, J., Bizuki, I., Tymchenko, N. (2019). Improvement of efficiency in the organization of transfer trains at developed railway nodes by implementing a «flexible model». *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies: Control processes*. Vol. 2/3 (98). P. 32 – 39 (Scopus). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162143>
10. Shramenko, N., Shramenko, V. (2018). Mathematical model of the logistics chain for the delivery of bulk cargo by rail transport. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 136–141.
11. Kulichenko, A., Hermaniuk, Yu. (2009). Imovirnosti rozpodilennia optymalnykh kryteriiv terminu peremishchennia tranzitnykh inovahoniv zaliznytsiamy Ukrainy [Probabilities of distribution of optimal criteria of term of movement of transit new cars by the railways of Ukraine]. *Visnyk SNU im. V.Dalia*. № 4(134). part.2. 130–134/
12. Kyrychenko, H. I. (2012). Problematyka zastosuvannia informatsiinykh tekhnolohii v upravlinni protsesamy dostavky vantazhu. [Problems of application of information technologies in management of processes of delivery of cargo] *Problemy transportu*. Vyp. 9. S. 17–27.
13. Kyrychenko, H., Strelko, O., Berdnychenko, Yu., Petrykovets, O. (2016). Modeliuvannia stsenariiv peremishchennia vantazhiv u lantsiuhakh dostavky [Simulation of scenarios for the movement of goods in supply chains]. *Transportni systemy ta tekhnologii perevezen: zb. nauk. prats. Dnipropetr. nats. un-t zalizn. transp. im. akad. V. Lazariana. Dnipropetrovsk*. Vyp. 12. S. 32–37. Rezhym Dostupu: http://tstt.diit.edu.ua/article/view/85882/pdf_93.

14. Peresta, H.I., Bolvanovska, T.V. (2011). Analiz vplyvu skladovykh elementiv na velychynu oborotu vantazhnoho vahona [Analysis of the influence of components on the turnover of a freight car]. Zbirnyk naukovykh prats DNUZT im. akad. V.Lazariana. Vyp. 1. 2011. S. 75 – 77.
15. Muradian, A. (2015). Razrobotka kontseptsyy yhrovoho podkhoda k sohlasovaniyu upravleniya dostavkoi hruzov s perevalkoi v obshchetransportnykh uzlakh. Vostochno-Evropeiskiy zhurnalпередovykh tekhnolohiy: Protsesy upravleniya, 6, 3(78), 17–24.
16. Kozachenko, D., Verlan, A., Hermaniuk, Yu. (2013). Udoskonalennia metodiv otsinky zaliznychnoho transportu u sferi mizhnarodnykh tranzytynykh perevezhen [Improving methods for assessing rail transport in the field of international transit]. Zaliznychnyi transport Ukrainy. K.. Vyp.2(99). S. 40–42. .
17. Kozachenko, D., Hermaniuk, Yu. (2013). Matematychna model dlia doslidzhennia perevezennia vantazhiv u mizhnarodnomu spoluchenni [Mathematical model for the study of cargo transportation in international traffic]. Zb. nauk. prats. DNUZT «Transportni systemy ta tekhnolohii perevezhen». D.: PF «Standart-Servis». Vyp. 5. C. 28–32.
18. Verlan, A., Kozachenko, D., Vernyhora, R., Verlan, A. (2012). Pidvyshchennia efektyvnosti upravlinnia pryvatnym vahonnym parkom za rakhunok vidpravnytskoi marshrutyzatsii porozhnykh vahonopotokiv [Improving the efficiency of private car fleet management due to dispatch routing of empty car flows]. Zaliznychnyi transport Ukrainy. Kyiv. № 6. 35–37.
19. Kozachenko, D., Vernigora, R., Balanov, V., Berezovy, N., Yelnikova, L., Germaniuk, Yu. (2015). Evaluation of the transition to the organization of freight trains traffic by the schedule. Transport problems [Problemy transportu]. Vol. 11, is. 1. 41–48.
20. Yanevych, V., Okorokov, A. (2014). Doslidzhennia ta optymizatsiia protsesu perevezennia vantazhiv zaliznychnym transportom [Research and optimization of the process of cargo transportation by rail]. Zbimyk naukovykh prats DNUZT im. akad. V.Lazariana. 7. 73 – 79.
21. Nahorni, Ye., Lomotko, D., Shramenko, N. ta in. (2012). Transportno-ekspedytorska diialnist.[Freight forwarding activities]: pidruchnyk. Kh.: KhNADU. 352 s.
22. Gaba, V., Hrushevska, T., Strelko, O., Kyrychenko, A., Rudyuk, M., Gusar, Ie. (2019). Improvement of international rail transportation of benzene between Ukraine and the European Union countries. MATEC Web of Conferences. 2nd International Scientific and Practical Conference “Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport” (EOT-2019). Lviv, Ukraine, September 19-20. Volume 294. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929404010>

Габа Василий, к.т.н., профессор
(профессор кафедры «Управление коммерческой деятельностью железных дорог»
Государственного университета инфраструктуры и технологий, г. Киев)

Стрелко Олег, д.и.н., профессор
(профессор кафедры «Технологий транспорта и управления процессами перевозок»
Государственного университета инфраструктуры и технологий, г. Киев)

Грушевская Татьяна, к.т.н., доцент
(доцент кафедры «Управление коммерческой деятельностью железных дорог»
Государственного университета инфраструктуры и технологий, г. Киев)

Гусар Евгений
(аспирант кафедры «Управление коммерческой деятельностью железных дорог»
Государственного университета инфраструктуры и технологий, г. Киев)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ ГРУППОВЫМИ И ОДИНОЧНЫМИ ВАГОНАМИ

Исследовано влияние существующих условий эксплуатационной работы при перевозке грузов групповыми и одиночными вагонами. Проведенный анализ современных подходов к повышению эффективности использования парка вагонов и конкурентоспособности железнодорожного транспорта на транспортном рынке Украины. Выделены наиболее перспективные подходы и направления совершенствования систем доставки грузов. Проведено сравнение эффективности двух моделей организации отправки химических грузов и определены более эффективный вариант перевозки.

Ключевые слова: перевозка грузов, транспортный рынок, конкурентоспособность, доставка грузов, оборот вагона.

Vasil Gaba, Ph.D., Professor

(Professor of the Department of Railway Commercial Management, State University of Infrastructure and Technology, Kyiv)

Oleg Strelko, Doctor of Science, Professor

(Professor of the Department of Transport Technologies and Transportation Process Management, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv)

Tetyana Hrushevska, Ph.D., Associate Professor

(Associate Professor, Department of Railway Commercial Management, State University of Infrastructure and Technology, Kyiv)

Ievgen Gusar

(Postgraduate student of the Department of Railway Commercial Management, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv)

RESEARCH OF RAILWAY TRANSPORTATION OF FREIGHT BY GROUP AND SINGLE CARS

The influence of the existing conditions of operational work at transportation of cargoes by group and single cars is investigated. An analysis of modern approaches to improving the efficiency of the car fleet and the competitiveness of railway transport in the transport market of Ukraine. The most perspective approaches and directions of improvement of cargo delivery systems are allocated. A study of the efficiency of the organization of transportation by the criterion of total car-hours of downtime under accumulation. A mathematical model of chemical cargo transportation by carriage, group shipments and transportation of container trains with accumulation to technical norms of trains in the directions of transportation has been developed. The efficiency of two models of chemical cargo shipment organization is compared and a more efficient transportation option is identified. It is established that for more efficient use of rolling stock and reduction of car turnover there is transportation of goods in cars as a part of a container train. The influence of the components of the car turnover on its final value is analyzed. A study of the cost of transportation of benzene in tanks and tank containers in some areas. According to research, the cost of transporting benzene in tank containers on railway ownership platforms is twice less than in private tanks and tanks of Ukrzaliznytsia fleet. These recommendations will improve the process of transportation and increase the volume of goods by rail.

Keywords: *cargo transportation, transport market, competitiveness, cargo delivery, car turnover.*

УДК 656.073.72

Судник Н.В.

*(к.е.н., доцент кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»,
Одеський національний морський університет)*

Вільшанюк М.С.

*(старший викладач кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських
перевезень», Одеський національний морський університет)*

ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ДЕЯКИХ УМОВ РЕЙСУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ПОРТІВ БУНКЕРУВАННЯ

Ринок бункерувальних послуг утворює один з найважливіших сегментів світової торгівлі нафтопродуктами. Фактично бункерний ринок забезпечує роботу всього світового судноплавства, питома вага якого в світовому ВВП неухильно зростає, і до 2018 року склав за різними оцінками, від 10 до 20%.

В даний час для українських морських портів бункерування паливом – це проблема. За 15 років річні обсяги бункерування в українських портах скоротилися в десять разів. В Україні існують необхідні берегові бази в Херсоні, Миколаєві, інших місцях. Бункерні компанії з легкістю можуть знайти на ринку потрібне число бункерувальників для обслуговування в наших портах.

Ключові слова: морський агент, морські порти, бункерування суден, бункерне паливо, витрати на утримання судна, рейс.

Вступ. Морське агентування є однією з найважливіших послуг, що надаються в процесі торгового мореплавства. Як відомо, захід будь-якого судна в порт пов'язаний з необхідністю виконання певних операцій, таких як, наприклад, вантажно-розвантажувальні роботи, посадка-висадка пасажирів, ремонт, бункерування, здача хворого та інших. При цьому кожен візит вимагає проведення і всіляких допоміжних операцій, надання послуг. Однією з основних функцій морського агента є постачальницькі функції з обслуговування суден, включаючи бункерування паливом і паливно-мастильними маслами під час заходу судна в порт. Ефективність роботи судна залежить від організації постачання.

Морський агент організовує постачання судна в портах заходу згідно із заявкою капітана і інструкцією судовласника. Без необхідної кількості бункерного палива ходіння морського флоту неможливо. Частка паливних витрат в змінних витратах морських перевізників становить (в залежності від конструкції і віку судів) від 30 до 40%, а для застарілих конструкцій танкерів і того більше – до половини.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Питання бункерування суден у рейсі в своїх роботах розглядали Холопов К. В., Соколова О. В., Щербина О. В., Дрожжин О.Л., Тихоніна І. І. Так Холопов К. В. [11] в своїй роботі аналізує стан світового бункерного ринку і розглядає переваги зарубіжних портів в наданні послуг з бункерування суден паливом, а також можливість як зробити привабливими для бункерування вітчизняні порти.

Дана проблема пов'язана зі складнощами оформлення палива в українському порту. Паливо для бункерування суден найчастіше приходило в режимі транзиту, доставлялося в українські порти і йшло на іноземні судна.

DOI: 10.32703/2617-9040-2020-36-17

Але при цьому постійно виникали складнощі з митницею, яка вимагала здійснювати процес розмитнення, а потім замитнення палива. З цієї причини, компанії-бункерувальники, які не хотіли переплачувати, йшли виконувати бункерування на рейд за межі 12-мильної зони. Власне і сьогодні більшість бункерних операцій проводиться саме там. Цю проблему піднімали і Рудь О., і Вадатурський О. Так наприклад, Рудь О. [13] вважає, що вирішення проблеми можливе при зміні чинного законодавства: «...Скорочення... посилювалося нижчими цінами на паливо в сусідніх зарубіжних портах, відсутністю системи повернення ПДВ при купівлі бункера в Україні. Це реально здорожувало паливо в порівнянні з країнами-сусідами і змушувало судновласників користуватися схемами отримання палива в нейтральних водах.... ».

Інтерес до цієї проблеми є актуальним, оскільки наведена нижче статистика говорить про зростання обсягів такої послуги. І на даний момент варіантів вирішення цього питання недостатньо.

У даній роботі пропонується розглянути привабливість українських портів для бункерування суден паливом, а також це є й економічним інтересом. Таке завдання не розглядається в сучасних дослідженнях, тому є актуальним не тільки в практичному, а й в теоретичному плані.

Мета і завдання дослідження. У даній роботі для покращення організації рейсу пропонується залучити декілька аспектів, що впливають на скорочення часу транспортування вантажу і судових витрат.

Для забезпечення ефективної організації доставки вантажу шляхом скорочення часу, необхідно виконати ряд завдань:

- 1) розглянути технологію бункерування суден;
- 2) розробити методичний підхід до планування рейсу і пов'язаних з ним перемінних витрат.

Матеріали та методи дослідження. Бункерування суден – це матеріально-технічне постачання суден, тобто переміщення на судно бункерного палива, що завантажується в ємності, які конструктивно призначені для споживання і забезпечення руху цього судна. Різновидом експлуатаційних запасів для забезпечення нормальної експлуатації та технічного обслуговування транспортних засобів є паливо і паливно-мастильні матеріали.

Діяльність з бункерування суден (бункерувальна діяльність) можна визначити як підприємницьку діяльність, пов'язану з оплатною передачею однією особою (бункерувальником, бункерувальною організацією) певних припасів (зокрема, паливно-мастильних матеріалів) іншій стороні (власнику судна) по її заявці.

Метою бункерування – є поповнення судових запасів, необхідних для повноцінної експлуатації судна. Згідно з професійною термінологією – бункерне паливо являє собою паливо і супутні йому речовини і присадки, що забезпечують двигуни морських суден. Бункер беруть в портах.

Визначальним фактором регіонального попиту на бункерування є інтенсивність руху суден. Обсяги попиту залежать, в першу чергу, від кількості суднозаходів до місцевих портів, масштабів портової діяльності, обороту тоннажу, географії морських шляхів в регіоні, близькості жвавих судноплавних маршрутів і обслуговування транзитних судових потоків. Крім того, досить важлива наявність інфраструктури (технічної, організаційної, інформаційної) та прилеглих джерел поставок конкурентоспроможного палива за цінами місцевих нафтопереробних заводів (НПЗ), а також набір послуг, якість сервісу, традиційність закупівель, довіра клієнтури. Найбільшими бункерувальними центрами за обсягами продажів бункерного палива за рік є Сінгапур, Фуджайра, Роттердам, Гонконг, Пусан, Пірей, Антверпен, Гаосюн, Суецький канал, Панамський канал, Х'юстон і Гібралтар.

Судна, що заходять в українські порти, не тільки в малі або середні, але і в такі великі, як порти Великої Одеси, не можуть отримати необхідне їм паливо. За статистикою в 2016 році в українських портах було поставлено на судні, за експертними оцінками, приблизно 50-60 тис. тонн палива. Це приблизно місячний обсяг для середини 2000-х років. У 2005 році поставки бункера в наших портах України склали близько 500 тис. тонн (рис. 1).



Рис. 1. Поставки бункеру в портах України

Криза, що почалася в 2008 році, стала причиною скорочення постачання паливом. Воно посилювалося нижчими цінами на паливо в російських портах, відсутністю системи повернення ПДВ при покупці бункера в Україні. Це ж здорожувало паливо в порівнянні з країнами-сусідами і змушувало судновласників користуватися схемами отримання палива в нейтральних водах. Але особливо різкий спад стався після втрати Україною Криму та початку військових дій на сході країни. Компанії «Трансбункер» навіть довелося розпродати флот з 10 бункерувальників.

Бункерувальним бізнесом повинні займатися не державні, а приватні компанії, але державна справа – створювати умови для більшої привабливості вітчизняних портів. В регіоні чимало приватних бункерувальних компаній. Якщо вони зараз не надають свої послуги в наших морських портах, значить, виникли складні умови для роботи цих компаній.

Паливо для бункерування суден найчастіше приходило в режимі транзиту. Наприклад, купувалося в Росії, Білорусії або в інших країнах, доставлялося в українські порти і йшло на іноземні судна. Але при цьому постійно виникали складнощі з митницею, яка вимагала здійснювати процес розмитнення, а потім замитнення палива. З цієї причини, компанії-бункерувальники, які не хотіли переплачувати, йшли виконувати бункерування на рейд за межі 12-мильної зони. Власне і сьогодні більшість бункерних операцій проводиться саме там.

Також однією з причин є постійні претензії з боку екологічних структур. Був період, коли потрібно було отримувати у екологів дозвіл на кожне бункерування, при цьому підготувавши і підписавши велику кількість документів – плани усунення аварійних розливів і так далі.

Всі, хто входить в Україну, судна повинні пройти двічі через Босфор, де послуги з постачання судна надаються оперативним і без проблем.

В Україні існують необхідні берегові бази в Херсоні, Миколаєві, інших місцях. Особливо якісна база з ємностями одноразового зберігання до 80 тис. тонн в порту «Южний». Вона приваблива тим, що може забезпечувати весь регіон від Херсона, Миколаєва, Ольвії до портів Великої Одеси. Майже всі судна регіону проходять повз, тобто можна було б на якірній стоянці чекати клієнтів і обслуговувати їх. Бункерні компанії без проблем можуть знайти на ринку потрібне число бункерувальників для обслуговування наших портів.

Слід зазначити, що бункерування не є вантажною операцією. При вантажній операції відбувається відвантаження з танкера або в танкер нафти і нафтопродуктів, в тому числі і палива, але з метою перевезення, а не матеріально-технічного постачання, як того передбачають бункерні операції. Бункерна діяльність пов'язана безпосередньо з переміщенням припасів на судно, які необхідні для нормальної експлуатації судна та спожиті у процесі перевезення. Бункерування суден можливе на річці, озері, морі або океані.

Бункерування може здійснюватися такими способами: з причалу; біля причалу; на рейді; на ходу або в дрейфі.

Бункерування з причалу є одним з видів портового сервісу. При цьому бункерне паливо поставляється на судно з берега, тобто з автоцистерни або від трубопроводу. Всі вантажні операції на судні на час його бункерування з причалу заборонені.

Перш ніж паливо потрапить на бункерувальник, його необхідно доставити з нафтопереробного заводу. Як правило, нафтопродукти з НПЗ перевозять залізницею в цистернах. Потім вони потрапляють на термінал, де перекачуються в резервуари.

На причал, до якого підходить бункерувальник, паливо подається по трубопроводу або підвозиться в автоцистернах (якщо резервуари розташовані далеко від причалу). Під час навантаження бункерувальник оточують бонами – спеціальними загородами, які плавають у воді і не дозволяють нафтопродуктів поширюватися по акваторії, якщо стався аварійний розлив. На цей випадок на причалі також зберігається запас сорбенту – речовини, яке спрощує збір нафтопродуктів з поверхні води.

Наповнивши танкери паливом, судно-бункерувальник йде бункерувати інші судна. Рейс може виявитися досить тривалим і зайняти кілька днів. Планування рейсу – окреме непросте логістичне завдання. Необхідно врахувати, як довго кожне з суден, які подали заявку на бункерування, буде знаходитися в порту і в який час його можна буде бункерувати. Деякі пароплави стоять в порту 2-3 дні, інші швартуються лише на кілька годин, при цьому заправляти судно можна тільки після того, як воно пройшло митний контроль.

Розглянемо схеми руху судна з заходом для бункерування в порт України і порти інших країн, щоб показати привабливість українських портів для надання бункерних послуг.

Для розробки схем руху судна були відібрав такі порти: Стамбул (Туреччина), Південний (Україна), Батумі (Грузія).

Розглянемо 2 схеми кругового рейсу перевезення вантажів. Перехід судна до вантажу вказується суцільною лінією, а баластні переходи – пунктирною.

На схемі вказують відстань у морських милях між заданими портами; вантажопотік та найменування вантажу; операції навантаження та вивантаження, а також порт проведення бункерувальних операцій.

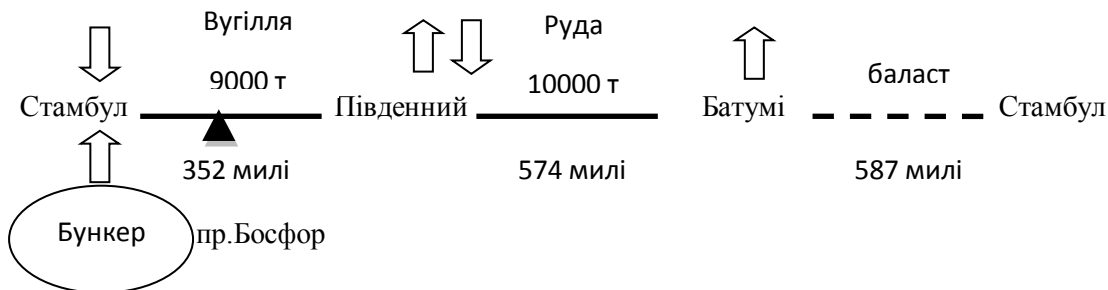


Рис. 2. Схема 1

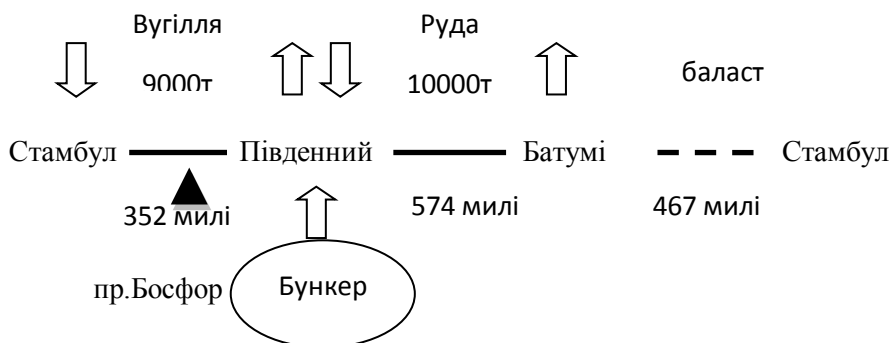


Рис. 3. Схема 2

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Таблиця 1. Характеристика показників для виконання рейсу

Найменування показника		1 схема	2 схема
Вантаж		Вугілля	Вугілля
		Руда	Руда
Кількість вантажу		9000	10000
Порт бункерування		Стамбул	Південний
Норма навантаження	Стамбул	4000	4000
	Південний	2500	2500
Норма вивантаження	Південний	3000	3000
	Батумі	3200	3200

Для кожного обґрунтованого варіанта схем руху розраховуються показники. Результати розрахунків наводяться у остаточній таблиці розрахунків.

Витрати на утримання судна за добу на ходу найменшими є в першій схемі руху судна і дорівнюють 136181,5 дол./доб.

Витрати на утримання судна за добу на стоянці найменшими є також в першій схемі руху суден і дорівнюють 22293,8 дол./доб.

Нижче показано як визначаються наступні економічні показники роботи судна на кожній зі схем руху.

Таблиця 2. Результати розрахунків

Показник та одиниця його вимірювання	Номер схеми руху	
	1 схема	2 схема
Витрати судна за рейс, дол	792679,8	866654,2
Собівартість перевезень однієї тонни вантажу, т	41,7	45,6
Середньозважена фрахова (тарифна) ставка перевезення однієї тонни вантажу, дол/т	50,04	54,72
Доходи, дол	950760	1039680
Прибуток, дол	158080,2	173025,8
Рівень прибутковості, дол	0,18	0,20

У результаті проведення розрахунків по двох схемах руху судна, отримали, що швидшим буде виконаний рейс за другою схемою (16,8>16,4), через більший ходовий (4,12>3,82) та стоянковий (12,68>12,58) часи. Розрахувавши добові витрати судна на кожній схемі, отримали, що витрати на утримання судна на ходу та на стоянці на першій схемі незначно нижчі, ніж на другій (136181,5<141740 – на ходу, 21658,7<22293,8 – на стоянці). Далі були розраховані економічні показники судна на обох схемах руху, де було виявлено, що обидва варіанти є прибутковими для здійснення перевезення вантажу, розбіжності в результатах не суттєві, оскільки схеми руху відрізняються тільки додатковим портом бункерування в Росії. Оскільки прибуток та рівень прибутковості при здійсненні перевезення вантажу в другій схемі більше (173025,8>158080,2 – прибуток, 0,20>0,18 – рівень прибутковості), то оптимальним варіантом є саме схема №2.

Висновки. При організації рейсу за двома схемами були розглянуті два порти для бункерування: Стамбул і Південний. В результаті розрахунків по двох напрямках можна

зробити висновок, що українські порти є привабливими для бункерування суден в технологічному і економічному сенсах. Тому при зміні схеми оформлення бункера в портах України можна отримувати певну вигоду. У цьому можуть бути зацікавлені як перевізники, так і бункерні компанії.

У результаті проведеної роботи дішли таких висновків:

1. Бункерування в порту Південному дозволяє скоротити час рейсу шляхом заправки паливом у цьому ж порту, де виконуються також і вантажні роботи, без додаткового заходу в інший порт на бункерування.

2. Рівень прибутковості при цьому показує, що бункерування в портах України дозволяє заощадити засоби, що у свою чергу позначиться на зменшенні витрат на перевезення вантажів морем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Alizadeh, A.H., & Nomikos, N.K. 'Ship Finance: Hedging Ship Price Risk Using Freight Derivatives', The Blackwell Companion to Maritime Economics, First Edition, edited by Wayne K. Talley, 2012
2. Andersen M. W. Service Network Design and Management in Liner Container Shipping Applications . Ph. D. thesis, Technical University of Denmark. Kongens Lyngby: 2010. 198 p.
3. Hans J. Peters The commercial aspects of freight transport ocean transport: freight rates and tariffs. Transportation, water and urban development department the world bank, No PS-3, pp. 1-5.
4. Yao Z., Ng, S. H., Lee, L. H. 'A study on bunker fuel management for the shipping liner ser-vices', Computers & Operations Research. 2012. Vol. 39. No. 5. pp. 1160-1172.
5. Wang X., Teo C. C. 'Integrated hedging and network planning for container shipping's bunker fuel management', Maritime Economics & Logistics. 2013. Vol. 15. No. 2. pp. 172-196.
6. Wang S., Meng, Q. 'Robust bunker manage-ment for liner shipping networks', European Journal of Operational Research, 2015. Vol. 243. No 3. pp. 789-797.
7. Aydin N., Lee H., Mansouri S.A. 'Speed optimization and bunkering in liner shipping in the presence of uncertain service times and time windows at ports', European Journal of Operational Research. 2017. Vol. 259. No 1. pp.143-154.
8. Meng Q., Wang, S., Lee, C. Y. A tailored branch-and-price approach for a joint tramp ship routing and bunkering problem. Transportation Research Part B: Methodological. 2015. Vol. 72. pp.1-19.
9. Villhelmsen C., Lusby R., Larsen J. 'Tramp ship routing and scheduling with integrated bunker optimization', EURO Journal on Transportation and Logistics. 2014. Vol. 3. No 2. pp. 143-175.
10. Митний кодекс України за станом на 25 листоп. 2018 р. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2012, № 44-45, № 46-47, № 48, ст.552.
11. Холопов К. В., Соколова О. В. Бункерный рынок и бункерные операции как фактор обеспечения международного морского судоходства. *Транспорт*, 2015, № 7. С. 98-114
12. Щербина О. В., Дрожжин О. Л., Тихоніна І.І. Методика обґрунтування порту бункерування суден в рейсі. *Наукоємні технології*, 2019, № 3 (43). С. 377-384.
13. Ильницкий К. Объемы бункеровки в украинских портах сократились в десять раз. *Порты Украины*, 2017.
14. Петров І. М., Попондопуло Д. А. Бункерування суден газомоторним паливом: правове регулювання. Київ, 2018. 150 с.
15. Безкровний Є. М., Тихоніна І. І. Технологія морських перевезень: Навчальний посібник. Одеса, 2015. 277 с.
16. Ханін М.С. Международное морское торговое судоходство. Экономика. Политика. Москва, 2011. 127 с.

REFERENCES

1. Alizadeh, A.H., & Nomikos, N.K. (2012) 'Ship Finance: Hedging Ship Price Risk Using Freight Derivatives', The Blackwell Companion to Maritime Economics, First Edition, edited by Wayne K. Talley.
2. Andersen M. W. (2010) *Service Network Design and Management in Liner Container Shipping Applications* . Ph. D. thesis, Technical University of Denmark. Kongens Lyngby.. 198 p.
3. Hans J. Peters *The commercial aspects of freight transport ocean transport: freight rates and tariffs*. - Transportation, water and urban development department the world bank, No PS-3, pp. 1-5.
4. Yao Z., Ng, S. H., Lee, L. H. (2012) 'A study on bunker fuel management for the shipping liner ser-vices', Computers & Operations Research, Vol. 39. No. 5. pp. 1160-1172.
5. Wang X., Teo C. C. (2013) 'Integrated hedging and network planning for container shipping's bunker fuel management', Maritime Economics & Logistics, Vol. 15. No. 2. pp. 172-196.
6. Wang S., Meng, Q. (2015) 'Robust bunker manage-ment for liner shipping networks', European Journal of Operational Research, Vol. 243. No 3. pp. 789-797.

7. Aydin N., Lee H., Mansouri S.A. (2017) 'Speed optimization and bunkering in liner shipping in the presence of uncertain service times and time windows at ports', European Journal of Operational Research, Vol. 259. No 1. pp.143-154.
8. Meng Q., Wang, S., Lee, C. Y. A tailored branch-and-price approach for a joint tramp ship routing and bunkering problem. Transportation Research Part B: Methodological. 2015. Vol. 72. pp.1-19.
9. Vilhelmsen C., Lusby R., Larsen J. (2014) 'Tramp ship routing and scheduling with integrated bunker optimization', EURO Journal on Transportation and Logistics. Vol. 3. No 2. pp. 143-175.
10. Митний кодекс України.(2012) Відомості Верховної Ради України [Customs Code of Ukraine // Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine] № 44-45, № 46-47, № 48 [in Ukrainian].
11. Holopov K. V., Sokolova O. V. (2015) *Bunkernyj rynek i bunkernye operacii kak faktor obespecheniya mezhdunarodnogo morskogo sudohodstva* [Bunkering market and bunkering operations as a factor in ensuring international maritime shipping].Transport, № 7. pp. 98-114 [in Russian].
12. Sherbina O. V., Drozhzhin O. L., Tihonina I.I. (2019) *Metodika obgruntuvannya portu bunkeruvannya suden v reysi*. [Methodology for the port bunkering of ships in voyages]. Naukovyemni tehnologiyi, № 3 (43), pp. 377-384 [in Ukrainian].
13. Ілницький К. (2017) *Объемы bunkerovki v ukrainskikh portah sokratilis v desyat raz* [Ілницький К. The volume of bunkering in Ukrainian ports has decreased tenfold]. Porty Ukrainy. [in Russian].
14. Petrov I. M., Popondopulo D. A. (2018) *Bunkeruvannya suden gazomotornim palivom: pravove reguluvannya* [Bunkering of ships with gas motor fuel: legal regulation], Kyiv [in Ukrainian].
15. Bezukrovny E.M., Tikhonina I.I. (2015) *Tehnologiya morskikh perevezhen* [Technology of maritime transport], Odessa [in Ukrainian].
16. Hanin M.S. (2011). *Mezhdunarodnoe morskoe torgovoe sudohodstvo. Jekonomika. Politika*. [International maritime merchant shipping. Economy. Politics.], Moskva, [in Russian].

Судник Надежда

(кандидат экономических наук, доцент кафедры «Эксплуатация флота и технология морских перевозок», Одесский национальный морской университет)

Вильшаниук Марина

(старший преподаватель кафедры «Эксплуатация флота и технология морских перевозок», Одесский национальный морской университет)

БУНКЕРОВКА В УКРАИНСКИХ ПОРТАХ

Рынок бункеровочных услуг образует один из важнейших сегментов мировой торговли нефтепродуктами. Фактически бункерный рынок обеспечивает работу всего мирового судоходства, удельный вес которого в мировом ВВП неуклонно растет, и до 2018 года составил по разным оценкам от 10 до 20 %.

В настоящее время для украинских морских портов бункеровка топливом - это проблема. За 15 лет годовые объемы бункеровки в украинских портах сократились в десять раз. В Украине существуют нужные береговые базы в Херсоне, Николаеве, других местах. Бункерные компании с легкостью могут найти на рынке нужное число бункеровщиков для обслуживания в наших портах..

Ключевые слова: морской агент, морские порты, бункеровка судов, бункерное топливо, расходы на содержание судна, рейс.

Nadiia Sudnyk

(PhD, Associate Professor Department of Fleet Operation and Shipping Technology ONMU)

Marina Vil'shaniuk

(Senior Lecturer Department "Fleet Operation and Maritime Transportation Technology" ONMU)

BUNKERING IN UKRAINIAN PORTS

The market of bunkering services forms one of the most important segments of world trade in oil products. In fact, the bunker market provides the work of the entire shipping industry, the share of which in world GDP is growing steadily, and by 2018 was estimated at 10 to 20%.

Currently, fuel bunkering is a problem for Ukrainian seaports. Over 15 years, the annual volume of bunkering in Ukrainian ports has decreased tenfold. In Ukraine there are necessary coastal bases in Kherson, Nikolaev, other places. Bunker companies can easily find the right number of bunkers on the market for service in our ports.

The volume of the world bunker market is characterized by huge and constantly growing needs of the world navy in material and technical supply of fuel of the vessels of the most different function in scales of the World ocean.

The determining factor of regional demand for bunkering is the intensity of vessel traffic. Demand volumes depend primarily on the number of calls to local ports, the scale of port activity, tonnage turnover, the geography of sea routes in the region, the proximity of busy shipping routes and the service of transit flows. In addition, the availability of infrastructure (technical, organizational, information) and adjacent sources of competitive fuel supply at the prices of local refineries (refineries), as well as a range of services, quality of service, traditional procurement, customer confidence. The largest bunker centers in terms of bunker fuel sales per year are Singapore, Fujairah, Rotterdam, Hong Kong, Busan, Piraeus, Antwerp, Kaohsiung, Suez Canal, Panama Canal, Houston and Gibraltar.

When organizing the flight according to two schemes, two ports for bunkering were considered: Istanbul and the Pivdenny. As a result of calculations in two directions, it can be concluded that Ukrainian ports are attractive for bunkering ships in technological and economic terms. Therefore, when changing the design scheme of the bunker in the ports of Ukraine, you can get some benefits. Both carriers and bunker companies may be interested in this.

Keywords: sea agent, seaports, bunkering of ships, bunkering fuel, ship maintenance costs, voyage.

УДК 658.7:338.12

Тетяна Ковтун, к.т.н.

*(доцент, кафедра «Управління логістичними системами та проєктами»,
Одеський національний морський університет)*

Вікторія Смирковська, магістр

*(доцент, кафедра «Управління логістичними системами та проєктами»,
Одеський національний морський університет)*

Дмитро Ковтун, магістр (логіст, компанія «EwalsCargo», Польща)

РЕВЕРСИВНА ЛОГІСТИКА ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ НА ЗАСАДАХ КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

У статті розглядаються питання еколого-орієнтованого управління в логістиці на засадах концепції сталого розвитку шляхом впровадження екологічних напрямків логістики. Визначаються сутність, завдання та місце реверсивної логістики в ієрархії еколого-орієнтованих напрямків логістики. Розглядаються замкнуті логістичні ланцюги як основа реверсивної логістики, визначається склад потоків, що їх формують.

Ключові слова: екологістика, реверсивна логістика, замкнутий логістичний ланцюг, зворотний матеріальний потік.

Збереження навколишнього середовища на сьогоднішній день є однією з найважливіших, невідкладних і всеосяжних проблем, від якої залежить майбутнє людства та життя на планеті в цілому. Великі темпи зростання обсягів матеріального виробництва і чисельності населення, які були визначальними факторами цивілізаційного розвитку впродовж останніх років, обумовили різке збільшення антропогенного навантаження на довкілля. Природний асиміляційний потенціал вже не забезпечує відновлення статус-кво природного середовища – в екосистемах почалися суттєві зміни, незворотні в осяжній перспективі.

Починаючи з другої половини ХХ ст. відбувається інтенсивний пошук нової стратегії виживання людства в умовах обмеженості природних ресурсів і погіршення природних умов існування людини як біологічного виду. Проблема майбутнього розвитку цивілізації загалом вийшла на передній край наукового пошуку і суспільної свідомості загалом. Виходом з ситуації, що склалася, визнано застосування концепції сталого розвитку, яка є природньою реакцією світової спільноти на існуючі загрози та передбачає гармонійне співіснування природи і суспільства, що потребує врахування екологічних і соціальних факторів у всіх сферах життя людини.

Логістика як область практичної діяльності вносить свій негативний внесок у стан навколишнього середовища. Останнім часом якості сучасної концепції логістики застосовується екологічна логістика, яка в рамках концепції сталого розвитку розглядається як ефективний підхід до управління матеріальними та супутніми потоками з ціллю зниження еколого-економічних збитків, що наносяться довкіллю. Екологістика активно розвивається останніми роками та має у своєму складі декілька перспективних напрямків дослідження, одним з яких є реверсивна логістика, що зосереджується на управлінні зворотними потоками матеріальних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Важливим напрямком впровадження концепції сталого розвитку та досягнення його цілей є екологізація всіх сфер життєдіяльності людини. В монографії «Екологоорієнтоване логістичне управління виробництвом», під

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-18

редакцією Є.В. Мішеніна [1] поняття «екологізація» вживається в таких трактуваннях, як «екологізація виробництва», «екологізація продукції», «екологізація технологій виробництва продукції», «екологізація суспільного виробництва», «екологізація господарської діяльності», «екологізація економіки», «екологізація агропромислового комплексу» тощо. Сучасність продемонструвала пріоритетність, гостроту і складність екологічних проблем, які переважна більшість людства ще до кінця не усвідомила. Нині екологізація майже всіх сфер життєдіяльності людини є обов'язковою умовою виживання людства та планети в цілому.

Динамічний розвиток логістики як науки та досвід впровадження її принципів в західних країнах дали підстави стверджувати, що логістиці належить стратегічно важливе значення в сучасному бізнесі [2]. Логістика як наука і інструмент бізнесу почала формуватися в середині ХХ ст. Її еволюція тісно пов'язана з історією та еволюцією ринкових відносин у промислово розвинених країнах, причому сам цей термін укорінився і став широко застосовуватися лише з кінця 70-х рр. [3].

Розвиток та вдосконалення теоретико-методологічних принципів логістики тісно пов'язані з еволюцією логістичної науки, яка відбувалася під впливом процесів інтеграції, інформатизації, глобалізації та екологізації суспільно-економічних відносин [1]. Кожен з періодів формування логістики відрізняється відповідними концептуальними підходами до створення та управління логістичними системами. Серед основних тенденцій розвитку сучасної логістики Дж.С. Джонсон, Д.Ф. Вуд, Д.Л. Вордлоу, П.М. Мерфі-мл. [4] виділяють зростання уваги суспільства до проблем забруднення навколишнього середовища.

Проблемі екологізації логістичної діяльності присвячені праці іноземних і вітчизняних науковців таких, як: Т. Доуї, Р. Данну, А. МакКіннон, Р. Поїст, Ж.-П. Родріго, Д. Роджерс, Р. Тіббу-Лембке, Д. Уотерс, А.У. Альбекова, В.В. Борисова, Л.М. Зарецька, А.А. Кизим, Н.П. Коропова, І.І. Коблянська, А.Ф. Крячкова, В.П. Мешалкін, Е.В. Мішенін, І.М. Омельченко, Н.В. Пахомова, Л.А. Сосунова, М.Н. Некрасова, Т.Н. Скоробагаогатова, Д.В. Чернова, А. Тамбовцев, Т. Тамбовцева тощо.

Значний вплив на розвиток екологічного управління в логістиці справило видання в 1992 році Радою логістичного менеджменту США монографії Дж. Стока «Revers Logistics» [5]. Дослідження з реверсивної логістики проводяться в роботах таких вчених, як Д.К. Беклі, В.Б. Логан, С.Х. Террі, П.Р. Мерфі, Р.Ф. Поїст, Т.Л. Поллен, М.Т. Ферріс, Дж. Беррі, Г. Жирард, К. Перрас, Дж. Блоемхоф-Рівард, Л.Н. ван Вассенхоф, К.Р. Картер, Л.М. Елларам, В. Джаяраман, Р.А. Паттерсон, С. Ролланд, Ю. Барняк, П. Гуїнтіні, Т. Ендел.

Не дивлячись на значну кількість наукових праць з екологічно-орієнтованого управління в логістиці, зокрема в галузі реверсивної логістики, що з'явилися останнім часом, в силу новизни напрямку, досить багато питань є невирішеними та потребують дослідження.

Мета статті полягає в обґрунтуванні доцільності впровадженні еколого-орієнтованого напрямку логістики – реверсивної логістики для досягнення цілей сталого розвитку. Для досягнення мети дослідження поставлені наступні завдання:

1. Дослідити еволюцію розвитку екологічних напрямів в логістиці та визначити їх роль в досягненні цілей сталого розвитку.
2. Проаналізувати трактування понять «реверсивна логістика» та «зворотна логістика», визначити сутність та завдання реверсивної логістики.
3. Надати характеристику замкнених логістичних ланцюгів та матеріальних потоків, що їх складають.

Матеріали та методи дослідження. Виклад основного матеріалу

1. Еволюція розвитку екологічної логістики. Доцільність господарювання на основі принципів логістики сьогодні не потребує доказів, але визнання екологістичного підходу в економіці сталося не відразу та пройшло певні етапи: класична логістика, неокласична логістика, сучасна логістика [6]. Кожний з етапів характеризується певними екологічними проблемами та методами їх вирішення.

Період класичної логістики (60-70-ті роки ХХ ст.) характеризується збільшенням обсягів торгівлі, що призвело до зростання транспортних потоків та створення транспортної інфраструктури. Відповідно, як відмічає А.С. McKinnon, логістична діяльність на цьому етапі супроводжувалась екодеструктивним впливом на довкілля [7]. Посилення конкуренції (перехід до ринку покупця) та дефіцит високоякісних сировинних ресурсів, зокрема енергетичних, у 70-тих роках ХХ століття призводять до того, що ресурсний фактор (зниження енергоємності й матеріалоємності продукції) стає основним у конкурентній боротьбі, а логістичне управління набуває ресурсозберігаючої функції.

У наступному періоді – *неокласичної логістики* (80-рр. ХХ ст.) впроваджуються принципи концепції загальної відповідальності, яка потребує врахування екологічних та соціальних аспектів при прийнятті управлінських рішень в логістиці [8]. Пошук напрямів підвищення економічної ефективності господарської діяльності за рахунок використання вторинних матеріалів призводить до виникнення *реверсивної логістики*.

Період сучасної логістики (2000-ні рр.) характеризується різким погіршенням стану навколишнього середовища внаслідок господарської діяльності людини. Необхідність вирішення питання безпечного існування людства на планеті призвела до виникнення концепції сталого розвитку, принципи якої відобразились у соціально- та екологічно-орієнтованих підходах до логістики [9].

Сучасні та майбутні екологічні тенденції в логістиці пов'язують з використанням логістичного підходу в управлінні відходами та вторинними матеріальними ресурсами [10; 11], інтеграцією зусиль постачальників та замовників з метою виробництва екологічно чистої продукції, включаючи пакування продукції та тару тощо.

Концептуально розвиток *екологічно-орієнтованого управління в логістиці* базується на зміні логістичних парадигм. Сьогодні можна стверджувати, що до основних семи правил логістики необхідно додати ще два: мінімальний рівень споживання ресурсів та мінімальний екодеструктивний вплив на довкілля, які спільно складуть «правила екологістики» (рис.1).

Логістика ХХІ ст. розглядається як ефективний підхід до управління ресурсними та енергетичними потоками з метою зниження еколого-економічних збитків, що наносяться навколишньому середовищу, і забезпечення ефективного інноваційного розвитку економіки.

Основними принципами екологічної логістики є:

- раціоналізація використання природних ресурсів та ресурсів підприємства;
- максимальне використання відходів виробництва, тари і упаковки;
- скорочення споживання сировини і матеріалів з низькою можливістю переробки або безпечної утилізації;
- застосування сучасних наукоємних технологій та технологій рециклінгу;
- підвищення рівня екологічної орієнтації і відповідальності логістичного персоналу [12].

Базуючись на принципах екологістики, визначається її контур в рамках концепції сталого розвитку, який включає синтез економічної, соціальної та екологічної складової:

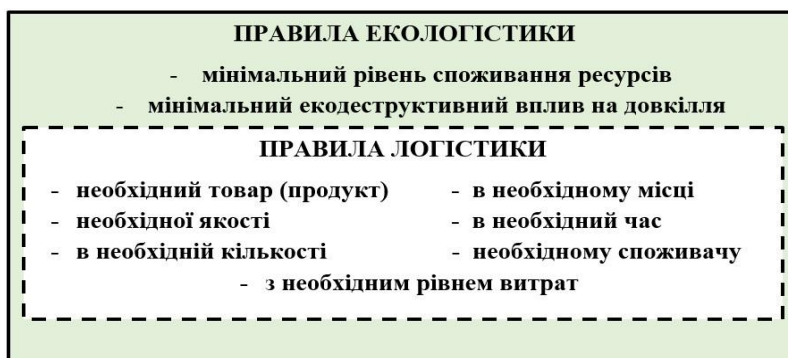


Рис. 1. Правила екологічної логістики

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

- *економічна* складова забезпечує покращення значень економічних показників функціонування підприємств завдяки застосуванню інструментів екологічної логістики;
- *соціальна* складова формує умови безпечного для суспільства виробництва, розподілу та використання продукції;
- *екологічна* складова сприяє зменшенню екодеструктивного впливу логістичної діяльності на довкілля (рис. 2).



Рис. 2. Контур екологічної логістики в рамках концепції сталого розвитку

Таким чином, сучасна логістика в рамках концепції сталого розвитку повинна розглядатися як ефективний підхід до управління логістичними потоками з метою зниження екологічного збитку, що завдаються суспільству та довкіллю, та може забезпечити покращення економічних показників діяльності. До складу екологістики входять напрями логістики, що мають екологічну спрямованість, серед них – реверсивна логістика, яка зосереджується на управлінні рухом зворотних матеріальних потоків (рис. 3).

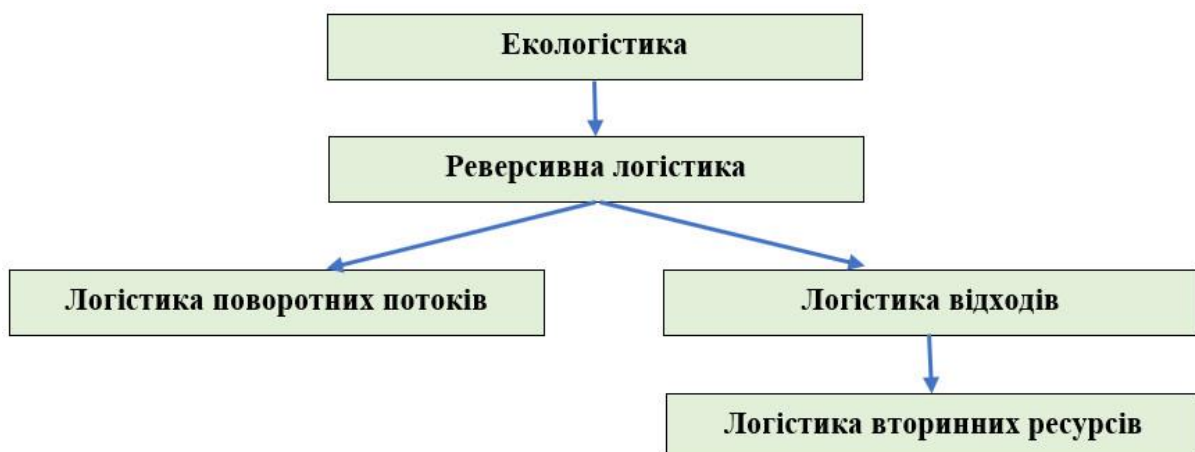


Рис. 3. Еколого-орієнтовані види логістики

2. Реверсивна логістика – один з напрямків екологістики. Поняття «реверсивна логістика», «логістика зворотних потоків», «зворотна логістика» з'являються в роботах науковців починаючи з 90-х років XX століття. Ці поняття є синонімами та відображають напрямок логістики, який досліджує питання ефективного поводження зі зворотними потоками продукції та матеріалів, тобто допомагає вирішити проблему ресурсозбереження.

З англійської мови словосполучення «реверсивна логістика» можна перекласти як: реверсивна логістика, зворотна логістика, поворотна логістика. Це визиває деякі труднощі при визначенні відповідних дефініцій і потребує пояснень, оскільки, якщо зворотна та реверсивна логістика є синонімами, то поворотна логістика входить до складу реверсивної логістики. Відмінності в даних видах логістики відображаються в специфіці складу матеріальних потоків, якими вони управляють.

Одним з перших термін «реверсивна логістика» застосувала організація торгівлі «Рада з управління логістикою» (Council of Logistics Management, CLM). Сьогодні існує велика кількість визначень понять «реверсивна логістика» та «зворотна логістика», деякі з яких подані в табл. 1.

Таблиця 1. Тракткування поняття «реверсивна логістика», «зворотна логістика»

<i>Реверсивна логістика</i>
<i>Дж.Р. Сток [5]</i> Реверсивна логістика включає в себе всі питання, пов'язані з аспектами логістичної діяльності, що виникають при скороченні обсягів відходів, переробці, заміні, повторному використанні матеріалів і утилізації.
<i>П. Гуїнтіні, Т. Ендел [13]</i> Реверсивна логістика – управління організацією матеріальних ресурсів, отриманих від клієнта.
<i>Л. Крун, Г. Врідженс [14]</i> Реверсивна логістика являє собою навички та дії, направлені на зниження кількості небезпечних та безпечних відходів продукції та упаковки, а також на процеси управління ними та їх утилізації.
<i>К.Р. Картер, Л.М. Елліам [15]</i> Реверсивна логістика – це процес, який дозволяє компаніям стати більш екологічно ефективними через використання в своїй діяльності утилізації, повторного використання та зниження кількості матеріалів, що використовуються. В більш вузькому сенсі дане явище можна розглядати в якості зворотного розподілу матеріалів між учасниками каналу розподілу. Більш цілісний погляд на реверсивну логістику являє собою прагнення скоротити використання матеріалів в системі потоків прямого руху таким чином, щоб як можливо менша їх кількість поверталась в зворотному напрямку, повторне використання матеріалів в даному випадку можливе, а процес утилізації полегшується.
<i>Д.С. Роджерс, Р.С. Тіббен-Лембке [16]</i> Реверсивна логістика – це процес планування, здійснення та контролю ефективності руху потоків сировини, напівфабрикатів, готової продукції та супутньої їм інформації від точки споживання до точки виникнення з ціллю збереження або створення цінності або правильної утилізації.

<p><i>С. Довлаташвілі [17]</i></p> <p>Реверсивна логістика – процес, в ході якого виробник систематично приймає продукцію, яка відвантажена їм раніше, або її складові частини з точки споживання з ціллю утилізації, повної модернізації або захоронення.</p>
<p><i>М. Флейшман [18]</i></p> <p>Реверсивна логістика – це процес планування, здійснення та контролю ефективності, ефективні, тобто найбільш раціонально організовані вхідні потоки та процес збереження вторинних товарів та пов’язаної з ними інформації, як рухаються в ланцюзі поставчань в напрямку, протилежному традиційному.</p>
<p><i>О.Н. Зуєва [19]</i></p> <p>Реверсивна логістика – це процес планування, реалізації та контролю логістичних товаропотоків, що повертаються зі сфери обігу та споживання в результаті зворотного розподілу готової продукції, небезпечних, пошкоджених, прострочених та використаних товарів і тари та пов’язаної з ними інформації в цілях відновлення їх цінності або правильної утилізації.</p>
<p><i>Е.М. Букринська [20]</i></p> <p>Реверсивна логістика – широке поняття, яке охоплює логістичний менеджмент та діяльність зі зниження та усунення небезпечних та безпечних втрат тари та продуктів. Вона означає зворотний розподіл – рух товарів та інформації у напрямку, протилежному тому, в якому протікає нормальна логістична діяльність.</p>
<p><i>В.А. Лазарев [21]</i></p> <p>Реверсивна логістика – логістика, основним завданням якої є управління оборотними та зворотними товарно-матеріальними потоками.</p>
<p><i>С.А. Шахназарян [22]</i></p> <p>Реверсивна логістика – це процес повернення зі сфер споживання та обігу в сфері виробництва та утилізації товарно-матеріальних цінностей, які можуть бути піддані перепродажу, повторному використанню, ремонту, а у випадку неможливості здійснення вказаних дій – їх правильній утилізації.</p>
<p><i>Виконавчий комітет з реверсивної логістики [23]</i></p> <p>Реверсивна логістика – це процес переміщення товарів з їхнього кінцевого пункту призначення в інший з ціллю збереження їх цінності в тому випадку, якщо це неможливо зробити іншим шляхом, або для їх правильного захоронення.</p>
<p><i>Асоціація Реверсивної логістики (24 Шахназар) [24]</i></p> <p>Реверсивна логістика – діяльність з управління цінностями (як корисними в подальшому, так і некорисними), які утворюються в процесі придбання або споживання товару або послуги, незалежно від сфери та області застосування.</p>

<i>Зворотна логістика</i>
<p><i>Ю. Барняк [25]</i></p> <p>Зворотна логістика – процес (вид діяльності) переміщення продукту з точки його споживання через ланки ланцюга постачань в точку походження (продажу, виробництва), з ціллю відновлення його цінності або забезпечення правильної утилізації продукту, а також зусилля (діяльність), направлена на недопущення або зниження поворотних потоків.</p>
<p><i>П.А. Терентьев [26]</i></p> <p>Логістика зворотних потоків полягає в управлінні потоками сировини, незавершеного виробництва, упаковки та готової продукції, які ідуть від точок виробництва, розподілу та кінцевого використання назад по ланцюгу постачань з ціллю повернення їм споживчих якостей або знищення при оптимальних витратах.</p>
<p><i>Д. Джонсон, Д.Ф. Вуд, Д.Л. Вордлоу, П.Р. Мерфі мл. [4]</i></p> <p>Зворотна логістика – це широке поняття, що охоплює логістичний менеджмент та діяльність зі зниження та усуненню небезпечних та безпечних втрат товарів та тари. Означає зворотний розподіл, тобто рух товарів та інформації у напрямку, протилежному тому, в якому ведеться нормальна логістична діяльність.</p>
<p><i>К. Лайсонс, М. Джиллінгем [28]</i></p> <p>Зворотна логістика як явище, протилежне прямій логістиці, являє собою процес планування, реалізації та контролю виробничих та ефективних за витратами потоків сировини, запасів незавершеного виробництва, готової продукції та зв'язаної з ними інформації, що переміщуються від точки споживання до точки їх утворення з метою відновлення цінності або правильної утилізації.</p>
<p><i>Дж. Гатторна [29]</i></p> <p>Зворотна логістика – це види діяльності, призначені для недопущення повернення продукції, для скорочення обсягів матеріалів у системі прямого переміщення, щоб менший потік матеріалу йшов і в зворотному напрямку, і для забезпечення повторного використання та повторної переробки матеріалів.</p>

Можливо спостерігати еволюцію поглядів на сутність реверсивної логістики та виділити три підходи до її визначення: *потоківий, ресурсозберігаючий та ціннісний*.

При застосуванні *потоківого підходу* акцент ставиться на напрямку руху матеріального потоку, протилежному звичайному. В даному випадку реверсивна логістика розглядається як управління зворотними потоками товарів та відходів [4; 13; 15-23; 25-27].

Прихильники *ціннісного підходу* розглядають реверсивну логістику як управління цінністю товарно-матеріальних ресурсів, яка змінюється на протязі всього логістичного ланцюга [16; 19; 23-26] та вважають, що зворотна логістика включає потоки сировини, запасів незавершеного виробництва, готової продукції та пов'язаної з ними інформації, що переміщуються з точки споживання до точки їх походження з ціллю відтворення цінності та правильної утилізації [27].

Виділяють *ресурсозберігаючу функцію* зворотної логістики за рахунок повторного використання товарно-матеріальних цінностей автори в роботах [4; 5; 14-16; 18; 22; 25; 27]. В [5; 14; 15] вказується на необхідність скорочення обсягів відходів господарчої діяльності, збереженні вторинних матеріалів в [16; 18], а в [15; 28] – на необхідності скорочення кількості

використаних матеріалів в системі прямого переміщення, а також на необхідності потворного використання [22] та переробки матеріалів.

Виходячи з сутності реверсивної логістики, формується її ціль – забезпечення екологічно та економічно ефективного повторного використання відходів продукції та тари (упаковки) в відтворювальному циклі [20]. В перспективі однією з основних задач реверсивної логістики буде створення замкнутих систем руху матеріального потоку [22] які, з урахуванням їх екологічного ефекту, можна назвати екологічними.

3. Замкнуті логістичні ланцюги – основа реверсивної логістики. Основою логістики є інтеграційна парадигма, що базується на об'єднанні в єдиний логістичний ланцюг всіх виконавців логістичних функцій. Інтеграційна парадигма враховує крім економічних, екологічні питання функціонування логістичних систем. Про необхідність замикання логістичних ланцюгів останнім часом стверджується все частіше. В роботі [29], спираючись на схему логістичного ланцюга, що надається в [30], доповнюють її початковою та кінцевою ланками ланцюга, якими є навколишнє середовище.

Таким чином, логістичні ланцюги (ланцюги поставок) змінюють свою структуру в залежності від етапу розвитку логістики та логістичних систем. На етапі розвитку *класичної логістики* в межах мікрологістичних систем створювались прямі логістичні ланцюги, які з розвитком логістики та переходом до етапу інтегрованої логістики подовжувались та перетворились на розширені логістичні ланцюги, що функціонують в межах мезологістичних систем. На наступному етапі – глобальної логістики, якій відповідають макрологістичні системи, створились максимальні логістичні ланцюги.

Перелічені види логістичних ланцюгів слабо або зовсім не враховували екологічні аспекти логістичної діяльності. Тому виникла потреба переходу до нового етапу розвитку логістики – еколого-орієнтованої або екологічної логістики. Відбулися відповідні зміни і у структурі логістичних ланцюгів – виникли повні логістичні ланцюги, які мають замкнутий характер. Їх також можна назвати замкнутими або екологічними ланцюгами (табл. 2).

Таблиця 2. Еволюція логістичних систем та логістичних ланцюгів

Етап розвитку логістики	Тип логістичної системи	Вид логістичного ланцюга
Класична логістика	Мікрологістична система	Прямий логістичний ланцюг
Неокласична (інтегрована) логістика	Мезологістична система	Розширений логістичний ланцюг
Сучасна (глобальна) логістика	Макрологістична система	Максимальний логістичний ланцюг
Екологістика (логістика майбутнього)	Екологістична система	Замкнутий логістичний ланцюг

Розподілення логістичних ланцюгів (ланцюгів поставок) на прямий, розширений та максимальний здійснюється в залежності від кількості ланок ланцюгу. Прямий ланцюг складається з фокусної компанії та постачальників й споживачів першого рівня, розширений ланцюг додатково включає постачальників та споживачів другого рівня, а максимальний ланцюг включає всіх контрагентів – від постачальників початкових ресурсів, всіх посередників, до кінцевих індивідуальних споживачів товарів (послуг).

Замкнутий логістичний ланцюг включає всі ланки повного ланцюга та подовжується до елементів, що безпосередньо контактують з навколишнім середовищем (природою). В замкнутому логістичному ланцюгу рухаються матеріальні потоки в двох напрямках – прямому та зворотному (рис. 4) [31].

Зворотні потоки є джерелом вторинних матеріальних ресурсів. До зворотних потоків можуть належати сировина, запаси незавершеного виробництва, тобто різноманітні вихідні продукти, що закуплені або вироблені для виробничого або особистого споживання, які направляються в точку їх походження для відновлення цінності або правильної утилізації [27]. Це можуть бути вироби, що втратили товарну цінність, товарний вигляд, які служать матеріальними ресурсами організацій по переробці, тобто вторинні ресурси.



Рис. 4. Замкнутий логістичний ланцюг

Сьогодні існують різноманітні класифікації зворотних потоків. Класифікуються зворотні потоки за джерелом виникнення та процесами управління [32]. Досліджуються класифікації та моделі зворотної логістики та пропонує класифікацію зворотних потоків за критеріями якості, розміщення та часом утворення [33]. Поділяють зворотний матеріальний потік за ознаками: тип повернення та місце виникнення точки повернення в ланцюгу постачань [16]. Досліджують сутність та надають класифікацію зворотних та поворотних матеріальних потоків, поділяють реверсивну логістику на: логістику зворотних потоків та логістику поворотних потоків [34]. Дані класифікації мають ряд недоліків, оскільки зворотні потоки мають значно більшу кількість характеристик, за якими можна їх класифікувати, ніж прямі матеріальні потоки.

Необхідно відмітити, що між зворотними та поворотними потоками існує різниця, яка виражається в природі їх виникнення та цільовому призначенні. У складі зворотних потоків крім поворотних виділяють ще матеріальні потоки відходів, що підлягають рециклінгу або утилізації.

Відходи зберігають свою первісну матеріальну субстанцію та певну частину своєї залишкової цінності. Необхідність оптимізації роботи з відходами, які мають потенціал вторинних матеріальних ресурсів, призвела до виникнення концепції інтегрованого управління відходами, основні принципи якої полягають у:

скороченні джерел відходів (скороченні непотрібних викидів до того, як вони попадають в потік відходів);

доцільній переробці (поверненні продукту в виробничий ланцюг);

вилученні максимально можливої користі від ресурсів (спалюванні відходів для отримання енергії);

безпечному захоронення відходів, які не можуть бути застосовані при сучасному рівні науково-технічного розвитку [35].

Отже, відходи можуть та повинні розглядатись як вихідні матеріальні ресурси з певною залишковою цінністю, що дозволяє використовувати їх в подальшій діяльності у вигляді сировини та матеріалів та формувати зворотний логістичний потік вторинних матеріальних ресурсів. В свою чергу, корисне використання вторинних матеріальних ресурсів дозволить не тільки підвищити економічну ефективність господарчої діяльності за рахунок використання менш дорогої, ніж первинна, сировини, але й значно зменшити екодеструктивний вплив на довкілля за рахунок зменшення викидів у природне середовище відходів та видобутку первинної природної сировини.

Висновки. Досягти гармонійного економічного та соціального розвитку суспільства у безпечному середовищі можливо лише при неодмінному дотриманні паритету економічних, соціальних та екологічних цінностей. Сталий розвиток обумовлює необхідність трансформації господарської діяльності людини з ворожої до дружньої до довкілля. Логістика, як вид господарчої діяльності, повинна буди екологічно безпечною, її наслідки не повинні негативно впливати на сучасний та майбутній стан навколишнього середовища.

Еволюція розвитку логістики показує зміну поглядів на логістику з чисто економічного на збалансований, що враховує також і екологічні аспекти. Екологістика повинна розглядати питання екологізації в контексті своєї діяльності, що можливо завдяки застосуванню еколого-орієнтованих напрямків логістики. Одним з таких напрямків є реверсивна логістика, яка зосереджується на створенні та організації руху зворотних матеріальних потоків, до складу яких входять відходи виробництва, які можуть застосовуватись як вторинні матеріальні ресурси. Організація зворотних матеріальних потоків дозволяє створювати замкнуті логістичні ланцюги, початковим та кінцевим елементом яких є природа, та враховувати вплив логістичної діяльності на довкілля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мішенін Є.В., Коблянська І.І., Устік Т.В., Ярова І.С. Екологорієнтоване логістичне управління виробництвом : монографія / за наук. ред. д.е.н., проф. Є.В. Мішеніна. Суми : ТОВ «Друкарський дім «Папірус», 2013. 248 с.
2. Бауерокс Д.Д., Клосс. Логистика : интегрированная цепь поставок. М. : ЗАО «Олимп-Бизнес», 2001. 640 с.
3. Цветков А.И. Управление цепями поставок с учетом экологического фактора (на примере использования автомобильного транспорта) : дисс. ... канд. экон. наук. : 08.00.05. М., 2010. 138 с.
4. Джонсон Дж.С., Вуд Д. Ф., Вордлоу Д.Л., Мерфи-мл П.Р. Современная логистика (пер. с англ., 7-е изд.). М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. 624 с.
5. Stock J.R. Reverse Logistics. Council of Logistics Management, Oak Brook, IL, 1992.
6. Руденко С.В., Ковтун Т.А. Екологізація логістики як напрямок реалізації концепції сталого розвитку. Проектний та логістичний менеджмент : нові знання на базі двох методологій. Том 3 : монографія / авт. кол. С.В. Руденко, І.О. Лапкіна та ін. Одеса : КУПРУЄНКО СВ, 2020. С. 7–24.
7. McKinnon A.C. A Short History of Green Logistics Research in the UK. URL: <http://www.sml.hw.ac.uk/logistics> (дата звернення 15.09.2020)
8. Nathan S. Environmental impacts of Just-in-Time: Effects of Altered Supplier Transportation. An Independent Study, 2007. 30 p.
9. Rodrigue J-P., Slack B., Comtois C. Green logistics (the paradoxes of). The handbook of logistics and supply chain management. Brewer A.M., Button K.J., Hensher D.A. London : Pergamon, 2001. P. 339–350.
10. Альбеков А.У. Логистика в управлении коммерческим оборотом вторичных ресурсов : монография. СПб. : Изд-во СПбГУЭФ, 1998. 124 с.
11. Букринская Э., Мясникова Л. Логистическое обеспечение рециклинга ТБО в мегаполисе. *Ресурсы. Информация. Снабжение. Конкуренция*, 2006. № 4. С. 38–45.
12. Абрамова Т.С., Кускова Е.С., Карпова Н.П. Экологические направления развития логистики. *Проблемы экономики и менеджмента*, 2014. № 6(34). С. 21–23.
13. Giuntini R, Andel T. Advance with Reverse Logistics. Part 1. *Transportation & Distribution*, Cleveland, 1995. Vol. 36. No 2 (Feb). P. 73–75.
14. Kroon L., Vrijens G. Returnable containers : an example of Reverse Logistics, 1995.
15. Carter C. R., Ellram L. M. Reverse Logistics : A review of the literature and framework for future investigation. *Journal of Business Logistics*, 1998. Vol. 19. No 1. С. 85–102.
16. Rogers D. S., Tibben-Lembke R. S. Going backwards : Reverse Logistics trends and practices. *Reverse Logistics Executive Council*. Pittsburgh, P. A. 1999.
17. Dowlatshahi S. Developing a theory of Reverse Logistics. *Interfaces*, 2000. Vol. 30. No 3. May – June. P. 143–155.

18. Fleischman M., Krikke H. R., Dekker R., Flapper S.D.P. A characterization of logistics networks for product recovery. *Omega, The International Journal of Management Science*, 2000. Vol. 28. No 6. P. 653–666.
19. Зуева О. Н. Реверсивная логистика в управлении запасами. *Известия ИГЭА*, 2009. № 1 (63). С. 107–111.
20. Букринская Э. М. Реверсивная логистика : учебное пособие. СПб. : Изд-во СПбГУЭФ, 2010. 79 с.
21. Лазарев В. А. Методология управления устойчивостью предприятия : логистическая концепция : монография. М-во образования и науки РФ, Урал. гос. экон. ун-т. Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2011. 239 с.
22. Шахназарян С. А. Генезис понятия «реверсивная логистика». *Вестник Югорского государственного университета*, 2015. №4 (39). С. 27–35.
23. Reverse Logistics with E-commerce Strategy. URL: <http://ru.scribd.com/doc/39043073/Reverse-Logistics-with-E-commerce-Strategy> (дата звернення 14.08.2020)
24. Reverse Logistics Digital Magazine. Edition 58, P. 47.
25. Барняк Ю. Возвратная логистика : новый центр прибыли URL: <http://www.lobanov-logist.ru/index.php?newsid=5145> (дата звернення 14.08.2020)
26. Терентьев П. А. Классификация и модели логистики возвратных потоков. *Логистика сегодня*, 2010. № 4 (40). С. 242–251.
27. Лайсонс К., Джиллингем М. Управление закупочной деятельностью и цепью поставок. Пер. с 6-го англ. изд. М., 2005.
28. Управление цепями поставок : справ. изд-ва «Gower» / под ред. Дж. Гатторны ; ред. Р. Огулин, М. Рейнольдс ; пер с 5-го англ. изд. М. : ИНФРА-М, 2008.
29. Григорьев М. Н., Долгов А. П., Уваров С.А. Логистика. Продвинутый курс. В 2 т. Т.1 : учебник, 4-е изд., перераб. и доп. М. : Издательство Юрайт, 2015. 472 с.
30. Дыбская В. В., Зайцев Е. И., Сергеев В. И., Стерлигова А. Н. Логистика. Интеграция и оптимизация логистических бизнес-процессов в цепях поставок : учеб. для МВА. М. : Эксмо, 2014. 940 с.
31. Kovtun T., Smrkovska V. Modeling of ecologically-oriented closed logistics chains. *Intelligent computer-integrated information technology in project and program management* : Collective monograph edited by I. Linde, I. Chumachenko, V. Timofeyev. Riga : ISMA, 2020. С. 79-93.
32. Зуева О. Н. Реверсивная логистика в управлении запасами. *Известия ИГЭА*, 2009. № 1(63). С. 107–111.
33. Терентьев П. А. Классификация и модели возвратных потоков. *Логистика сегодня*, 2010. № 4(40). С. 242–251.
34. Лазарев В. А., Кулькова И. А. Реверсивная логистика – логистика возвратных и обратных потоков. *Upravlenets*, 2014. № 5(51). С. 48–51.
35. Алимусаев Г. М. Логистическая поддержка хозяйствования в условиях риска, экономических санкций и неопределенности среды. *РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция*. 2014. №4. С. 13–16.

REFERENCES

1. Mishenin E.V., Koblyanska I.I., Ustik T.V., Yarova I.E. (2013). *Ekologorientovane logistichne upravlinnya virobnitstvom [Eco-oriented logistics production management]* : monografiya / za nauk. red. d.e.n., prof. E.V. Mishenina. Sumi : TOV «Drukarskiy dim «Papyrus». 248 s. [in Ukraine].
2. Baueroks D.D., Kloss. (2001). *Logistika : integrirovannaya tsep postavok. [Logistics: integrated supply chain]*. М. : ЗАО «Olimp-Biznes». 640 s. [in Russian].
3. Tsvetkov A.I. (2005). *Upravlenie tsepyami postavok s uchetom ekologicheskogo faktora (na primere ispolzovaniya avtomobilnogo transporta) [Supply chain management taking into account the environmental factor (on the example of the use of road transport)]*: diss. ... kand. ekon. nauk. : 08.00.05. М. 138 s. [in Russian].
4. Dzhonson Dzh.S., Vud D. F., Vordlou D.L., Merfi-ml P.R. (2005). *Sovremennaya logistika. [Modern logistics]*. (per. s angl., 7-e izd.). М. : Izdatelskiy dom «Vilyams». 624 s. [in Russian].
5. Stock J.R. *Reverse Logistics*. (1992). Council of Logistics, Oak Brook, IL. [in English].
6. Rudenko S.V., Kovtun T.A. (2020). *Ekologizatsiya logistiki yak napryamok realizatsiyi kontseptsiyi stalogo rozvitku. [Greening of logistics as a direction of realization of the concept of sustainable development]*. *Proektniy ta logistichniy menedzhment : novi znannya na bazi dvoh metodologiy*. Tom 3 : monografiya / avt. kol. S.V. Rudenko, I.O. Lapkina ta in. Odesa : KUPRUENKO SV. S. 7–24. [in Ukraine].
7. McKinnon A.C. *A Short History of Green Logistics Research in the UK*. URL: <http://www.sml.hw.ac.uk/logistics> (data zvernennya 15.09.2020) [in English].
8. Nathan S. (2007). *Environmental impacts of Just-in-Time: Effects of Altered Supplier Transportation. An Independent Study*. 30 p. [in English].
9. Rodrigue J-P., Slack B., Comtois C. (2001). *Green logistics (the paradoxes of).The handbook of logistics and supply chain management*. Brewer A.M., Button K.J., Hensher D.A. London : Pergamon. P. 339–350. [in English].
10. Albekov A.U. (1998). *Logistika v upravlenii kommercheskim oborotom vtorichnykh resursov : monografiya. [Logistics in the management of commercial turnover of secondary resources]*. SPb. : Izd-vo SPbGUEF. 124 s. [in Russian].
11. Bukrinskaya E., Myasnikova L. (2006). *Logisticheskoe obespechenie retsiklinga TBO v megapolise. [Logistics support for recycling solid waste in a metropolis]*. *Resursyi. Informatsiya. Snabzhenie. Konkurentsya*. № 4. S. 38–45. [in Russian].

12. Abramova T.S., Kuskova E.S., Karpova N.P. (2014). *Ekologicheskie napravleniya razvitiya logistiki*. [Environmental directions of logistics development]. *Problemy ekonomiki i menedzhmenta*. № 6(34). S. 21–23. [in Russian].
13. Giuntini R, Andel T. (1995). *Advance with Reverse Logistics. Part 1. Transportation & Distribution*, Cleveland. Vol. 36. № 2 (Feb). P. 73–75. [in English].
14. Kroon L., Vrijens G. (1995). *Returnable containers : an example of Reverse Logistics*. [in English].
15. Carter C. R., Ellram L. M. (1998). *Reverse Logistics : A review of the literature and framework for future investigation*. *Journal of Business Logistics*. Vol. 19. № 1. S. 85–102. [in English].
16. Rogers D. S., Tibben-Lembke R. S. (1999). *Going backwards : Reverse Logistics trends and practices*. *Reverse Logistics Executive Council*. Pittsburgh, P. A. [in English].
17. Dowlatshahi S. (2000). *Developing a theory of Reverse Logistics*. *Interfaces*. Vol. 30. No 3. May – June. R. 143–155. [in English].
18. Fleischman M., Krikke H.R., Dekker R., Flapper S.D.P. (2000). *A characterization of logistics networks for product recovery*. *Omega, The International Journal of Management Science*. Vol. 28. No 6. R. 653–666. [in English].
19. Zueva O. N. (2009). *Reversivnaya logistika v upravlenii zapasami*. [Reverse logistics in inventory management]. *Izvestiya IGEA*. # 1 (63). S. 107–111. [in Russian].
20. Bukrinskaya E. M. (2010). *Reversivnaya logistika [Reverse logistics] : uchebnoe posobie*. SPb. : Izd-vo SPbGUEF. 79 s. [in Russian].
21. Lazarev V. A. (2011). *Metodologiya upravleniya ustoychivostyu predpriyatiya : logisticheskaya kontseptsiya [Enterprise Sustainability Management Methodology : Logistic Concept] : monografiya. M-vo obrazovaniya i nauki RF, Ural. gos. ekon. un-t. Ekaterinburg : Izd-vo Ural. gos. ekon. un-ta. 239 s.* [in Russian].
22. Shahnazaryan S.A. (2015). *Genezis ponyatiya «reversivnaya logistika»*. [Genesis of the concept of "reverse logistics"]. *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*. №4 (39). S. 27–35. [in Russian].
23. *Reverse Logistics with E-commerce Strategy*. URL: <http://ru.scribd.com/doc/39043073/Reverse-Logistics-with-E-commerce-Strategy> (data zvernennya 14.08.2020) [in English].
24. *Reverse Logistics Digital Magazine*. Edition 58, R. 47. [in English].
25. Barnyak Yu. *Vozvratnaya logistika : noviy tsentr pribyli*. [Reverse logistics: new profit center]. URL: <http://www.lobanov-logist.ru/index.php?newsid=5145> (data zvernennya 14.08.2020) [in Russian].
26. Terentev P. A. (2010). *Klassifikatsiya i modeli logistiki vozvratnykh potokov*. [Classification and models of logistics of , reverse flows]. *Logistika segodnya*. # 4 (40). S. 242–251. [in Russian].
27. Laysons K., Dzhillingem M. (2005). *Upravlenie zakupochnoy deyatel'nostyu i tsepyu postavok*. [Procurement and supply chain management]. per. s 6-go angl. izd. M. [in English].
28. *Upravlenie tsepyami postavok [Supply chain management] : sprav. izd-va «Gower» / pod red. Dzh. Gattornyi ; red. R. Ogulin, M. Reynolds ; per s 5-go angl. izd. (2008). M. : INFRA-M.* [in Russian].
29. Grigorev M.N., Dolgov A.P., Uvarov S.A. (2015). *Logistika [Logistics.]*. *Prodvinutyiy kurs. V 2 t. T.1 : uchebnik, 4-e izd., pererab. i dop. M. : Izdatelstvo Yurayt. 472 s.* [in Russian].
30. Dyibskaya V.V., Zaytsev E.I., Sergeev V.I., Sterligova A.N. (2014). *Logistika. Integratsiya i optimizatsiya logisticheskikh biznes-protsesov v tsepyakh postavok [Logistics. Integration and optimization of logistics business processes in supply chains]; ucheb. dlya MVA. M. : Eksmo. 940 s.* [in Russian].
31. Kovtun T., Smrkovska V. (2020). *Modeling of ecologically-oriented closed logistics chains. Intelligent computer-integrated information technology in project and program management: Collective monograph edited by I. Linde, I. Chumachenko, V. Timofeyev. Riga : ISMA. C. 79-93.* [in English].
32. Zueva O.N. (2009). *Reversivnaya logistika v upravlenii zapasami*. [Reverse logistics in inventory management]. *Izvestiya IGEA*. № 1(63). S. 107–111. [in Russian].
33. Terentev P.A. (2010). *Klassifikatsii i modeli vozvratnykh potokov*. [Reverse flow classifications and models]. *Logistika segodnya*. № 4(40). S. 242–251. [in Russian].
34. Lazarev V.A., Kulkova I.A. (2014). *Reversivnaya logistika – logistika vozvratnykh i obratnykh potokov*. [Reverse logistics - logistics of return and return flows]. *Upravlenets*. № 5(51). S. 48–51. [in Russian].
35. Alimusaev G.M. (2014). *Logisticheskaya podderzhka hozyaystvovaniya v usloviyah riska, ekonomicheskikh sanktsiy i neopredelennosti sredy*. [Logistic support of business in conditions of risk, economic sanctions and environmental uncertainty]. *RISK: Resursyi, Informatsiya, Snabzhenie, Konkurentsiya*. №4. S. 13–16. [in Russian].

Татьяна Ковтун, к.т.н.
(доцент, кафедра «Управление логистическими системами и проектами», Одесский национальный морской университет)

Виктория Смрковская, к.т.н.
(доцент, кафедра «Управление логистическими системами и проектами», Одесский национальный морской университет)

Дмитрий Ковтун, магистр
(логист, компания «EwalsCargo», Польша)

РЕВЕРСИВНАЯ ЛОГИСТИКА КАК ИНСТРУМЕНТ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

В статье рассматриваются вопросы эколого-ориентированного управления в логистике на основе концепции устойчивого развития путем внедрения экологических направлений логистики. Определяются сущность, задачи и место реверсивной логистики в иерархии эколого-ориентированных направлений логистики. Рассматриваются замкнутые логистические цепи как основа реверсивной логистики, определяется состав потоков, которые их формируют.

Ключевые слова: *экологистика, реверсивная логистика, замкнутая логистическая цепь, обратный материальный поток.*

Tetiana Kovtun, Ph.D. in Technical Sciences
(Associate Professor, Department of Logistics Systems and Projects Management, Odessa National Maritime University)

Victoria Smrkovskaya, Ph.D. in Technical Sciences
(Associate Professor, Department of Logistics Systems and Projects Management, Odessa National Maritime University)

Dmytro Kovtun, master
(logistician, "EwalsCargo" company, Poland)

REVERSE LOGISTICS AS A TOOL FOR ECOLOGIZATION OF THE ECONOMY BASED ON THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT CONCEPT

The article discusses the issues of environmental management in logistics based on the concept of sustainable development through the introduction of environmental logistics. The problem of human survival in conditions of limited natural resources against the background of the deterioration of the natural conditions of human existence has led to the creation of the concept of sustainable development, which requires taking into account environmental and social factors in all spheres of human life. Logistics as a field of practice makes a negative contribution to the state of the environment. Highlighted the contour of ecological logistics in the framework of the concept of sustainable development. On the basis of the basic rules of logistics, the rules of ecology were formed, which reflect the need for ecologization of logistics. The evolution of the development of ecology is investigated, the features of the ecologization of logistics at each stage of the development of logistics are highlighted. Ecology has been actively developing in recent years and has several promising research areas, one of which is reverse logistics, which focuses on managing the reverse flows of material resources. The essence, tasks and place of reverse logistics in the hierarchy of environmentally oriented directions have been determined. The evolution of logistics chains corresponding to the stages of logistics development has been investigated. Closed logistic chains as the basis of reverse logistics are considered, the composition of the flows forming them is determined.

Key words: *ecologistics, reverse logistics, closed logistic chain, reverse material flow.*

УДК 656.2

*Прохорченко Андрій, д.т.н.
(професор кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту),
Кравченко Михайло,
(аспірант кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту),
Гурін Дмитро,
(аспірант кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ ЗА РОЗКЛАДОМ РУХУ НА МАКРОПОКАЗНИКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

У статті досліджено вплив технології перевезень вантажів на особливих умовах за розкладом руху маршрутних поїздів на кількісні та якісні показники експлуатаційної роботи залізничної системи України. Проведені розрахунки складових обороту вантажного вагона. Виконано моделювання за аналітичним підходом зміни обороту вантажного вагона при збільшенні долі перевезень вантажів за договорами на особливих умовах. Виявлений вплив технології перевезень за розкладом руху на скорочення найбільш значного елемента в обороті вагона – простою вагона під вантажними операціями.

***Ключові слова:** залізниця, експлуатаційна робота, розклад руху маршрутних поїздів, оборот вантажного вагона.*

Вступ. В умовах розвитку автошляхів, технічного вдосконалення автомобільного та річкового транспорту останніми роками залізничний транспорт України втрачає свої конкурентні позиції на ринку вантажних перевезень. Одним із напрямів підвищення ефективності роботи залізничного транспорту, і як наслідок, зменшення собівартості перевезень є впровадження технологій перевезень на основі підвищення точності руху поїздопотоків. Залізнична система України належить до залізниць зі змішаним рухом пасажирських і вантажних поїздів з дотриманням розкладу руху тільки пасажирських поїздів. Вантажний рух, що значно переважає в системі, здійснюється без дотримання розкладу руху. По суті, реалізується так звана модель «відправлення за готовністю». Така технологія призводить до значної невизначеності перевізного процесу, що веде до збільшення перевізних ресурсів та неможливості прогнозування термінів доставки вантажів, що негативно впливає на рівень конкурентоспроможності залізничної логістики. У 2019 році для зменшення дефіциту локомотивів та збільшення доходів на залізниці України вперше масово запровадили перевезення вантажів за договорами на особливих умовах – за розкладом руху маршрутних поїздів (РРМП). Реалізація перевезень за РРМП співпала з піковим періодом перевезень, що спричинило дискусії щодо впливу перевезень за РРМП на затори, що виникли в мережі. Крім того, Антимонопольний комітет України надав рекомендації для АТ «Укрзалізниця» від 28 травня 2020 р. № 26-рк щодо вжиття

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-19

Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології», 2020. Вип. 36

заходів, спрямованих на забезпечення рівних умов надання послуг з перевезення вантажів залізничним транспортом під час запровадження перевезень вантажів на особливих умовах – за розкладом руху маршрутних поїздів, які можуть призвести до ущемлення інтересів інших суб'єктів господарювання [1]. Дані рекомендації поставили під сумнів ефективність технології перевезень за розкладом, однак достатні теоретичні обґрунтування впливу зміни технології перевезень на експлуатаційні показники залізничної системи України відсутні. Враховуючи, що рух поїздів за РРМП є прототипом реалізації відкритого доступу до залізничної інфраструктури (процедури продажу нитки графіка), що передбачено Угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом [2] актуальним є проведення наукових досліджень спрямованих на вивчення впливу технології перевезень вантажів за розкладом руху на макропоказники залізничної системи України, зокрема на поширення затримок в мережі.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Запровадження АТ “Укрзалізниця” перевезень вантажів за розкладом руху маршрутних поїздів відповідає концепції “точної залізниці” (англ., Precision Scheduled Railroading), яку впроваджують залізниці провідних країн світу, що схожі за українськими технологіями, зокрема Канади та США [3]. Трансформація операційної моделі вантажних залізниць Північної Америки ґрунтувалась на дослідженнях впливу підвищення точності планування на експлуатаційні та економічні показники залізничної системи. Одним із таких досліджень є робота [4], що присвячена вивченню взаємозв'язку між пропускною спроможністю лінії, гнучкості розкладу руху, рівнем обслуговування та часткою гнучких та регулярних поїздів, що курсують на залізничній лінії. Результати моделювання за допомогою спеціального програмного забезпечення дозволяють припустити, що введення більш структурованих графіків руху великих вантажних поїздів є ефективною альтернативою інвестиціям у додаткову інфраструктуру другої головної колії на одноколійній лінії, щоб отримати достатню пропускну спроможність для збільшення регулярного інтермодального руху на традиційних вантажних коридорах для масових вантажів.

У 2019 році вперше в історії залізниць України на мережі з листопада 2019 року щомісяця відправлялось від 450 до 550 ниток вантажних поїздів за РРМП. Крім того, в мережі зростає кількість контейнерних поїздів, що традиційно слідує за заздалегідь розробленими розкладами. Подібної практики масового запровадження більш надійних, швидких та точних перевезень вантажів в Україні не було. Однак, запровадження поодиноких спеціалізованих розкладів руху для технологічних маршрутів є усталеною практикою для залізниці України. Це спонукало проводити дослідження ефективності таких перевезень. В роботі [5] приділяється увага вивченню затримок поїздів по маршруту їх слідування за розкладом. За допомогою методів математичної статистики встановлені резерви часу які необхідно закладати в маршрут прямування вантажних поїздів, які слідує за розкладом. Отримані результати можуть бути використані для техніко-економічних розрахунків ефективності переходу промислових підприємств на обслуговування їх за розкладом, але все ж не можуть оцінити вплив таких поїздів на загальні експлуатаційні показники мережі. Дослідження [6] висвітлює питання організації роботи сортувальної станції в умовах дотримання розкладу відправлення вантажних поїздів. В результаті проведених досліджень умов роботи сортувальних станцій при відправленні поїздів за розкладом з використанням гнучких норм маси і довжини складів, встановлено, що гнучке управління поїздоутворенням дозволить скоротити міжопераційні простої, в тому числі простої составів в очікуванні відправлення на 60-80 %. Дане дослідження підтверджує ефективність використання розкладів руху, але ефективність доведена лише для підсистеми “станція-дільниця”. В роботі [7], що присвячена організації передавальних поїздів в розгалужених залізничних вузлах, експериментально проведено порівняння ефективності різних моделей організації передавальних поїздів: за «жорстким графіком», за накопиченням до норми составів та змішаного підходу за «гнучкою моделлю», яка поєднує відправлення за накопиченням до норми состава і «жорстким графіком» одночасно. Організація передавальних поїздів за «жорстким графіком» потребує організації додаткових поїздів, інакше суттєво зростає черга із вагонів у пунктах накопичення. При збільшенні добової кількості поїздів на 10–11 % процес формування та

відправлення стає достатньо надійним та ефективним. Отже, з отриманих результатів випливає, що підвищення точності руху поїздів може призводити до їх збільшення. Дана проблема обговорюється в роботі [3], однак для уникнення негативних наслідків пропонується використовувати спеціальні програмні продукти для інтегрованого планування составоутворення, що передбачають розрахунок раціонального часу та кількості вагонів навантаження згідно плану забирання вагонів та формування з них составів за нормою довжини і маси. Слід зазначити, що дана проблема більш характерна для вагонних відправок, і нівелюється при організації навантаження маршрутних відправок за чітко визначеними термінами (наприклад, за 24 години) до планового часу відправлення за розробленою ниткою графіка.

Одним із показників, який комплексно дозволяє оцінити вплив зміни операційних умов функціонування на ефективність перевізного процесу в залізничній системі, є якісний показник – середній оборот вантажного вагона [8]. Підтвердженням цього є дослідження в роботі [9], де зазначено, що якісні показники експлуатаційної роботи характеризують ефективність використання ресурсів і перспективність прийнятих управлінських рішень. Дослідженню обороту вагона присвячено досить багато робіт. В роботі [10] для визначення впливу всіх складових на оборот вагона використовується метод ланцюгових підстановок. Цей спосіб дає змогу визначити вплив окремих факторів на зміну величини результативного показника. Проведені дослідження доводять, що для зменшення обороту вагона необхідно першочергово зменшувати простій рухомого складу на технічних станціях та простій під вантажними операціями. В даному дослідженні не розглядалось для реалізації даних рекомендацій запровадження руху вантажних поїздів за розкладом. В роботах [11, 12] приділена увага обчисленню вагомості впливу якісних показників на продуктивність вагона та продуктивність локомотива. В роботі [13] досліджено вплив якісних показників використання вагонного парку на продуктивність вагона за 1991-2014 роки. Автори зазначають згубний вплив на функціонування залізничної системи збільшення обороту вагона.

Вище наведений аналіз досліджень доводить, що для багатьох залізничних систем світу підвищення точності руху поїздопотоків стало ефективним заходом покращення продуктивності та зменшення перевізних ресурсів. Однак, присутність деякої відмінності залізничної системи України від інших потребує власних досліджень впливу технології перевезень вантажів за розкладом руху на макропоказники залізничної системи. Це дозволить виявити недоліки та переваги. Як зазначено вище, одним із макропоказників залізничної системи, аналіз якого дозволить проаналізувати ефективність підвищення точності перевезень вантажів, є оборот вантажного вагона. Отже, проведення досліджень впливу організації перевезення вантажів за договорами на особливих умовах – за розкладом руху маршрутних поїздів (РРМП) на складові обороту вагона є актуальним.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягає у теоретичному обґрунтуванні впливу технології перевезень вантажів за розкладом руху на макропоказники залізничної системи України. Досягнення поставленої мети здійснено шляхом проведення розрахунків складових обороту вантажного вагона, дослідження показників використання локомотивного парку та моделювання за аналітичним підходом зміни обороту вантажного вагона при збільшенні долі перевезень вантажів за договорами на особливих умовах.

Матеріали та методи дослідження. Одним із якісних показників, який комплексно характеризує операційну роботу залізничної системи, є показник “оборот вантажного вагона”. Для аналізу впливу технології перевезень вантажів за РРМП важливо проаналізувати динаміку зміни складових обороту вагона та виявити залежності. Показник оборот вагона можна розділити на три елементи, які характеризують експлуатаційну роботу залізничної системи:

час, що припадає на знаходження вагона у вантажних поїздах (на перегонах і проміжних станціях);

час, що припадає на знаходження вагона на технічних станціях (сортувальних або дільничних) на шляху руху;

час, що припадає на знаходження вагона на станціях навантаження (вивантаження). Схема обороту вантажного вагона наведена на рис. 1.

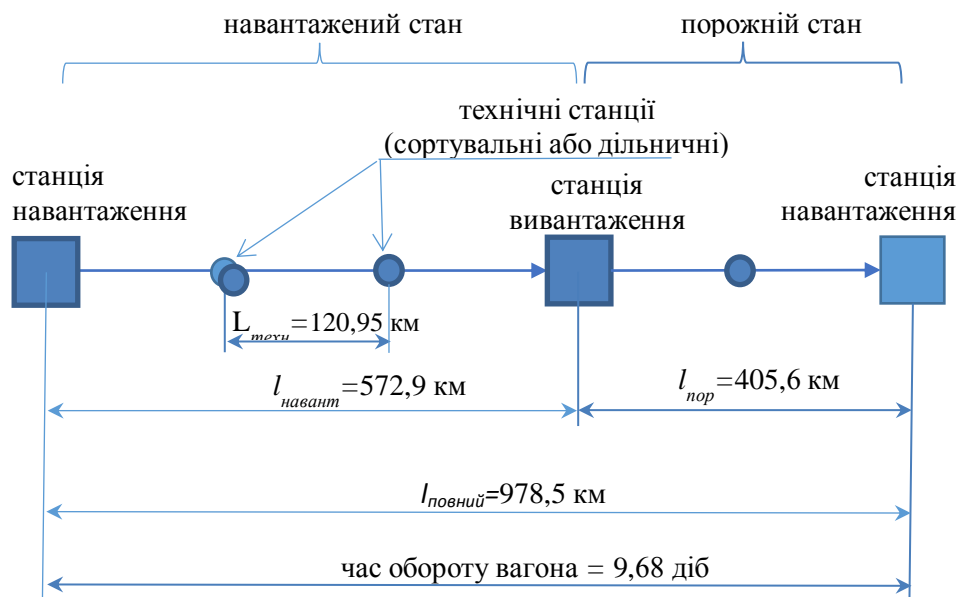


Рис. 1. Схема обороту вантажного вагона за 2019 рік

Формулу розрахунку обороту вагона можна представити в наступному вигляді

$$\mathcal{Q} = \frac{1}{24} \left(\frac{l_{вант}(1 + \alpha)}{V_{\partial}} + k_m \cdot t_{mex} + k_M \cdot t_{зр} \right), \text{ діб} \quad (1)$$

де $l_{вант}$ – вантажний рейс вагона, км; α – процент порожнього пробігу до навантаженого, %; V_{∂} – середня дільнична швидкість, км/год; k_m – середня кількість технічних станцій, що проходить вагон за оборот; t_{mex} – простій вагонів на одній технічній станції, год; k_M – коефіцієнт місцевої роботи; $t_{зр}$ – простій вагонів під однією вантажною операцією, год;

Запропоновано порівняти різні періоди функціонування залізничної системи

показники 2019 року з 2007 рік як передкризовий рік для економіки України в якому обсяги перевезень були одними з найбільших в залізничній мережі України за часів незалежності, з 2011-2018 роками;

показники 1-3 кварталів 2019 року з 4 кварталом цього ж року та груднем 2019 року для можливості деталізованого аналізувати впливу впровадження в системі перевезень за РРМП та впливу на оборот вагона.

Вихідні дані для проведення аналізу та розрахунків представлені у таблиці 1. Дані були зібрані з відкритих джерел та Довідників показників АТ Укрзалізниця, які щорічно публікує компанія.

Із загального аналізу кількісних та якісних показників від 2007 та періоду 2011–2018 років, що передують 2019 року, простежується стабільний тренд зниження кількісних показників в залізничній системі України, зокрема – робота вагонного парку в середньому на добу U (сума навантаження й приймання навантажених вагонів), зі змінним коливаннями за загальним трендом зростання обороту вагона \mathcal{Q} та простою на технічних станціях t_{mex} (див.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

рис. 2). Слід враховувати, що репрезентативним періодом, який характеризує однакові умови функціонування залізничної системи у порівнянні з 2019 роком є 2015-2018 роки. Втрата частини мережі та зміна просторового направлення вагонопотоків. У 2019 робота вагонного парка знизилась порівняно з 2015 роком на 11,2 % або на 1667 вагонів, а з 2018 – на 3,7% або на 510 вагонів.

Таблиця 1. Експлуатаційні показники для визначення елементів обороту вагона

Період	2.7.Обіг вантажного вагона	2.16. Вантажний рейс вагона (км)	2.15. Процент порожнього пробігу до навантаженого %	3.1. Середня дільнична швидкість (км/год)	3.2. Середня технічна швидкість (км/год)	2.13. Простій вагонів на одній технічній станції	2.12. Простій вагонів під однією вантажною операцією	2.1. Навантаження вагонів (середн. доб.)	2.4. Вивантаження вагонів (середн. доб.)	2.5. Робота (середн. доб.)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2007	5,84	511,8	0,375	36,1	42,5	7,34	36,91	16812	18640	23010
2011	5,85	521,4	0,66	38,6	44,5	7,53	34,71	16818	16760	20401
2012	6,15	525,9	0,686	38,8	44,8	8,25	35,61	16254	15992	19636
2013	7,55	502,8	0,677	39,7	45,3	8,7	56,73	16119	15447	19165
2014	8,66	533,8	0,668	39,5	45,6	10,11	64,52	13968	13256	16736
2015	9,6	551,3	0,667	38,8	45,3	11,87	65,68	12559	12210	14925
2016	8,74	561,2	0,653	38,6	45,1	10,18	62,63	11125	11037	13878
2017	9,26	559,4	0,677	37,7	45,2	11,41	61,81	11798	11848	14366
2018 рік	10,35	571,4	0,666	35,2	43,3	13,3	66,55	11518	11462	13768
2019 рік	9,68	572,9	0,700	34,2	42,1	14,5	50,57	11207	11444	13258
1-3 квартал 2018	10,2	569,1	0,667	35,6	43,7	13,09	65,56	11472	11382	13736
1-3 квартал 2019	9,44	572,20	0,800	34,5	42,4	14,0	49,57	11207	11394	13309
4 квартал 2018	10,79	578,3	0,662	34,1	42,4	13,95	69,42	11653	11697	13865
4 квартал 2019	10,42	573,5	0,700	33,5	41,4	16,0	53,55	11193	11591	13095
грудень 2018	11,44	601,2	0,675	34,3	42,5	14,17	73,38	11005	11253	13143
грудень 2019	11,41	619,2	0,600	33,3	41,1	16,9	57,15	10245	10789	11820

При незмінних технологіях перевезень і відсутності відновлення основних фондів залізнична система України стабільно зменшувала обсяги перевезень вантажів. В 2019 р. зменшення значно сповільнилось, у порівнянні з 2018 р. робота вагонного парка знизилась лише на 3,7%. Впроваджені у 2019 зміни технології перевезень вантажів – маршрутизація та перевезення за РРМП, політика укрупнення вагонних груп навантаження дозволили значно зменшити оборот вагона – на 6,47% від показника 2018 року. Як наслідок, у 2019 році була виконана майже однакова середньодобова робота вагонного парка у порівнянні з 2018 роком, зменшивши робочий парк на 10% (128 тис. вагонів у порівнянні з 142 тис.вагонів у 2018 р.). Перевезені майже однакові обсяги вантажів меншим парком вагонів.

Для визначення тривалості знаходження вагону за елементами обороту необхідно розрахувати наступні показники: повний рейс вагона; середню кількість технічних станцій, що проходить вагон за оборот; середню кількість технічних станцій, що проходить вагон за вантажний рейс; середню кількість технічних станцій, що проходить вагон за за порожній рейс; коефіцієнт місцевої роботи.



Рис. 2. Динаміка зміни роботи, обігу вагона та простою вагонів на одній технічній станції за період 2007, 2011-2019 рр.

Враховуючи, що після проведених розрахунків вище зазначених показників єдиним параметром у виразі (1) було невідоме k_m , розрахунок якого проведено за зворотнім розв'язком рівняння з одним невідомим. Після визначення середньої кількості технічних станцій, що проходить вагон за оборот, за аналогічним підходом встановлено вагонне плече $L_{техн.}$

Згідно з визначеними показниками за формулою (1) був проведений розрахунок обороту вагона. Складові елементи обороту вагона за 2007 та період 2011-2019 роки наведені на рис. 3.

Стратегія маршрутизації, перевезення за РРМПІ та узгодження строків навантаження і вивантаження значно зменшила простій вагона під вантажними операціями (див. рис. 3). У порівнянні з 2018 роком простій під вантажними операціями зменшився на 22,2% або на 24,7 години у 2019 році, а у відсотковому відношенні від загальної тривалості обороту даний елемент склав вперше за весь історичний період лише 37,2%.

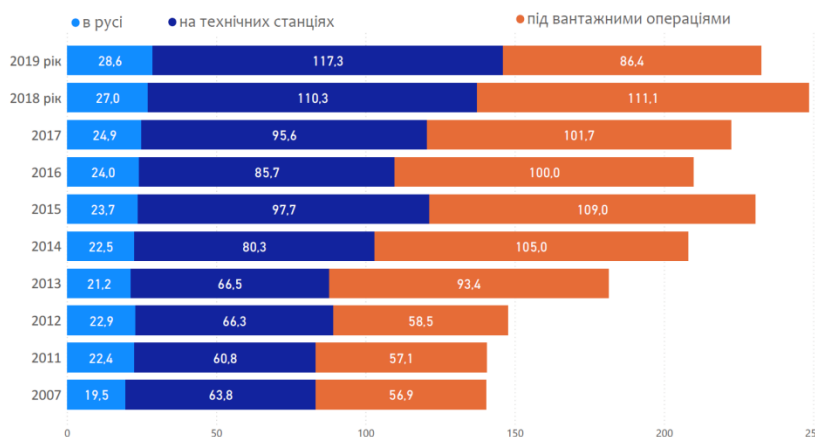


Рис. 3. Складові елементи обороту вагона за 2007 та період 2011 – 2019 рр.

Незначне збільшення у 2019 році тривалості знаходження вагона в русі відповідає основному тренду зростання даного показника з причин погіршення технічного стану інфраструктури та тягового рухомого складу, і стверджувати, що запровадження перевезень за РРМП спричинило збільшення на 1,57 год немає підстав. Якщо деталізовано розкласти елемент знаходження вагона в русі на знаходження на перегонах і проміжних станціях, то збільшення тривалості знаходження на проміжних станціях склало 0,31 години від 2018 року, тоді як у поїздах при русі збільшення склало 1,26 години.

Підтвердженням відсутності впливу, що досліджується, також може бути порівняння тривалості знаходження вагона в русі в 1-3 кварталі 2019 року – 29,4 години з показником 29,3 години у 4 кварталі 2019 року (див. рис. 4-5). Слід зазначити, лише в четвертому кварталі була запроваджена технологія перевезень за РРМП, і згідно з аналізом вплив даної технології на цей елемент відсутній.

Згідно з аналізом зміни коефіцієнта швидкості можна стверджувати, що відношення дільничної до технічної швидкості 0,81 залишилось незмінним у 2019 році в порівнянні з 2018, що може свідчити про відсутність впливу технології перевезень на диспетчеризацію, яка по суті була незмінна протягом двох років. Отже, підтверджені щодо впливу технології перевезень за РРМП на швидкість руху вантажів в мережі не знайдено.

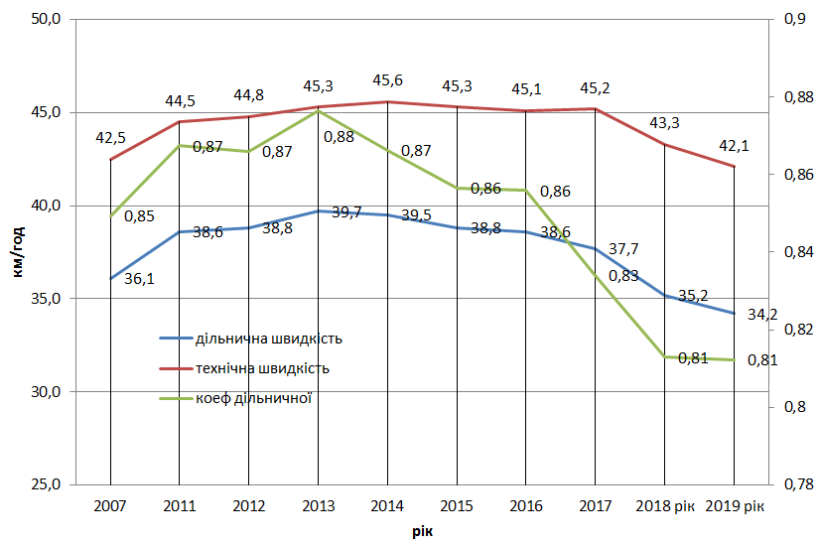


Рис. 4. Динаміка зміни дільничної, технічної швидкості та коефіцієнта швидкості за період 2011 – 2019

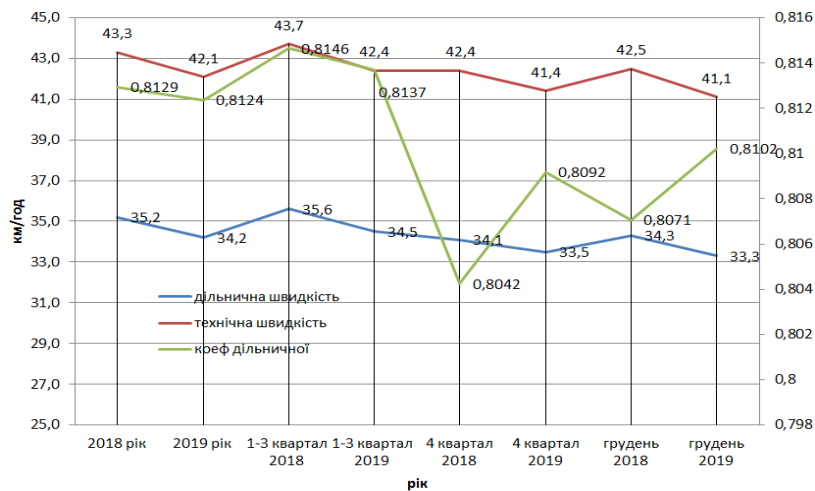


Рис. 5. Динаміка зміни дільничної, технічної швидкості та коефіцієнта швидкості в періодах 2018 та 2019 років

Найбільша частка в загальному обороті припадає на елемент знаходження вагона на технічних станціях – 50,5% або 117,3 годин у 2019 році, що незначно була збільшена порівняно з 2018 лише на 7 %. Даний елемент за період 2015-2019 роки стабільно мав тенденцію до зростання в першу чергу з причини дефіциту локомотивного парку та відсутності дієвої системи управління ним, неефективного плану формування поїздів, що спричиняє значні простої вагонів під накопиченням. Збільшення даного елемента у 2019 році відповідає загальній тенденції. При порівнянні тривалості знаходження вагона на технічних станціях в 1-3 кварталі 2019 року – 113 годин з показником 127,6 години у 4 кварталі 2019 року можна виявити збільшення на 14,6 годин, що пояснюється настанням пікового сезону навантаження та аналогічною тенденцією до збільшення даного показника у 2018 році. Твердження, що збільшення елемента знаходження вагона на технічних станціях у 2019 році, зокрема у 4 кварталі, спричинено запровадженням технології перевезень за РРМП, є значним перебільшенням. Якщо проаналізути послідовно ланцюг подій у 2019 році, то можна виявити, що основною проблемою в експлуатаційній роботі мережі починаючи з червня-вересня 2019 року стали значні збої в ритмічності руху поїздів на регіональній філії “Південно-Західна залізниця” [14], вивантаження вагонів в портах, що послідовно спричинило каскад затримок поїздопотоків, і, як наслідок, збільшення кількості кинутих вантажних поїздів на всій мережі в піковий період перевезень вантажів – жовтень-січень.

Згідно отриманих даних одного із вантажовідправників була побудована діаграма динаміки кількості кинутих вагонів в середньому за добу за регіональними філіями АТ “Укрзалізниця” (див. рис. 6). Аналіз динаміки кинутих вагонів на діаграмі рис. 6 свідчить, що проблеми в русі поїздів до морських портів стали виникати у послідовно у червні-серпні 2019 року. У жовтні 2019 року спостерігається пік кількості затриманих поїздів. Однак, у даному місяці технологія перевезень за РРМП тільки була впроваджена на кінець місяця. Листопад-грудень стали місяцями, що характеризують стабільну реалізацію даної технології.

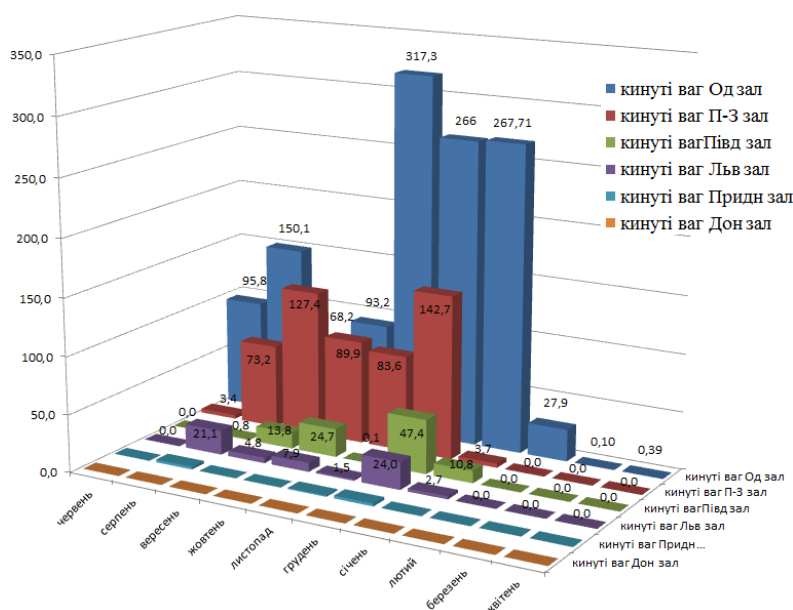


Рис. 6. Динаміка кількості кинутих вагонів вантажовідправника в середньому за добу за регіональними філіями АТ «Укрзалізниця»

Аналіз показників свідчить, що впроваджена технологія перевезень вантажів за РРМП дозволила у 2019 році досягти зменшення в межах навантаженого рейсу кількості технічних станцій з п'яти станцій у 2018 до 4,7 у 2019 році (див. рис. 7).

За загальним показником кількості технічних станцій, що проходить вагон за оборот, також можна стверджувати, що відбулося зниження, але протягом всього досліджуваного періоду

кількість станцій тримається середнього показника - 8. Це свідчить про відсутність значних змін в планах формування вантажних поїздів та реалізації технології перевезень в межах діючих схем обороту локомотивів. Зростання повного рейсу можна пов'язати зі зменшенням обсягів перевезень і, як наслідок, пунктів навантаження стало менше, що спричиняє більший пробіг вагона. Поряд з цим застосування стратегії маршрутизації дозволило збільшити коефіцієнт місцевої роботи та підвищити вагонне плече - середню відстань між технічними станціями, до 120,95 км.

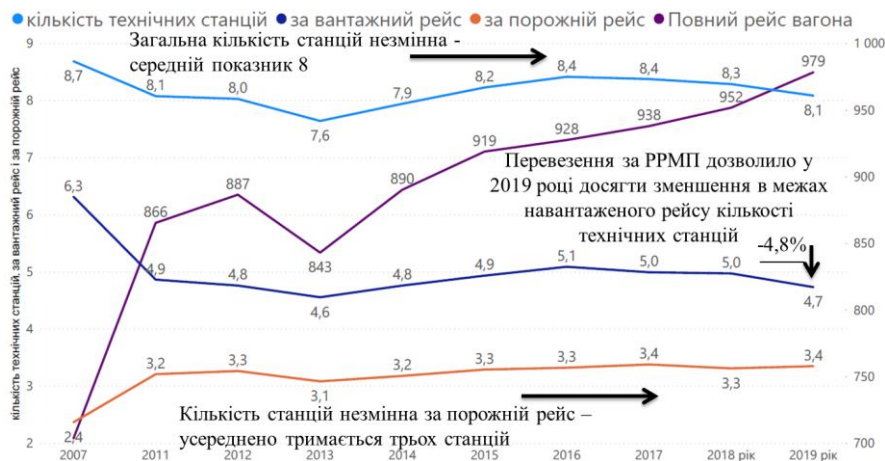


Рис. 7. Динаміка зміни повного рейсу, кількості технічних станцій, що проходить вагон в межах повного рейсу (за вантажний та порожній) за період 2007, 2011-2019 рр.

Для доведення позитивного впливу технології перевезень вантажів за РРМП на макропоказники залізничної системи України, зокрема оборот вантажного вагона, можна провести моделювання за аналітичним підходом впливу збільшення долі в робочому парку вагонів задіяних в технології перевезень за РРМП на загальний оборот.

За елементами обороту вагона можна визначити частки робочого парку вагонів, що знаходились в русі, на технічних станціях та під вантажними операціями

$$n_p = n_{рух} + n_{техн} + n_{вант}, \quad (2)$$

де $n_{рух}$ – середньодобова величина робочого парк, що знаходилась в русі на перегонах і проміжних станціях в поїздах;

$n_{техн}$ – середньодобова величина робочого парк, що знаходилась технічних станціях;

$n_{вант}$ – середньодобова величина робочого парк, що знаходилась під вантажними операціями;

Враховуючи, що найбільш показовим місяцем вже стабільної реалізації технології перевезень вантажів за РРМП є грудень 2019 року, запропоновано провести моделювання збільшення частки вагонів, що були задіяні в перевезенні за РРМП та дослідити вплив на оборот вантажного вагона.

Найбільш проблемним елементом в обороті вагона, де можливий вплив технології перевезень за РРМП є тривалість знаходження вагонів на технічних станціях. Середньодобову величину робочого парк, що знаходилась на технічних станціях можна визначити за виразом

$$n_{mexn} = \frac{t_{mexn}}{24} \sum U_{mex}, \quad (3)$$

де $\sum U_{mex}$ – кількість вагонів, що були відправлені в поїздах зі всіх технічних станцій за добу, ваг. Даний показник можна визначити з використанням вже відомих показників за виразом

$$k_m = \frac{\sum U_{mex}}{U} \quad (4)$$

$$\Downarrow$$

$$\sum U_{mex} = Uk_m \quad (5)$$

За грудень 2019 середньодобова робота складала $U = 11820$ вагонів. Отже, $\sum U_{mex} = 11820 \cdot 8,4 = 99288$ вагонів. Якщо припустити песимістичний сценарій, що перевезення за РРМП не змінювали кількість зупинок на технічних станціях від звичайних наскрізних поїздів (тобто до перевезень за РРМП не застосовувалась схема подовження пліч обороту локомотива для зменшення зупинок для технічних операцій), то кількість технічних станцій можна залишити незмінною. Приймаючи, що за грудень при перевезенні за технологією за РРМП були задіяні 33962 вагони, тобто в середньому на добу $33962/31=1096$ вагонів. Тоді кількість вагонів, що бли відправлені в поїздах за РРМП зі всіх технічних станцій складе $\sum U_{mex}^{ppmn} = 1096 \cdot 8,4 = 9206$ вагонів.

$$t_{mexn} = \frac{t_{mexn}^{звич} \cdot \sum U_{mex}^{звич} + t_{mexn}^{ppmn} \cdot \sum U_{mex}^{ppmn}}{\sum U_{mex}} \quad (6)$$

де $t_{mexn}^{звич}$ – середня тривалість знаходження технічній станції вагона організованого за звичайною технологією перевезень, год;

t_{mexn}^{ppmn} – середня тривалість знаходження технічній станції вагона організованого за РРМП технологією перевезень, год;

$\sum U_{mex}^{звич} = \sum U_{mex} - \sum U_{mex}^{ppmn}$ – кількість відправлених з технічних станцій мережі вагонів робочого парку за добу, що організовані за звичайною технологією перевезень

Простій вагону або тривалість обробки состава на технічних станціях згідно типових норм АТ Укрзалізниця складає 30 хв або 0,5 години, однак простій наскрізних поїздів за РРМП включає очікування запланованої нитки графіка та можливі збої в технології. За таких умов відповідно до статистичних спостережень середню тривалість простою можна прийняти в межах 1,4 години (фактичні дані, що підтверджені статистичним аналізом на одному з маршрутів застосування РРМП показують 0,92 год, що пояснюється закладеним значним резервом у графік руху таких поїздів). Для зменшення помилки, та з причин відсутності точних середніх даних простою на технічних станціях поїздів за РРМП веж краще прийняти завищений показник $t_{mexn}^{ppmn} = 1,4$ год.

Якщо прийняти $t_{mexn}^{ppmn} = 1,4$ год., єдиним невідомим у виразі є $t_{mexn}^{звич}$. Приймемо за долю вагонів, що організовані в перевезенні за РРМП $\gamma_{ppmn} = \frac{9206}{99288} = 0,093$, а робочий парк за

РРМП складе $\sum U_{mex}^{ppmn} = \gamma_{ppmn} \sum U_{mex}$, то парк вагонів на технічній станції вагона

організованого за звичайною технологією перевезень можна визначити за виразом $\sum U_{tex}^{36uc} = (1 - \gamma_{ppmn}) \sum U_{tex}$.

Згідно статистичних даних АТ Укрзалізниця за грудень $t_{texn} = 16,93$ год.

$$\begin{aligned}
 t_{texn} &= \frac{t_{texn}^{36uc} \cdot \sum U_{tex}^{36uc} + t_{texn}^{ppmn} \cdot \sum U_{tex}^{ppmn}}{\sum U_{tex}} \\
 &\Downarrow \\
 t_{texn} \cdot \sum U_{tex} &= t_{texn}^{36uc} \cdot \sum U_{tex}^{36uc} + t_{texn}^{ppmn} \cdot \sum U_{tex}^{ppmn} \\
 &\Downarrow \\
 t_{texn}^{36uc} &= \frac{t_{texn} \cdot \sum U_{tex} - t_{texn}^{ppmn} \cdot \sum U_{tex}^{ppmn}}{\sum U_{tex}^{36uc}} \\
 &\Downarrow \\
 t_{texn}^{36uc} &= \frac{t_{texn} \cdot \sum U_{tex} - t_{texn}^{ppmn} \cdot \gamma_{ppmn} \cdot \sum U_{tex}}{(1 - \gamma_{ppmn}) \sum U_{tex}}. \quad (7)
 \end{aligned}$$

Проведені розрахунки показали, що за грудень значення середньої тривалості знаходження на технічній станції вагона організованого за звичайною технологією перевезень складає $t_{texn}^{36uc} = 18,51$ год.

Отже, якщо у виразі залишити незмінними умови роботи залізничної системи у грудні 2019 року, але залишити змінною долю вагонів, що організовані в перевезенні вантажів за РРМП, то вираз набуде запису

$$t_{texn} = \frac{t_{texn}^{36uc} \cdot (1 - \gamma_{ppmn}) \sum U_{tex} + t_{texn}^{ppmn} \cdot \gamma_{ppmn} \cdot \sum U_{tex}}{\sum U_{tex}}. \quad (8)$$

Підставивши даний вираз у загальну трьохчленну формулу розрахунку обороту вагона (1) можна при незмінних інших показниках знайти залежність зміни долі парку вагонів задіяних в перевезенні за РРМП на загальний оборот вагона в залізничній системі України. Залежність зміни обороту вантажного вагона від долі робочого парку вагонів організованих в перевезеннях за РРМП та знаходяться на технічних станціях наведено на рис. 8.

Аналіз свідчить, що за умови незмінних показників експлуатаційної роботи, крім простою на технічних станціях, що залежить від збільшення долі робочого парку, який залучений в перевезеннях за РРМП оборот вантажного вагона може бути значно зменшеним. При досягненні частки у 0,4 або 40 % вагонів організованих за технологією перевезень РРМП оборот вагона зменшиться на 15,98 % або на 1,82 доби від існуючого показника обороту (грудень 2019 року).

Висновки. Результати аналізу роботи залізничної системи України за 2019 рік та розрахунки доводять, що зі збільшенням долі вагонів робочого парку, що організовані в перевезенні вантажів за РРМП в елементі обороту вагона – простій вагона на технічних станціях, дозволяє значно скоротити загальний оборот вагона. Доведеним є значний позитивний вплив даної технології на скорочення найбільш значного елементу в обороті вагона – простою вагона під вантажними операціями.

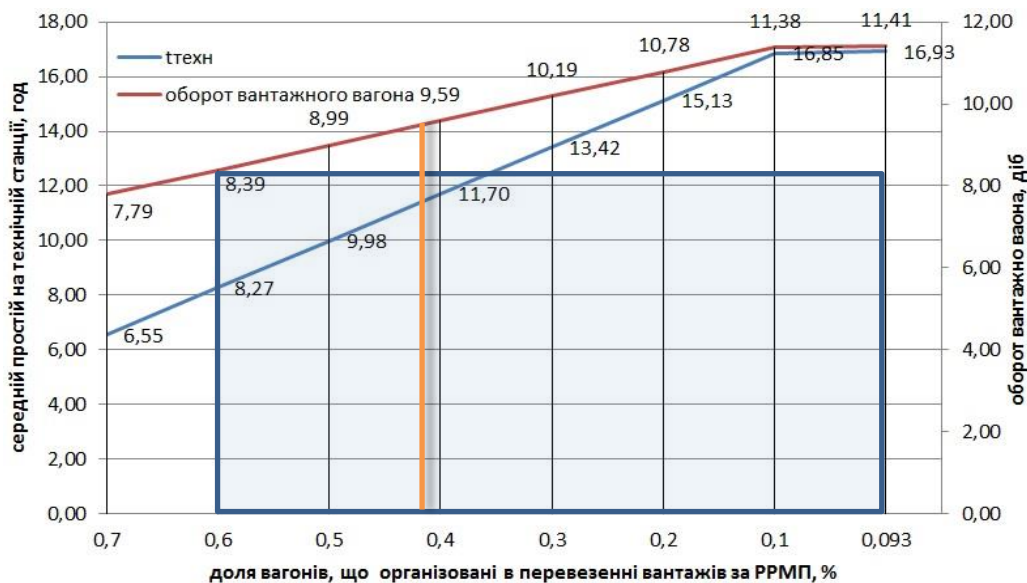


Рис. 8. Залежність зміни обороту вантажного вагона від долі робочого парку вагонів організованих в перевезеннях за РРМП та знаходяться на технічних станціях

Навіть в умовах обмежених даних спостерігається значний вплив на утворення заторів послідовних проблем в мережі, які виникали до запровадження перевезень вантажів за договорами РРМП. В подальшому потребують продовження дослідження з більшим обсягом та репрезентативністю даних щодо кількості кинутих поїздів в мережі. Слід зазначити, що в піковий період перевезень залізнична система отримала аномальне збільшення навантаження. За 2019 рік в експортному сполученні було перевезено руди залізної і марганцева на 41221,97 тис т, що на 10,4% більше від 2018 року, за той же рік зерна та продуктів перемолу було також перевезено рекордний обсяг, що склав 35304,53 тис т, що на 29,93% більше від показника 2018 року. Отже, за результатами проведеного аналізу в даній роботі не виявлено значного негативного впливу на макропоказники залізничної системи від підвищення точності руху поїздопотоків, але дослідження потребують продовження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рекомендації АМКУ від 28 травня 2020 р. № 26-рк Про запобігання порушенням законодавства про захист економічної конкуренції: рекомендації. URL: <https://amcu.gov.ua/nras/pro-zapobigannya-porushennyam-zakonodavstva-pro-zahist-ekonomichnoyi-konkurenciyi-3> (дата звернення: 20.10.2020)
2. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: ратифіковано законом від 16.09.2014 № 1678-VII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (дата звернення: 15.10.2020).
3. Ireland P., Case R., Fallis J., Dyke C., Kuehn J., Meketon M. The Canadian Pacific Railway Transforms Operations by Using Models to Develop Its Operating Plans. *Canadian Pacific Railway Interfaces*. 34(1). 2004. P. 5–14.
4. Dick C. T., Darkhan M. Transitioning from flexible to structured heavy haul operations to expand the capacity of single-track shared corridors in North America. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail and Rapid Transit*. 233(6). 2019. P. 629–639. doi:10.1177/0954409718804427.
5. Баланов, В. О. Анализ факторов, влияющих на обеспечение движения грузовых поездов по расписанию. *Транспортні системи та технології перевезень : Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. №10. 2015. С. 5-9. doi: 10.15802/tstt2015/57057.
6. Стахорний Д.Б., Малахова О. А. Удосконалення взаємодії поїздоутворення на технічних станціях з графіком руху поїздів. *Технологический аудит и резервы производства*. № 5(1). 2014. С. 13-17
7. Masiuk V., Myronenko V., Horoshko V., Prokhorchenko A, Hrushevska T., Shcherbina R., Masiuk N., Khokhlacheva J., Biziuk I., Tymchenko N. Improvement of efficiency in the organization of transfer trains at developed railway nodes by implementing a "flexible model". *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. №3(98).2019. P.32-39. doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162143

8. Переста Г.І., Болвановська Т.В. Аналіз впливу складових елементів на величину обороту вантажного вагона. *Транспортні системи і технології перевозок*. 2011. № 1. С.75-77.
9. Сухорукова Т. Г., Александрова О. Ю. Аналіз показників якості використання рухомого складу АТ «Укрзалізниця» та оцінка їх впливу на роботу компанії. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. №68. 2019. С.116 - 125. doi: <https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i68.188491>.
10. Марценюк Л. В. Факторний аналіз обігу вантажних вагонів. *Проблеми підвищення ефективності інфраструктури: Збірник наукових праць Національного авіаційного університету*. № 33.2012. С. 141-147.
11. Ейтутіс Г.Д., Габа В.В. Матричний підхід щодо впливу якісних показників на ефективність використання рухомого складу. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Економіка і управління»*. № 33. 2015. С.90-104.
12. Зіць О. С. Удосконалення методики оцінки використання інвентарного парку вантажних вагонів ПАТ "Укрзалізниця". *Проблеми економіки транспорту : Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. № 11. 2016. С. 26-30.
13. Ейтутіс Г., Зіць О. Продуктивність вагона – комплексний показник використання вантажних вагонів ПАТ "Укрзалізниця". *Економіст*. № 3. 2016. С. 9-11.
14. Причиной введения масштабных ограничений грузоперевозок по ЮЗЖД называют дефицит тяги и локомотивных бригад. Центр транспортних стратегій: веб сайт. URL:https://cfts.org.ua/news /2019/09/11 /prichinoi_vvedeniya_masshtabnykh_ ogranicheniy_g ruzoperevozok_po_yuzzhd_nazyvayut_ defitsit_tyagi_i_lokomotivnykh_brigad_55192 (дата звернення 22.10.2020).

REFERENCES

1. Rekomendatsiyi AMKU vid 28 travnya 2020 r. № 26-rk Pro zapobigannya porushennyam zakonodavstva pro zahist ekonomichnoyi konkurenciyi: rekomendatsiyi [Recommendations of the AMCU of May 28, 2020 № 26-rk On prevention of violations of legislation on protection of economic competition: recommendations.] (2020) Retrieved from <https://amcu.gov.ua/npas/pro-zapobigannya-porushennyam-zakonodavstva-pro-zahist-ekonomichnoyi-konkurenciyi-3>.
2. Uгода pro asotsiatsiyu mizh Ukrainoyu, z odnieto stononi, ta Evropeyskim Soyuzom, Evropeyskim Spivtovaristvom z atomnoyi energiyi i yihnimi derzhavami-chlenami, z inshoyi stononi: ratifikovano zakonom vid 16.09.2014 № 1678-VII.(2014) [Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, on the other hand: ratified by the law of 16.09.2014 № 1678-VII.] Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text.
3. Ireland, P., Case, R., Fallis, J., Dyke, C., Kuehn, J., & Meketon M.(2004) The Canadian Pacific Railway Transforms Operations by Using Models to Develop Its Operating Plans. *Canadian Pacific Railway Interfaces*,34(1), 5–14.
4. Dick, C. T., & Darkhan, M.(2019) Transitioning from flexible to structured heavy haul operations to expand the capacity of single-track shared corridors in North America. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail and Rapid Transit*, 233(6), 629-639. doi:10.1177/0954409718804427.
5. Balanov, V. O. (2015) Analiz faktorov, vliyayuschih na obespechenie dvizheniya gruzovyih poezdov po raspisaniyu [Improving the interaction of train formation at technical stations with the train schedule]. *Transportni sistemi ta tehnologiyi perezoven : Zbirnik naukovih prats Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana [Transport systems and technologies of transportation: Collection of scientific works of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]*, 10, 5 - 9. doi: 10.15802/tstt2015/57057.
6. Stahorniy, D.B., & Malahova, O. A.(2014) Udoskonalennya vzaemodiyi poyizdoutvorennya na tehnicnih stantsiyah z grafikom ruhu poyizdiv [Improving the interaction of train formation at technical stations with the train schedule]. *Tehnologicheskij audit i rezervni proizvodstva [Technological audit and production reserves]*, 5(1), 13-17.
7. Masiuk V., Myronenko V., Horoshko V., Prokhorchenko A, Hrushevska T., Shcherbyna R., & Tymchenko N. (2019) Improvement of efficiency in the organization of transfer trains at developed railway nodes by implementing a "flexible model". *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*,3(98),32-39. doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162143
8. Peresta, G.I., & Bolvanovska, T.V.(2011) Analiz vplivu skladovih elementiv na velichinu oborotu vantazhnogo vagona [Analysis of the influence of components on the turnover of a freight car]. *Transportnyie sistemy i tehnologii perezovok [Transport systems and transportation technologies]*, 1,75-77.
9. Suhorukova, T. G., & Aleksandrova, O. Yu.(2019) Analiz pokaznikov yakosti vikoristannya ruhomogo skladu AT «Ukrzaliznitsya» ta otsinka yih vplivu na robotu kompaniyi [Analysis of indicators of quality of use of rolling stock of JSC "Ukrzaliznitsya" and assessment of their impact on the company's work]. *Visnik ekonomiki transportu i promislivosti [Bulletin of Transport Economics and Industry]*, 68,116 - 125. doi: <https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i68.188491>.
10. Martsenyuk, L. V.(2012) Faktorniy analiz obigu vantazhnykh vagoniv [Factor analysis of freight cars turnover]. *Problemi pidvischennya efektyvnosti infrastrukturi: Zbirnik naukovih prats Natsionalnogo aviatsynogo universitetu [Problems of improving the efficiency of infrastructure: Collection of scientific works of the National Aviation University]*, 33, 141-147.
11. Eytutis, G.D., & Gaba, V.V.(2015) Matrichniy pidhid schodo vplivu yakisnih pokaznikov na efektyvnist vikoristannya ruhomogo skladu [Matrix approach to the impact of qualitative indicators on the efficiency of rolling stock use]. *Zbirnik naukovih prats DETUT. Seriya «Ekonomika i upravlinnya» [Collection of scientific works DETUT. Economics and Management Series]*,33,90-104.

12. Eytutis, G., & Zits, O. (2016) Produktivnist vagona – kompleksniy pokaznik vikoristannya vantazhnih vagoniv PAT "Ukrzaliznitsya" [Improving the methodology for assessing the use of the inventory of freight cars of PJSC "Ukrzaliznitsya"]. *Ekonomist [Economist.]*, 3, 9-11.

13. Zits, O. E. (2016) Udoskonalennya metodiki otsinki vikoristannya Inventarnogo parku vantazhnih vagoniv PAT "Ukrzaliznitsya". *Problemi ekonomiki transportu : Zbirk naukovih prats Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana*, 11, 26-30.

14. Prichinoy vvedeniya masshtabnykh ogranicheniy gruzoperevozok po YuZZhD nazyvayut defitsit tyagi i lokomotivnykh brigad [The reason for the introduction of large-scale restrictions on freight traffic on the South-Western Railway is called the lack of traction and locomotive crews]. (2020) *Tsentr transportnih strategiy [Center for Transport Strategies]*. Retrieved from : https://cfts.org.ua/news/2019/09/11/prichinoy_vvedeniya_masshtabnykh_ogranicheniy_gruzoperevozok_po_yuzzhd_nazyvayut_defitsit_tyagi_i_lokomotivnykh_brigad_55192.

Прохорченко Андрей, д.т.н.

(профессор кафедры управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта),

Кравченко Михаил,

(аспирант кафедры управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта),

Гурин Дмитрий,

(аспирант кафедры управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ ПО РАСПИСАНИЮ ДВИЖЕНИЯ НА МАКРОПОКАЗАТЕЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СИСТЕМЫ УКРАИНЫ

В статье исследовано влияние технологии перевозок грузов на особых условиях по расписанию движения маршрутных поездов на количественные и качественные показатели эксплуатационной работы железнодорожной системы Украины. Проведенные расчеты составляющих оборота грузового вагона. Выполнено моделирование с аналитическим подходом изменения оборота грузового вагона при увеличении доли перевозок грузов по договорам на особых условиях. Выявлено влияние технологии перевозок по расписанию движения на сокращение наиболее значительного элемента в обороте вагона - простой вагона под грузовыми операциями.

Ключевые слова: железная дорога, эксплуатационная работа, расписание движения маршрутных поездов, оборот грузового вагона.

Andrii Prokhorchenko, D.Sc.(tech)

(Professor of the Department of Operational Management of the Ukrainian State University of Railway Transport),

Mykhailo Kravchenko,

(graduate student of the Department of Operational Management of the Ukrainian State University of Railway Transport),

Dmitry Gurin,

(graduate student of the Department of Operational Management of the Ukrainian State University of Railway Transport).

STUDY OF THE INFLUENCE OF FREIGHT TRANSPORT TECHNOLOGY ON TRAFFIC SCHEDULE ON MACRO INDICATORS OF THE RAILWAY SYSTEM OF UKRAINE

The article examines the influence of freight transportation technology on special conditions according to the schedule of route trains on the quantitative and qualitative indicators of the operational work of the railway system of Ukraine. The calculations of the components of the freight

car turnover are carried out. It was found that the strategy of routing, transportation by RRMP and coordination of loading and unloading terms significantly reduced the downtime of the car under freight operations. The analysis of indicators shows that the implemented technology of cargo transportation according to the RRMP allowed in 2019 to achieve a reduction within the busy flight of the number of technical stations from five stations in 2018 to 4.7 in 2019. The comparative analysis of technical and district speed is carried out and the speed coefficient is calculated. According to the analysis of the change in the speed factor, it can be stated that the ratio of precinct to technical speed remained unchanged in 2019 compared to 2018, which may indicate the lack of impact of transportation technology on dispatching, which was essentially unchanged for two years. Simulation according to the analytical approach of change of turnover of a freight car at increase in a share of transportations of freights under contracts on special conditions is executed. Calculations prove that with the increase of the share of cars of the working fleet, organized in the transportation of goods by RRMP in the element of car turnover - simple car at technical stations, can significantly reduce the overall turnover of the car. The influence of the technology of transportation according to the schedule on the reduction of the most significant element in the turnover of the car - the downtime of the car under freight operations.

Keywords: railway, operational work, schedule of trains, freight car turnover.

ЗМІСТ

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Ловська А., Фомін О.В., Скуріхін Д.І., Федосов-Ніконов Д.В., Рибін А.В.</i> Визначення динамічної навантаженості та стійкості контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні залізничним поромом	4
<i>Дацун Ю.М., Саркісян К. М., Мірошніченко О.В., Ісаєв Д.С.</i> Аналіз впливу людського фактора на процеси визначення параметрів вузлів рухомого складу під час технічного обслуговування	15
<i>Неведров О.В.</i> Розвиток теоретичних основ оптимізації та оцінки якості управління тяговим рухомих складом	24
<i>Фомін О.В., Кара С.В., Прокопенко П.М, Горбунов М.І., Фомін В.В.</i> Оцінка динамічних якостей руху переобладнаних вагонів-хоперів після тривалої експлуатації	33
<i>Буліч Д. І., Сапронова С.Ю., Ткаченко В.П., Кошель О.О.</i> Дослідження корозійного зносу несучих металевих конструкцій вантажних вагонів під час проведення заходів щодо продовження терміну служби	43
<i>Радкевич М.М., Сапронова С.Ю., Ткаченко В.П.</i> Дослідження залишкового ресурсу та встановлення граничного терміну експлуатації некупейних пасажирських вагонів побудови КВЗ	54
<i>Проваторов Н.Є., Овчарук І.В.</i> Генерація профілів швидкості крокових двигунів у системах реального часу	63
<i>Мартинов І.Е., Труфанова А.В., Петухов В.М., Сергієнко М.О.</i> Дослідження залежностей спрацювання несучих елементів пасажирських вагонів	72
<i>Сулим А.О., Семко Ж.О.</i> Порівняльний аналіз вимог технічних регламентів щодо оцінки відповідності рухомого обладнання, що працює під тиском	82

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

<i>Кічкін О.В., Кічикіна О.І.</i> Імітаційне моделювання та аналітичне дослідження експортного зернового терміналу морського порту	94
<i>Фомін О.В., Горбунов М.І., Кара С.В., Прокопенко П.М, Гриндей П.О.</i> Створення високоточної розрахункової моделі трьохелементної конструкції візка вантажного вагона	104
<i>Ботвін М.М., Герцій О.А.</i> Порівняння алгоритмів кластерного аналізу при розпізнаванні об'єктів	112
<i>Шикла Е.Н.</i> Построение модели нелинейного деформирования слоистых материалов	121

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

<i>Фалендиш А.П., Гатченко В.О., Клецька О.В., Кіріцева О.В., Барібін М.</i> Модель визначення характеристик режимних карт ведення поїзда	132
<i>Круглий Д.Г.</i> Дослідження стану економічної ситуації галузі морських перевезень під час пандемії	143
<i>Габа В.В., Стрелко О.Г., Грушевська Т.М., Гусар Є.П.</i> Дослідження залізничних перевезень вантажів груповими та одиночними вагонами	150
<i>Судник Н.В., Вільшанюк М.С.</i> Ефективне використання деяких умов рейсу при визначенні портів бункерування	163
<i>Ковтун Т.А., Смирковська В.Ю., Ковтун Д.К.</i> Реверсивна логістика як інструмент екологізації економіки на засадах концепції сталого розвитку	171
<i>Прохорченко А.В., Кравченко М.А., Гурін Д.О.</i> Дослідження впливу технології перевезень вантажів за розкладом руху на макропоказники залізничної системи України	184

Науково-виробниче видання

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

Серія «Транспортні системи і технології»

Випуск 36

Відповідальний за випуск ***І. О. Саяніна***

Підписано до видання 10.12.2020.
Ум. друк. арк. 11,63. Обл.-вид. арк. 15,27.
Наклад 50 прим. Зам. № 2113-09/20.

Надруковано в друкарні редакційно-видавничого відділу
Державного університету інфраструктури та технологій.
Свідоцтво про реєстрацію Серія ДК № 6148 від 18.04.2018.
03049, м. Київ-49, вул. І. Огієнка, 19.