

УДК 629.4

*Наталія Перетяка, к.т.н. (старший викладач кафедри метрології та метрологічного забезпечення
Одеської державної академії технічного регулювання та якості)
Костянтин Боряк, д.т.н.
(завідувач кафедри метрології та метрологічного забезпечення
Одеської державної академії технічного регулювання та якості)*

АНАЛІЗ ВИПРОБУВАЛЬНИХ СТЕНДІВ МЕХАНІЧНИХ РЕДУКТОРІВ

Стаття присвячена аналізу конструкції та технічних характеристик випробувальних стендів для випробувань механічних редукторів. Виявлені технічні недоліки існуючих стендів та зазначені основні напрями вдосконалення існуючого обладнання, зокрема, вдосконалення конструкції електроприводу стенда та автоматизація процесу випробування, що дає змогу підвищити якість стендових випробувань механічних редукторів.

***Ключові слова:** редуктор, стендові випробування, автоматизація, привід частотний векторний.*

Вступ. Діяльність національного перевізника Української залізниці направлена на задоволення потреб у безпечних та якісних залізничних перевезеннях вантажів та пасажирів, ефективного функціонування та розвитку залізничного транспорту тощо. Серед усіх видів транспорту українська залізниця забезпечує 82 % вантажних і майже 50 % пасажирських перевезень та займає четверте місце на Євразійському континенті. Оновлення пасажирського рухомого складу, безпеки руху, охорони праці, енергозбереження – це основні напрями реформування галузі та стратегії розвитку ПАТ «Укрзалізниця» [1].

Для забезпечення виходу на Європейські ринки вітчизняної продукції Кабінетом Міністрів затверджено нові Технічні регламенти, які основані на ефективній системі європейського законодавства. Особливу увагу країни – члени Євросоюзу приділяють безпеці, в тому числі, на транспорті. Зокрема, об'єктом технічного регулювання є безпека рухомого складу залізничного транспорту, який включає: Технічний регламент безпеки інфраструктури залізничного транспорту [2], Технічний регламент безпеки рухомого складу залізничного транспорту [3] та Технічний регламент надання послуг з перевезення пасажирів та вантажів залізничним транспортом [4].

Згідно з пунктом 2 підпунктом 3 [2] до інфраструктури залізничного транспорту відносять, в тому числі, вагонні депо та пункти технічного обслуговування вагонів, а також обладнання для їх функціонування. Згідно з пунктом 7 розділу «Основні

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-1

вимоги до надання послуг» [4] вказано, що виконавець залізничних перевезень повинен дотримуватись технологічних вимог регламентних технічних умов з ремонту та обслуговуванню засобів залізничного транспорту. Згідно [3] повинні виконуватися обов'язкові вимоги технологічної документації, які впливають на безпеку рухомого складу залізничного транспорту під час ремонту рухомого складу залізничного транспорту. Після ремонту рухомий склад залізничного транспорту, що підлягає обов'язковому підтвердженню придатності до використання, перед введенням в експлуатацію проходить оцінку придатності до використання у встановленому порядку.

З метою задоволення потреб вагонних депо та ремонтних підрозділів при проведенні випробувань редукторів підприємства України та інших країн СНД розробили та виготовляють багато моделей випробувальних стендів для механічних редукторів. Спільна особливість цих стендів є високе енергоспоживання та недосконалість управління режимами випробування.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. При експлуатації випробувальних стендів виникли проблеми з енергоефективністю стендів та впливу суб'єкту вимірювань на якість випробувань.

З метою перевірки працездатності всі виготовлені редуктори проходять обов'язкові випробування на спеціальних стендах, що відтворюють умови експлуатації. На стендах відкритого або замкнутого контуру з циркулюючим навантаженням за допомогою завантажувальних пристроїв випробується і перевіряється працездатність підшипників кочення, виконуються статичні випробування зубчастих зчеплень і різних муфт тощо [5].

Відповідно до інструкції [6] усі відремонтовані редуктори підлягають обов'язковим випробуванням на атестованих стендах з повіреними, згідно [7] засобами вимірювальними техніки. Для обкатних післяремонтних випробувань редукторів приводу генераторів від середньої частини осі пасажирських вагонів установлені два види випробувань редукторів: із заміною відповідальних елементів редуктора (шестерень, підшипників, порожнистого валу або корпусу редуктора) та без їх заміни. Випробування редукторів проводяться з плавним регулюванням швидкості обертання колісної пари та плавним навантаженням. Допускається застосовувати записуючі пристрої та процесори фіксації параметрів обкатки.

Мета і завдання дослідження – аналіз конструкції випробувальних стендів для забезпечення безпеки руху пасажирських вагонів шляхом вдосконалення конструкції випробувальних стендів, методики проведення їх атестації та методу випробувань механічних редукторів.

Матеріали та методи дослідження. Редуктор підлягає періодичному або позаплановому ремонту. Для визначення несправностей в деталях редуктора колісну пару перед розбиранням ставлять на стенд для огляду та перевірки основних параметрів. Після проведення ремонтних робіт редуктори обкатують на випробувальному стенді [8]. Кожний випробувальний стенд повинен мати паспорт, керівництво з експлуатації та свідоцтво про атестацію. Методика проведення стендових випробувань розробляється згідно галузевих стандартів.

Проведений аналіз існуючих стендів для випробувань механічних редукторів показав наступні результати.

ТОВ «Копіс» (м. Санкт-Петербург, Росія) [9] розробив, запатентував і серійно виготовляє стенд обкатний універсальний серії КС-02 для коробок передач (табл. 1,

рис. 1). Стенд забезпечує контроль таких параметрів: частота обертання на вихідному валу, гальмівний момент на вихідному валу, час.

Таблиця 1. Технічні характеристики універсального обкатного стану КС-02

Характеристики	Дані
Потужність електрообладнання, кВт	45,0
Число фаз	3
Напруга, В	380
Частота, Гц	50



Рис. 1. Схема стану моделі КС-02:

1 – пульт управління, 2 – рама, 3 – шафа електрообладнання, 4 – кожух, 5 – коробка передач, 6 – електродвигун приводний, 7 – електродвигун, 8 – комп'ютер, 9 – інтерфейс

ЗАТ «НПП «МІКС Інжирінг» (м. Москва, Росія) [10] виготовляє випробувальний стенд КМ-20 (табл. 2, рис. 2) призначений для випробувань авіаційних редукторів різних типів. При проведенні випробувань стенд дозволяє визначити частоту обертання валів редуктора, крутний момент на вхідному і вихідному валах редуктора, заклинювання редуктора. Конструкція стану дозволяє випробувати співвісні та з розташованими під кутом осями редукторів. Випробування на стенді проводять в автоматичному і ручному режимі.

Таблиця 2. Технічні характеристики стану КМ-20

Технічні характеристики	Дані
Переміщення підйомної тумби, град	від 0 до 220
Кут повороту приводного вузла, град	від 0 до 360
Кут повороту кута навантаження, град	від 0 до 360
Напруга електроживлення, В	220, 380
Частота мережі, Гц	50
Параметри, що вимірюються: обертаючий момент, кгс·м частота обертання валу редуктора, об/хв	(від 0 до 20) ±3% (від 0 до 500) ±10%



Рис. 2. Стенд КМ-20 для випробувань авіаційних редукторів різних типів

Також, НПП «МІКС Інжиніринг» розробив механічну частину автоматизованого стану (рис. 3) для проведення обкатки і випробувань редукторів і карданних валів в напівавтоматичному і автоматичному режимах з плавним управлінням потужністю приводу і моментом навантаження. Багатофункціональний стан має в наявності систему управління і збору даних на базі контролера та вимірювальні прилади для вимірювання крутного моменту, вимірювання частоти обертання, два первинних перетворювача температури, вимірювальні підсилювачі, контролер реального часу та спеціалізоване програмне забезпечення. Стенд призначений для кваліфікаційних випробувань редукторів і карданних валів літака АН-148.

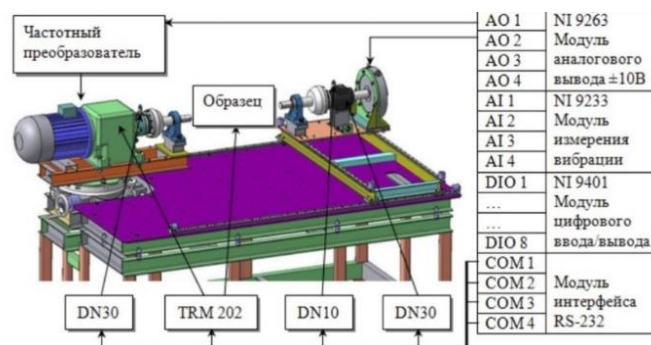


Рис. 3. Схема стану для випробування редукторів і карданних валів літака АН-148

ТОВ «Омінвест» (м. Омськ, Росія) [11] розробив і виготовив автоматизований стан марки СИР (табл. 3), призначений для обкатки редукторів від середньої частини осі колісної пари після деповського ремонту. На стані забезпечено виконання контролю температури підшипників редуктора та буксових вузлів; корпусів двигуна і генератора; температури навколишнього повітря. Після закінчення обкатного випробування редуктора є можливість друкування протоколу з отриманими під час обкатки температурами редуктора і занесенням зазорів в підшипниках редуктора, а також збереження звіту про випробування в базі даних. Є додаткова можливість графічного представлення функції залежності температури в контрольних точках редуктора від часу.

Таблиця 3. Технічні характеристики стенду СИР

Характеристики	Дані
Тип електроприводу	асинхронний частотно-регульований
Потужності електроприводу, кВт	75
Потужність навантаження, кВт	40
Регулювання частоти обертання, об/хв	від 0 до 900 (плавне)
Навантаження редуктора, кВт	від 0 до 40 (плавне)
Кількість температурних первинних перетворювачів	8 (з магнітним кріпленням)
Передача крутного моменту	клинопасова
Передача крутного моменту з відомого валу редуктора	карданна

ТОВ «Науково-технічний центр «Технічна діагностика і прецизійні вимірювання» (м. Москва, Росія) [12] розробив і впровадив комп'ютеризований стенд ОТС-6 (рис. 4), призначений для обкатки гідромеханічних передач самоскидів, тепловозів та автомобілів БелАЗ. На валу асинхронного електродвигуна встановлений енкодер. Обертання вхідного валу гідромеханічної передачі здійснюється асинхронним електродвигуном, яким управляє перетворювач частоти. Частота обертання вихідного валу вимірюється тахометром. Покази датчиків реєструються і відображаються на екрані монітора в реальному часі.



Рис. 4. Принципова схема функціонування та управління стендом ОТС-6

ТОВ «Енергоустаткування» (м. Саратов, Росія) [13] спроектував та організував виробництво стенду для обкатки редукторів типу МАБП і ВБА 32/2 від середньої частини осі після ремонту (табл. 4). Випробування редукторів ведуться в холосту і під навантаженням. До складу стенду входять пристрій для установки колісної пари; пристрій для забезпечення необхідних режимів; індикатор годинникового типу.

Таблиця 4. Технічні характеристики стенду для перевірки редукторів типу МАБ II та ВБА 32/2

Характеристики	Дані
Потужність електродвигунів, кВт	35 і 70
Частота обертання, об/хв	від 950 до 1440
Час обкатки без навантаження, хв	15
Час обкатки з навантаженням, хв	20

ТОВ «Дизель-тест-Комплект» (м. Скатеринбург, Росія) [14] організував виробництво стенду для обкатки та випробування редукторів типу ЕУК-160-1М і ВБА 32/2 від середньої частини осі з навантаженням після ремонту (табл. 5, рис. 5). Під час випробувань здійснюється контроль температури мастила та підшипників редуктора, є можливість визначення параметрів вібрації редуктора та буксових вузлів. Стенд працює по замкненому контуру.

Таблиця 5. Технічні характеристики стенду ТОВ «Дизель-тест-Комплект»

Характеристики	Дані
Тип електроприводу	асинхронний частотно-регульований
Потужності електроприводу, кВт	75
Потужність навантаження, кВт	40
Регулювання частоти обертання, об/хв	від 0 до 900 (плавний розгін)
Регулювання навантаження редуктора, кВт	від 0 до 40 (плавне)



Рис. 5. Стенд обкатки редукторів ТОВ «Дизель-тест-Комплект»

ТОВ «Стоїк» (м. Москва, Росія) [15] спроектував стенд (табл. 6, рис. 6) для випробування редукторів підвагонних генераторів і редукторів з автоматизованою системою управління, яка забезпечує плавне регулювання швидкості приводного двигуна; ступеневе підключення навантаження; контроль над основними параметрами випробувань; виявлення аварійних ситуацій.

Таблиця 6. Технічні характеристики стенду ТОВ «Стоік»

Характеристики	Дані
Максимальна потужність випробовуваних генераторів, кВт	48
Максимальна частота обертання валу генераторів, об / хв	4000
Максимальний струм генератора, А	350
Максимальна напруга генератора, В	150



Рис. 6. Стенд ТОВ «Стоік»

ВАТ науково-дослідний інститут «Ізотерм» (м. Москва, Росія) [16] спроектував і організував виробництво стендів для обкатки передніх та задніх розподільних редукторів тепловозу серії М62 зібраних після деповського ремонту (табл. 7).

Таблиця 7. Технічні характеристики стендів для обкатки редукторів тепловоза серії М62

Характеристики	Дані
Напруга, В	380
Частота, Гц	50
Потужність стенду обкатки переднього редуктора, кВт, не більше	80
Потужність стенду обкатки заднього редуктора, кВт, не більше	100
Час обкатки під навантаженням, хв, не менше	120

Машинобудівний холдинг «Інтехрос» (м. Омськ, Росія) [17] організував виробництво стенду (табл. 8, рис. 7), який призначений для обкатки редукторів в зборі з колісною парою колійних машин типу ВПР. Стенд оснащений системою числового програмного управління.

Таблиця 8. Технічні характеристики стенду для обкатки редукторів «Інтехрос»

Характеристики	Дані
Потужність електродвигуна, кВт	45
Частота обертання валу електродвигуна, об/хв	1500
Передача крутного моменту на редуктор	карданна

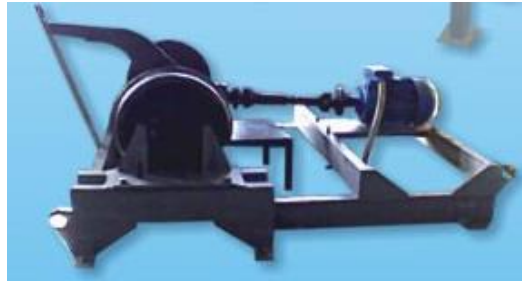


Рис. 7. Стенд для обкатки редукторів колісних пар машинобудівного холдингу «Інтехрос»

ТОВ «ГІС-Профі» (м. Омськ, Росія) [18] організував виробництво обкатувального стану марки КРБ ЕП-1 (табл. 9, рис. 8), який призначений для обкатки колісної пари електровоза ЕП1 після ремонту з буксами і редуктором в зборі. Випробування проводяться в трьохшвидкісному режимі.

Таблиця 9. Технічні характеристики стану марки КРБ ЕП-1

Характеристики	Дані
Напруга живлення, В	380
Потужність, кВт	22
Частота обертання, об / хв	2940
Підключення до муфти редуктора	рухливий фланець шпindelного вузла



Рис. 8. Стенд марки КРБ ЕП-1

ТОВ «НВП Технопарк» (м. Саратов, Росія) [19] організував виробництво стану марки СОІР-01 (табл. 10) для обкатки та випробування редукторів пасажирських вагонів без навантаження та під навантаженням, з можливістю реверсу обертання та плавним розгоном і гальмуванням, безперервним контролем температури масла і підшипників редукторів та шуму.

Таблиця 10. Технічні характеристики стенду СОІР-01

Характеристики	Дані
Споживана потужність, кВт	70
Частота обертання колісної пари, об/хв	від 0 до 900
Максимальний крутний момент електроприводу, кг·м, не менше	75
Діапазон вимірюваних температур, °С	від 0 до 90
Навантаження на відомому валу редуктора, кВт	30 – 50
Час обкатки, хв	120 – 180

ВАТ «Хронотрон» (м. Санкт-Петербург, Росія) [20] виготовив стенд марки ОР-2 (табл. 11, рис. 9), який застосовується для випробувань редукторних колісних пар приводу генераторів від середньої частини осі пасажирських вагонів після ремонту згідно вимог галузевих нормативних документів. Стенд забезпечує: контроль температури і в'язкості мастила та температури підшипників редуктора; автоматичне та ручне управління; контроль вхідних та вихідних параметрів стендів. По випробуванням редукторів формується база даних.

Таблиця 11. Технічні характеристики стенду ОР-2

Характеристики	Дані
Споживана потужність, кВт	76
Потужність навантаження, кВт	до 40
Напруга живлення, В	380
Частота обертання, об/хв	від 0 до 900

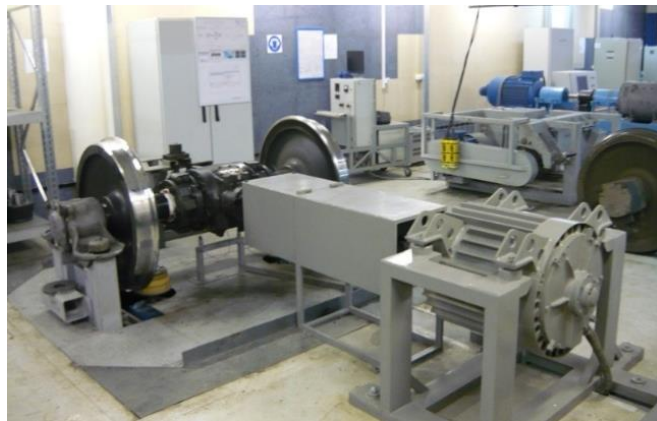


Рис. 9. Стенд марки ОР-2

На Мінському вагоно-ремонтному заводі [21] застосовують стенд марки Н-1594 (табл. 12), який призначений для випробувань редукторів приводу генераторів від середньої частини осі ВБА 32/2 і МАБ-II пасажирських вагонів.

Таблиця 12. Технічні характеристики стенду Н-1594

Характеристики	Дані
Тип стенду	електромеханічний
Частота обертання на вихідному валу, об/хв	900
Рід струму	змінний
Частота, Гц	50
Напруга, В	380/220
Потужність, кВт	40

В електродепо «Кіровське» Самарського метрополітену [22] використовується стенд для випробування редукторів колісної пари (табл. 13, рис. 10).

Таблиця 13. Технічні характеристики стенду в електродепо «Кіровське»

Характеристики	Дані
Тип стенду	електромеханічний
Частота обертання на вихідному валу, об/хв	від 270 до 615; від 410 до 615
Тип приводу	електричний
Частота, Гц	50
Напруга мережі, В	380



Рис. 10. Стенд для випробувань редукторів в електродепо «Кіровське»

ЗАТ «ДМИ-редуктор» [23] розробив і виготовляє редуктор від середньої частини осі колісної пари ДМИ-44 для приводу вагонного генератора потужністю 32 кВт. На ділянці збірки редукторів ДМИ-44 розташований обкатаний стенд. Для контролю технічного стану редуктора при експлуатації розроблена і випробувана система контролю достатності рівня масла в картері і температури підшипникових вузлів редуктора.

У пасажирському вагонному депо станції Одеса-Головна (м. Одеса, Україна) [24] встановлено випробувальний стенд (табл. 14, рис. 11) для випробування редукторів колісних пар приводу генераторів від середньої частини осі пасажирських вагонів після ремонту відповідно до вимог [6]. Стенд обладнаний приладовою панеллю, на якій виконується регулювання напруги і сили струму мережі для зміни швидкості обертання колісної пари та підтримки навантаження редуктора.

Таблиця 14. Технічні характеристики стенду в пасажирському вагонному депо станції Одеса-Головна

Характеристика	Дані
Потужність електроприводу, кВт	28
Частота обертів, об/хв	900
Напруга мережі, В	$380 \pm 10 \%$
Частота мережі, Гц	$50 \pm 5 \%$
Час випробувань, хв	120, 180
Діапазон вимірювань температури, °С	від мінус 10 до 1200
Тип електроприводу	постійного струму
Передача обертання до колісної пари	текстурно-пасова



Рис. 11. Стенд в пасажирському вагонному депо Одеса-Головна

У вагонному депо станції Каховка (м. Каховка, Україна) [25] встановлено стенд для випробування редукторів ЕУК-160-1М/28, ВБА-32/2 (табл. 15, рис. 12). Стенд призначений для перевірки, налагодження та випробувань редукторів типу МАБ II (ЕУК-160-1М/28), ВБА-32/2(ВБА-32/2). До складу стенду входять: станина з приводом та елементами кріплення колісної пари; генератор з пристроєм для його навантаження; контрольно-вимірювальні прилади; контролер для ступеневого регулювання частоти обертання колісної пари; приладової панелі з контрольно-вимірювальними приладами. Стенд забезпечує контроль параметрів: температура мастила в картері редуктора; напруга та струм електроприводу; напруга та струм навантажувального генератора.

Таблиця 15. Технічні параметри стенду у вагонному депо станції Каховка

Параметри	Дані
Частота обертання, об/хв	від 0 до 900
Діапазон вимірювання температури, °С	0...100 ± 5%
Напруга живлення, В	380 ± 10%
Частота живлення, Гц	50 ± 1
Потужність електроприводу, кВт	32
Час випробувань, хв	120, 180

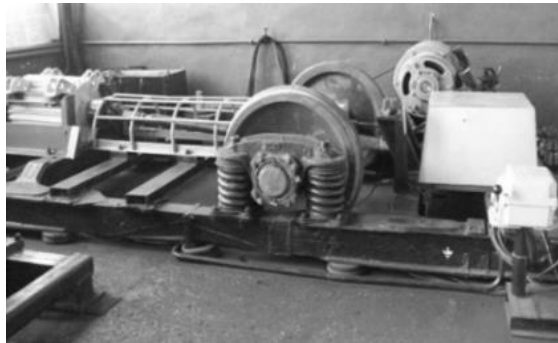


Рис. 12. Стенд у вагонному депо станції Каховка

ПМП «Компро» (м. Одеса, Україна) [26] розробило та налагодило випуск автоматизованого стенду марки «VIP-1500» (табл. 16, рис. 13) для обкатки та випробувань редукторів типу EUK-160-1M / 28, ВБА 32/2 від середньої частини осі колісної пари. Стенд оснащений сучасними засобами вимірювальної техніки, електронним блоком управління, пакетом програмного забезпечення, шафи навантаження генератора, силовою шафою управління навантаженням, перетворювачем частоти векторним, аварійним захистом. Програма випробувань передбачає: контроль радіального биття редуктора; вимірювання температури редуктора та навколишнього середовища в процесі випробувань редуктора; вимірювання потужності; розрахунок ККД редуктора. Отримані результати випробувань виводяться на екран монітора, заносяться в базу даних та оформляються у вигляді протоколу випробувань.

Таблиця 16. Технічні характеристики стенду VIP-1500

Параметри	Дані
Частота обертання, об/хв	від 0 до 1200
Потужність генератора, кВт	34
Напруга живлення, В	380 ± 10%
Частота живлення, Гц	від 0 до 200
Потужність електроприводу, кВт	55
Час випробувань, хв	120, 180



Рис. 13. Випробувальний стенд ВІР-1500

Проведений аналіз існуючого технологічного обладнання для випробування редукторів показав, що переважна кількість випробувальних стендів працюють за відкритим контуром, в якому не передбачається рекуперація теплової енергії. Для навантаження редуктора використовується потужний електричний генератор, енергія з якого передається до шафи з резисторами. Це обумовлено тим, що принцип навантаження редуктора передбачає значні витрати електроенергії та перегрів навантажувача. Тривалі випробування потребують використання потужного електродвигуна для приведення в обертання колісної пари. Така конструкція стенду не є енергоефективною.

Крім того, велика кількість стендів, що працюють в вагонних депо, мають такі недоліки: живлення стенду відбувається від неефективного електроприводу постійного струму; використовуються застарілі засоби вимірювальної техніки, що не забезпечує якості контролю параметрів; регулювання навантаження ступеневе; має місце суб'єктивний фактор впливу оператора на якість проведення випробувань. Для підтримки режиму випробування, опираючись на покази засобів вимірювальної техніки, оператор постійно змінює значення сили струму і напруги, що забезпечує підтримку нормованої потужності навантаження редуктора. Також, фіксація результатів випробувань малоінформативна та здійснюється у паперовому журналі, що ускладнює простежування технічного стану редуктора на протязі його життєвого циклу.

Проте, сучасні стенди, що виробляються провідними виробниками, враховують значну кількість вказаних недоліків випробувальних стендів. Втілюється автоматизація управління стенду для підвищення якості підтримки режимів випробувань та встановлюються сучасні засоби вимірювальної техніки для підвищення якості метрологічного забезпечення. Використовується асинхронний електропривод з частотним векторним перетворювачем для створення плавного навантаження редуктора. Створюється електронна база даних по результатам випробувань, що дає змогу провести моніторинг змін технічного стану редуктора та визначення його ресурсу, а також скоротити час простою транспортних засобів і матеріальні витрати для проведення позапланового ремонту редуктора.

Висновки. З вищесказаного можна зробити висновок, що випробувальні стенди це енерговитратне устаткування за рахунок необхідності використання потужного електроприводу та тривалого часу випробувань. На випробувальних стендах з

електроприводом постійного струму не можливо забезпечити плавність навантаження редуктора через вплив індивідуально-психологічних та психомоторних особливостей людини, яка контролює процес випробування. Автоматизація системи управління, контролю параметрів випробувальних стендів та оснащення їх асинхронним частотно-регульованим електроприводом – це головні напрями для вдосконалення конструкції випробувального стенду, підвищення якості визначення метрологічних характеристик стенду та встановлення їх відповідності вимогам нормативної документації при атестації, а також створює передумови вдосконалення методики випробувань для підвищення енергоефективності стендів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Публічне акціонерне товариство «Українська залізниця» : веб-сайт. URL: http://www.uz.gov.ua/about/general_information/main_departments/main_passenger_management/ (дата звернення 20.09.2018).
2. Технічний регламент безпеки інфраструктури залізничного транспорту, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 11 липня 2013 р. № 494. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/494-2013-%D0%BF> (дата звернення: 20.09.2018).
3. Технічний регламент безпеки рухомого складу залізничного транспорту затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2015 р. № 1194. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1194-2015-%D0%BF> (дата звернення: 20.09.2018).
4. Технічний регламент надання послуг з перевезення пасажирів та вантажів залізничним транспортом затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 2010 р. № 193. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/193-2010-%D0%BF> (дата звернення: 20.09.2018).
5. Мироненко А. И., Спицын В. Е., Гамза Е. А., Матвеевский Д. В., Дзятко С. А. Усовершенствование редукторов производства ПП НПКС "Зоря"- "Машпроект". *Вісник НТУ "ХПИ"*. 2015. № 35 (1144). С. 95 – 100.
6. Інструкція з ремонту редукторно-карданних приводів пасажирських вагонів. ЦД–0078 : затв. наказом Укрзалізниці від 31.03.09. № 219-С. *Державна адміністрація залізничного транспорту України. Укрзалізниця. Головне пасажирське управління*. Київ. 2010. 191 с.
7. Порядок проведення перевірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів від 08 лютого 2016 року № 193. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE28408.html (дата звернення: 12.08.2018).
8. Болотин М. М., Иванов А. А. Системы автоматизации производства и ремонта вагонов. Москва: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2016. 336 с.
9. ООО «Копис» : веб-сайт. URL: <http://www.kopis.ru/products/140> (дата звернення: 20.09.2018).
10. ЗАО «НПП «МИКС Инжиниринг» : веб-сайт. URL: <http://www.mix-eng.ru/proekty/stend-km-20/> (дата звернення: 20.09.2018).
11. ООО «ОмИНВЕСТ» : веб-сайт. URL: <http://ominvest.ru/produce/> (дата звернення: 12.11.2012).
12. ООО «Научно-технический центр «Техническая диагностика и прецизионные измерения» : веб-сайт. URL: <http://www.diag-meas.ru/> (дата звернення: 20.09.2018).
13. ООО «Энергооборудование» : веб-сайт. URL: <http://www.sar-energo.ru/content/view/40/2/> – (Дата звернення: 14.11.2012).
14. ООО «Дизель-тест-Комплект» : веб-сайт. URL: http://ru.d-test.ru/catalog/oborudovanie_dlya_zheleznyh_dorog/stend_obkatki_reduktorov_ot_sredney_chasti_osi_s_nagruzkoj/ (дата звернення: 14.11.2012).
15. НПО «Стоик» : веб-сайт. URL: http://stoikltd.ru/support/engineering/engineering_5.html (дата звернення: 14.11.2012).
16. ОАО НИИ «Изотерм» : веб-сайт. URL: http://www.nii-izoterm.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=132&Itemid=52 (дата звернення: 14.11.2012).
17. Машиностроительный холдинг «ИНТЕХРОС» : веб-сайт. URL: <http://xn--h1akalp.xn--p1ai/nestandartnoe-oborudovanie/item/stend-dlya-obkatki-reduktorov-kolesnykh-par.html> (Дата звернення: 14.11.2012).
18. ООО «ГИС-Профи» : веб-сайт. URL: <http://gisprofi.com/catalog/items12621.html> (дата звернення: 14.11.2012).

19. ООО «НПП Технопарк» : веб-сайт. URL: https://tehpark.ru/produksiya/ispysatelnoe_i_remontnoe_oborudovanie/stand_dlya_obkatki_i_issyitaniya_reduktorov_s_privodom_ot_tsentra_osi_soir-01.html (дата звернення: 14.09.2018).
20. ОАО «Хронотрон» : веб-сайт. URL: <http://www.chronotron.ru/index.php/gd/op2> (дата звернення: 15.11.2012).
21. Стенд для обкатки редукторов от средней части оси ВБА и МАБ : паспорт Н – 1594. ПС. *Минский вагоноремонтный завод*. Минск, 2004. 15 с.
22. Електродепо «Кировское» Самарського метрополитену : веб-сайт. URL: <http://wiki.nashtransport.ru/> (дата звернення: 12.06.2018)
23. ЗАО «ДМИ-редуктор» : веб-сайт. URL: <http://dmireduktor.ru/about/index.php> (дата звернення: 15.06.2018)
24. Перетяка Н. О. Аналіз експериментальних випробувань редукторів приводу генераторів від середньої частини осі колісної пари пасажирського вагону. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Київ : ВІКНУ, 2017. № 55. С. 81-92.
25. Стенд для випробування редукторів МАБ II (ЕЮК-160-1М/28), ВБА-32/2 (WBA-32/2) з приводом від середньої частини колісної пари пасажирських вагонів : паспорт. *ПКЛ Вагонного депо ст. Каховка Одеської залізниці*. Таврійськ, 2014. 8 с.
26. Перетяка Н. О. Вдосконалення методики стендових випробувань редукторів пасажирських вагонів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2017. № 2. С. 83-90.

REFERENCES

1. *Publichne aktsionerne tovarystvo «Ukrainska zaliznytsia»*. (20.09.2018). Retrieved from: http://www.uz.gov.ua/about/general_information/main_departments/main_passenger_management/.
2. *Tekhnichniy rehlement bezpeky infrastruktury zaliznychnoho transportu, zatverdzhenni postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 11.07.2013*. No 494. (20.09.2018). Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/494-2013-%D0%BF>.
3. *Tekhnichniy rehlement bezpeky rukhomoho skladu zaliznychnoho transportu zatverdzhenni postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30.12.2015*. No 1194. (20.09.2018). Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1194-2015-%D0%BF>.
4. *Tekhnichniy rehlement nadannia posluh z perevezennia pasazhyriv ta vantazhiv zaliznychnym transportom zatverdzhenni postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 01.03.2010*. No 193. (20.09.2018). Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/193-2010-%D0%BF>.
5. Mironenko, A.I., Spitsyin, V.E., Gamza, E.A., Matveevskiy, D.V., Dzyatko S.A. *Usovershenstvovanie reduktorov proizvodstva GP NPKG "Zorya"- "Mashproekt"*. Kharkiv, Visnik of National Technical University " Kharkiv Polytechnic Institute". 35 (1144), 95 – 100 (In Ukrainian).
6. *Instruktsiia z remontu reduktorno-kardannykh pryvodiv pasazhyrskykh vahoniv. TsL-0078 : Zatv.: Nakaz Ukrzaliznytsi. TsL -0078 [Instruction on repair reducers - the cardan drives passenger carriages] : Zatv.: Nakaz Ukrzaliznytsi 31.03.09. no. 219-S, Kyiv, Derzhavna administratsiia zaliznychnoho transportu Ukrainy. Ukrzaliznytsia. Holovne pasazhyrske upravlinnia.*
7. *Poriadok provedennia povirky zakonodavcho rehulovanykh zasobiv vymiriuvanoi tekhniki, shcho perebuvauiut v ekspluatatsii, ta oformlennia yii rezultativ vid 08.12.2016 No 193 [The procedure for verifying the legally regulated means of measuring equipment in operation, and the execution of its results from February 08.12.2016 No 193].* (12.08.2018). Retrieved from http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE28408.html.
8. Bolotin, M. M., Ivanov, A. A. (2016). *Sistemyi avtomatizatsii proizvodstva i remonta vagonov [Automation systems for production and repair of cars]*. Moskov, Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte (In Russian).
9. ООО «Kopis». (20.09.2018). Retrieved from <http://www.kopis.ru/products/140>.
10. ЗАО «NPP «MIKS Inzhiring». (20.09.2018 r.). Retrieved from <http://www.mix-eng.ru/proekty/stand-km-20>.
11. ООО «OmINVEST»/ (12.11.2012). Retrieved from <http://ominvest.ru/produce>.
12. ООО «Nauchno-tekhnycheskiy tsentr «Tekhnicheskaya dyahnostyka y pretsyzyonnie izmereniya» (20.09.2018 r.). Retrieved from <http://www.diag-meas.ru>.
13. ООО «Jenergooborudovanie». (14.11.2012). Retrieved from <http://www.sar-energo.ru/content/view/40/2/>.

14. ООО «Dizel-test-Komplekt». (14.11.2012). Retrieved from http://ru.d-test.ru/catalog/oborudovanie_dlya_zheleznyh_dorog/stend_obkatki_reduktorov_ot_sredney_chasti_osi_s_nag_ruzkoy.
15. NPO «Stoik». (14.11.2012). Retrieved from http://stoikltd.ru/support/engineering/engineering_5.html.
16. OAO NII «Izoterm». (14.11.2012). Retrieved from http://www.nii-izoterm.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=132&Itemid=52.
17. Mashynostroytelny kholdynh «YNTEKROS». (14.09.2018). Retrieved from <http://xn--h1akalp.xn--p1ai/nestandartnoe-oborudovanie/item/stend-dlya-obkatki-reduktorov-kolesnykh-par.html>.
18. ООО «GIS-Profi». (14.11.2012). Retrieved from <http://gisprofi.com/catalog/items12621.html>.
19. ООО «NPP Tehnopark». (14.09.2018). Retrieved from http://tehpark.ru/produktsiya/ispitatelnoe_i_remontnoe_oborudovanie/stend_dlya_obkatki_i_issyitaniya_reduktorov_s_privodom_ot_tsentra_osi_soiv-01.html.
20. OAO «Hronotron». (15.11.2012). Retrieved from <http://www.chronotron.ru/index.php/gd/op2>.
21. Pasport N – 1594. PS (2004). *Stend dlia obkatky reduktorov ot srednei chasty osy WBA i MAB [Stand for running gears from the middle part of the axis of the WBA and MAB]*. Minsk, Minskij vagonoremontnyj zavod (In Belarus).
22. Elektrodepo «Kirovskoe» Samarskogo metropolitenu. (12.06.2018). Retrieved from <http://wiki.nashtransport.ru/>.
23. ZAO «DMI-reduktor». (15.06.2018). Retrieved from <http://dmireduktor.ru/about/index.php>.
24. Peretiaka, N. O. (2017). *Analiz eksperymentalnykh vyprobuvan reduktoriv pryvodu heneratoriv vid serednoi chastyny osi kolisnoi pary pasazhyrskoho vahonu [The analysis of experimental tests of drive gears for generators from the middle part of the axle of the wheel coupling of a passenger car]*. Kyiv, Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka, 55, 81-92.
25. Pasport. (2014). *Stend dlia vyprobuvannia reduktoriv MAB II (EUK-160-1M/28), WBA-32/2 z pryvodom vid serednoi chastyny kolisnoi pary pasazhyrskykh vahoniv [Stand for test of reducers MAB II (EUK-160-1M / 28), WBA-32/2 with drive from the middle part of the wheel of passenger cars]*. Tavriisk, RKL Vahonnoho depo stantsii Kakhovka Odeskoi zaliznytsi (In Ukrainian).
26. Peretiaka, N. O. (2017). *Vdoskonalennia metodyky stendovykh vyprobuvan reduktoriv pasazhyrskykh vahoniv [Improvement of the method of bench testing of passenger railcar reducers]*. Vinnytsia, Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu, 2, 83-90.

Наталья Перетьяка, к.т.н.

(старший преподаватель кафедры метрологии и метрологического обеспечения Одесской государственной академии технического регулирования и качества)

Константин Боряк, д.т.н.

(заведующий кафедрой метрологии и метрологического обеспечения Одесской государственной академии технического регулирования и качества)

АНАЛИЗ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ МЕХАНИЧЕСКИХ РЕДУКТОРОВ

Статья посвящена анализу конструкций и технических характеристик испытательных стендов для испытаний механических редукторов. Выявлены технические недостатки существующих стендов и указаны основные направления совершенствования существующего оборудования, в частности, совершенствование конструкции электропривода стенда и автоматизация процесса испытания, что позволяет повысить качество стендовых испытаний механических редукторов.

Ключевые слова: редуктор, стендовые испытания, автоматизация, привод частотный векторный.

Nataliia Peretiaka

(Senior Lecturer, Department of Metrology and Metrological Support Odessa State Academy of Technical Regulation and quality)

Konstantin Boryak

(Head of the Department of Metrology and Metrological Support Odessa State Academy of Technical Regulation and quality)

ANALYSIS OF TEST STANDS OF MECHANICAL REDUCERS

The article is devoted to the review of the design of test benches on which mechanical reducers are being tested, which are part of various vehicles for the movement of goods and passengers. The main attention is paid to test benches that are used by railway transport enterprises in the post-Soviet space. The authors focused on the analysis of the technical characteristics of test benches, on which mechanical reducers of the generator drive from the middle part of the wheelset axle of passenger cars operated on passenger railway cars running at speeds up to 160 km / h are tested. It has been established that in most cases (up to 70%) stand constructions were made using the element base and industry achievements of the 80s. This became an obstacle for further improvement of test methods with the use of outdated measuring equipment, which are built into the stands. The identified technical shortcomings of the existing test benches and the inconsistency of the quality of the tests of mechanical reducers with the updated requirements of European standards. This encourages the modernization of test benches. In the article, the authors indicate the main directions of improvement of the existing equipment for testing mechanical reducer, in particular, improving the design of the electric drive of the stand, and also proposed to automate the technological process of testing. The modernization directions proposed by the authors will improve the quality of bench tests of mechanical reducer.

Keywords: *reducer, bench tests, automation, vector frequency drive.*

УДК 629.424.1

О.В. Клименко

*(викладач кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу»
Українського державного університету залізничного транспорту)*

А.П. Фалендиш, д.т.н., професор

*(професор, завідувач кафедри Теплотехніка та теплові двигуни
Українського державного університету залізничного транспорту)*

В.О. Гатченко, к.т.н., доцент

*(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного
університету інфраструктури та технологій)*

М.А. Барибін

*(аспірант кафедри Теплотехніка та теплові двигуни Українського
державного університету залізничного транспорту)*

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ МІЖРЕМОНТНИХ ПРОБІГІВ ДЛЯ МОДЕРНІЗОВАНИХ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ ЧМЕЗ

У статті розглянуті питання визначення раціональних міжремонтних пробігів та застосування автоматизованої системи комп'ютерного моделювання сітьових норм. Встановлені основні параметри раціональної системи технічного обслуговування та ремонтів для конкретних умов експлуатації, що дадуть змогу раціонально використовувати економічні ресурси.

Ключові слова: *автоматична система, міжремонтний пробіг, технологія обслуговування та ремонту, маневровий локомотив.*

Вступ. При експлуатації маневрових тепловозів ступінь їх використання і режим роботи не однакові. Внаслідок цього частина тепловозів ставиться на технічний огляд (ТО) або поточний ремонт (ПР) з недовикористаним ресурсом окремих складальних одиниць або деталей, а інша частина – з перепробігом. Несвоєчасна постановка тепловозів призводить до погіршення технічного стану та збільшення витрат на виконання ремонтних і профілактичних робіт.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Ряд фахівців присвятив питанню визначення раціональної системи технології обслуговування та ремонту рухомого складу багато публікацій. Дослідження Четвергова В.А. [1] сформулювали підхід до встановлення оптимальної структури системи технічного обслуговування та ремонту на основі статистичних даних та аналізу надійності вузлів локомотива. Критерієм оптимізації обраний коефіцієнт технічного використання або коефіцієнт ремонтності. При цьому не враховується економічна доцільність.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-2

Серед останніх праць по визначенню ефективної системи технічної експлуатації слід відмітити роботи Крашенініна О.С. [2], в якій сформульовані основні напрямки та методика розрахунку збереження економічної та технічної доцільності продовження терміну експлуатації рухомого складу та визначення ефективності роботи технічної експлуатації проводити за коефіцієнтом готовності з врахуванням фактичної організації системи ремонту.

Одним з основних напрямків поліпшення та стабілізації стану локомотивного парку штатних та модернізованих маневрових локомотивів є покращення технічного обслуговування та ремонту рухомого складу, що досягається в основному удосконаленням методів розрахунку параметрів системи технічного утримування локомотивів [3-15].

Таким чином, в розглянутих роботах проведено суттєве дослідження з покращення системи технічного обслуговування та ремонту та спроби визначення оптимальної системи технічного обслуговування та ремонту за окремими критеріями. Але на жаль в даних роботах не розглядаються автоматизовані системи вибору раціональних пробігів між ремонтами з урахуванням регіону та умов експлуатації.

Мета і завдання дослідження. Розробити автоматизовану систему встановлення раціональної системи технічного обслуговування та ремонту модернізованих маневрових локомотивів ЧМЕЗМ (П).

Матеріал та методи дослідження. Для вирішення проблеми визначення раціональних міжремонтних пробігів для модернізованих маневрових тепловозів ЧМЕЗ пропонується автоматизована система, алгоритм роботи якої та робоче вікно представлені на рисунках 1 та 2.



Рис. 1. Алгоритм роботи автоматизованої системи визначення міжремонтних пробігів

Рис. 2. Робоче вікно алгоритму роботи автоматизованої системи визначення міжремонтних пробігів

Пропонується весь період перебування тепловоза в експлуатації розбити на інтервали відповідно до поділу терміну служби на ремонтні цикли і для кожного встановити коефіцієнт, що враховує "вік" тепловозного парку ($K_{B.T.}$). Для технічних цілей [5, 6] здійснено районування території країни з використанням середньомісячної температури і відносної вологості повітря.

У загальному вигляді зв'язок між середньосітьовою нормою міжремонтного періоду L_C і раціональної L_P можна представити наступним співвідношенням:

$$\frac{L_C}{L_P} = \frac{\prod_{i=1}^n f_i(x_i)}{\prod_{i=1}^n \varphi_i(x_i)}, \quad (1)$$

де $f_i(x_i)$ та $\varphi_i(x_i)$ – відповідно функції, що характеризують середньосітьову і конкретні умови експлуатації.

Вираз (1) для одного окремо взятого фактора являє собою коефіцієнт, що оцінює співвідношення між дією даного чинника в середньосітьових і конкретних умовах експлуатації:

$$k_{xi} = \frac{\varphi_i(x_i)}{f_i(x_i)}. \quad (2)$$

Тоді рівняння коригування для конкретних умов експлуатації прийме вигляд:

$$L_P = k_{x1} \cdot k_{x2} \cdot \dots \cdot k_{xn} \cdot L_C, \quad (3)$$

Передбачається, що чим більше питома кількість непланових ремонтів у відповідному роді служби, тим менше повинна бути норма міжремонтного періоду.

Пропонується наступний вираз для визначення коефіцієнта, який враховує рід служби тепловозів:

$$K_{p.c.}^i = K'_{p.c.} + \Delta K_{p.c.}, \quad (4)$$

де $K_{p.c.}^i$ – значення коефіцієнта в i -му роді служби;

$K'_{p.c.} = 1$ – базове значення коефіцієнта;

$\Delta K_{p.c.}$ – величина, що характеризує співвідношення між n'_{np} і n^i_{np} .

$$\Delta K_{p.c.} = \frac{|n'_{np} - n^i_{np}|}{n'_{np}}, \quad (5)$$

де n'_{np} і n^i_{np} – відповідно питома кількість непланових ремонтів у базовому та і-му роді служби тепловозів.

Розмірність будь-якої фізичної величини можна виразити через добуток зведених в ступінь розмірностей первинних величин. Для проведення дослідження обрані три первинні величини – довжина $[L]$, маса $[M]$ та час $[T]$. Рівняння розмірності фізичної величини для даного випадку має вигляд:

$$[P_i] = [L]^{\lambda_i} \cdot [M]^{\mu_i} \cdot [T]^{\tau_i}, \quad (6)$$

де $[P_i]$ – розмірність і-ї величини;

λ_i, μ_i, τ_i – показники ступеня розмірностей первинних величин.

Використовуючи формули розмірностей, встановлюються критерії подібності (комплекси безрозмірних величин), що представляють собою добуток різних ступенів цих величин. З урахуванням виразу (6) дане визначення прийме вигляд:

$$P = [L]^{(\lambda_1 Z_1 + \lambda_2 Z_2 + \dots + \lambda_n Z_n)} \cdot [M]^{(\mu_1 Z_1 + \mu_2 Z_2 + \dots + \mu_n Z_n)} \cdot [T]^{(\tau_1 Z_1 + \tau_2 Z_2 + \dots + \tau_n Z_n)}, \quad (7)$$

де P – критерій подібності;

Z_1, Z_2, \dots, Z_n – показники ступеня безрозмірних величин.

Виходячи з того, що P є величиною нульової розмірності значення Z_1, Z_2, \dots, Z_n визначені шляхом рішення системи рівнянь з урахуванням показників ступенів розмірностей первинних величин λ_i, μ_i, τ_i

$$\begin{cases} Z_1 + Z_2 + Z_3 + 2Z_4 - 2Z_5 + Z_6 = 0 \\ Z_1 + Z_2 + Z_4 = 0 \\ -2Z_1 - 2Z_2 - Z_3 - 3Z_4 + 2Z_5 = 0 \end{cases}. \quad (8)$$

З урахуванням (8) і таблиці 2 значення P представлені у вигляді [5]

$$P_1 = p_1^{Z_1} \cdot p_3^{Z_3} \cdot p_4^{Z_4} = \frac{F_K \cdot V_P}{N_e} \quad (9)$$

$$P_2 = p_1^{Z_1} \cdot p_2^{Z_2} = \frac{F_K}{P_T} \quad (10)$$

$$P_3 = p_1^{Z_1} \cdot p_2^{Z_2} \cdot p_3^{Z_3} \cdot p_5^{Z_5} = \frac{P_T \cdot V_P^2 \cdot q_e}{F_K} \quad (11)$$

Зазвичай в депо тепловози мають різні пробіги від початку експлуатації. При встановленні L_p необхідно враховувати середній «вік» тепловозного парку. Для цього весь парк депо можна розбити на «вікові» групи і для кожної встановити своє значення $K_{B.T.}$ по виразу

$$K_{B.T.}^{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N N_i \cdot K_{B.T.i}}{\sum_{i=1}^N N_i} = \sum_{i=1}^N \delta N_i \cdot K_{B.T.i} \quad (12)$$

де N_i – кількість тепловозів в i -й віковій групі;

δN_i – питома вага i -ї групи тепловозів у структурі парку.

За допомогою $K_{B.T.}$ можна здійснювати коригування L_C для окремих груп тепловозів.

Для оцінки впливу кліматичних факторів на технічний стан тепловозів при встановленні L_p використані два умовних показника, які характеризують комплексний вплив основних кліматичних особливостей регіонів, значення їх визначаються в балах технічної жорсткості [6]:

$$N_{к.х} = (t_{min\,cp.} + 0,25t_{min\,abc}) \cdot (1 + 0,015\sigma_x) \cdot (1 + 0,07V_x) \cdot (1 + 0,26\varphi_x) \cdot (1 + 0,014n_{T.M.}) \cdot (1 + 0,022\tau_x) \quad (13)$$

$$S_{к.с} = (0,55t_{max\,cp.} + 0,20t_{max\,abc}) \cdot (1 + 0,0075\sigma_T) \cdot (1 + 0,07V_T) \cdot \left(1 + \frac{0,08}{\varphi_T}\right) \cdot (1 + 0,009n_{б.Т.}) \cdot (1 + 0,012\tau_T) \quad (14)$$

де $N_{к.х}$ і $S_{к.с}$ – відповідно технічна жорсткість холодного і жаркого сухого клімату;

$t_{min\,cp.}$, $t_{max\,cp.}$, $t_{min\,abc}$, $t_{max\,abc}$ – відповідно середні значення середніх мінімальних і максимальних температур та значення абсолютного мінімуму і максимуму повітря за три найбільш холодних і теплих місяці;

σ_x і σ_T – відповідно середні неперіодичні амплітуди добових коливань температури повітря за три найбільш холодних і теплих місяці;

V_x і V_T – відповідно середня швидкість вітру за три найбільш холодних і теплих місяці;

φ_x і φ_T – відповідно середні значення відносної вологості повітря за три найбільш холодних і теплих місяці (в частках одиниці);

$n_{T.M.}$ – середнє значення за місяць числа днів з туманом і хуртовиною за три найбільш холодних місяці;

$n_{6,T}$ – середня за місяць число днів з пиловою бурєю і туманом за три найбільш теплих місяці;

τ_x і τ_T – тривалість дії в місяцях середньої температури повітря вище 0 °С.

Величина що враховує в основному величину розрахункового підйому (i_p) і частину елементів профілю колії з ухилами від - 3‰ до + 3‰ в загальній протяжності досліджуваної дільниці та план шляху (радіус і протяжність кривих ділянок - іменується коефіцієнтом трудності профілю (K_T), який використовується при нормуванні витрати палива на тягу поїздів [11]:

$$K_T = 1 + (0,705 - 0,00452V_T) \cdot (0,3i_p^{0,7} - 0,85). \quad (15)$$

Розрахунок $\Delta K_{p.c.}$ виконаний з використанням даних «ВНИИЖТа» по експлуатаційній надійності тепловозів наведений в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати розрахунку

Рід служби	$n_{np}, 1/10^6$ Н/кН	$K'_{p.c.}$	$\Delta K_{p.c.}^i$	$K_{p.c.}$
Вивізна	12	1,0	0,8	1,8
Маневрова	5	1,0	0,9	1,9

Отримані значення $K_{p.c.}$ можна використовувати для попереднього розрахунку L_p . В подальшому передбачається коригування чисельності значень $K_{p.c.}$ з урахуванням зміни технічного стану тепловозного парку маневрових локомотивів.

Розрахунки за критеріями $\frac{F_K}{P_T}$ та $\frac{P_T \cdot V_P^2 \cdot q_e}{F_K}$ для маневрових тепловозів показали – різниця між отриманими значеннями критеріїв не перевищувала – 5%, що свідчить про правильність підходу до визначення значень Π і застосуванні теорії подібності і розмірностей. Результати розрахунку кількісних значень критеріїв подібності наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Результати розрахунку Π_2 та Π_3 для маневрових тепловозів ЧМЕЗ та ЧМЕЗП

Рід служби	Серія тепловоза	Π_2	Π_3
Маневрова	ЧМЕЗ	0,19	11,8
	ЧМЕЗП	0,22	14,7

Різниця отриманих значень P_2 і P_3 пов'язана з особливостями їх конструктивного виконання.

Залежно від чисельних значень критеріїв подібності тепловози розподілені на групи. При введенні в експлуатацію нових локомотивів після розрахунку критеріїв подібності можна тепловози віднести до певної групи і встановити для них L_C .

Однак, встановлення однозначної відповідності між $K_{c.m.}$ (коефіцієнт, що враховує серію тепловоза) і критеріями подібності (P_2 і P_3) що характеризують техніко-економічні параметри тепловозів утруднено у зв'язку з тим, що крім рівня надійності, закладеного при проектуванні і виготовленні, на тепловоз, окремі складальні одиниці і деталі діє ряд факторів експлуатаційного характеру.

Протягом терміну служби для тепловозів типу ЧМЕ 3 передбачається в системі ТОР проведення чотири КР двох видів (рисунок 3). Використовуючи допустимі межі зміни L_C , диференційовані міжремонтні періоди для п'яти інтервалів ремонтних циклів, значення $K_{в.т.}$ рівномірно розподілені пропорційно зростанню пробігу тепловоза від початку експлуатації (середнього "віку" тепловозного парку). Пропоновані чисельні значення $K_{в.т.}$ приведені на рисунку 4.

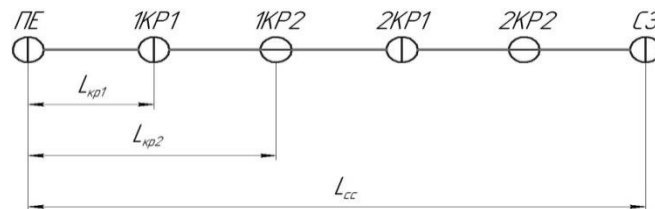


Рис. 3. Система капітальних ремонтів тепловозів

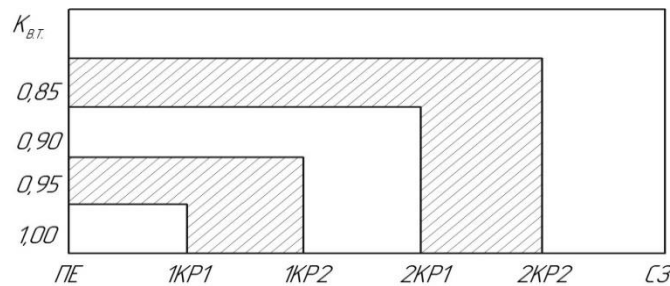


Рис. 4. Зміна $K_{в.т.}$ протягом терміну служби тепловозів

Відповідно з виразами (13 та 14) вироблено поділ території країни на три зони технічної жорсткості клімату (табл. 3). Кожній зоні технічної жорсткості відповідає певне значення $K_{п.у.}$ (рис. 5, 6).

Використання пропонованого кліматичного районування дозволить коректувати L_C з урахуванням кліматичних особливостей конкретних умов експлуатації тепловозів.

Таблиця 3. Характеристика зон технічної жорсткості клімату

Характеристика клімату	Бали технічної жорсткості	
	$N_{к.х}$	$S_{к.с}$
Маложорсткий (М)	0...30	0...15
Помірно жорсткий (УЖ)	31...60	16...25
Жорсткий (Ж)	61...90	26...35

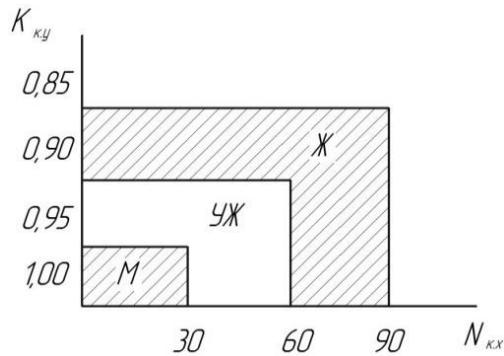


Рис. 5. Значення $K_{к.у.}$ для зон технічної жорсткості холодного клімату

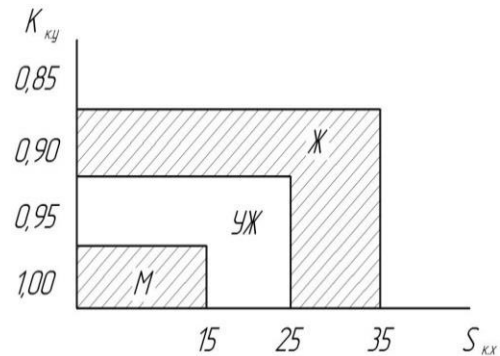


Рис. 6. Значення для зон технічної жорсткості жаркого сухого клімату

Розрахунки за формулою (15) для різних значень i_p при зміні $V_T = 25...70$ км/год показали, що чисельне значення технічної швидкості не робить впливу на результат обчислення, похибка не перевищувала 3%. Тому, для подальших розрахунків прийнято постійне $V_T = 40$ км/год, яке відповідає середньосітовому значенню для маневрових локомотивів з вагонами, що причеплені позаду.

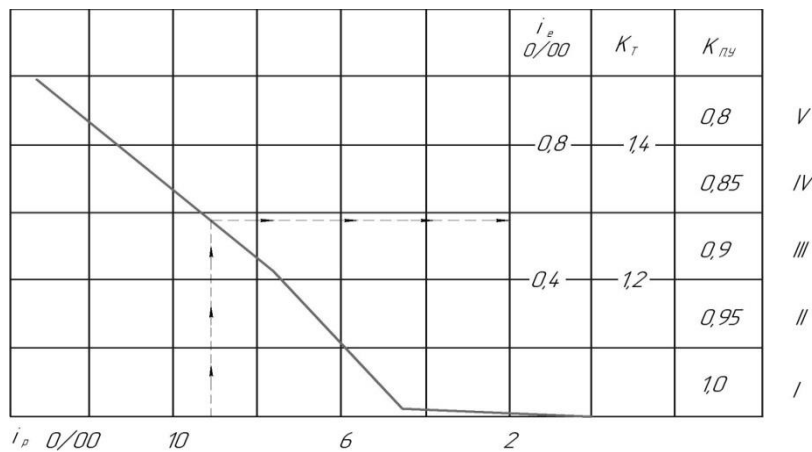


Рис. 7. Номограма для визначення $K_{к.у.}$

На підставі розрахунку K_T запропоновано класифікацію колійних умов, згідно з якою всі ділянки мережі залізниць розбиті на п'ять категорій труднощі і кожній відповідає певне значення коефіцієнта, що враховує вплив колійних умов ($K_{Л.У.}$). Для користування номограмою (рисунок 7) необхідно тільки значення i_p , за допомогою якого можна визначити i_e , K_T , $K_{Л.У.}$ та таким чином отримати величину коефіцієнта корегування L_C з урахуванням шляхових умов на ділянці обороту тепловозів. Корегування L_P з урахуванням шляхових умов виконана пропорційно підвищенню труднощі ділянок обороту, використовуючи допустимі відхилення L_C .

Використання запропонованої класифікації дозволить встановлювати L_P з урахуванням шляхових умов конкретної ділянки обороту тепловозів. По розробленій методиці були визначені раціональні міжремонтні пробіги для модернізованих тепловозів ЧМЕЗМ (П) при експлуатації їх в умовах роботи на станціях Донецької залізниці.

Висновки. Запропоновано автоматизовану систему вибору раціональних міжремонтних пробігів. Вона на основі комп'ютерних розрахунків дозволяє визначити раціональні пробіги між ТО та ПР модернізованих тепловозів типу ЧМЕЗ. Розрахункова частина автоматизованої системи базується на розробленій методиці визначення раціональної системи технічного обслуговування та ремонту модернізованих маневрових тепловозів серії ЧМЕЗП для конкретних умов експлуатації. Для модернізованого тепловозу ЧМЕЗП встановлено чисельні значення коефіцієнтів коригування середньо сітєвих норм міжремонтних пробігів при роботі його в умовах донецької залізниці. В подальшому доцільно впровадити дану автоматизовану систему визначення раціональних міжремонтних пробігів у АРМ локомотивного господарства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Четвергов В.А., Овчаренко С.М., Бухтеев В.Ф. Техническая диагностика локомотивов: учеб. пособие для специалистов. Москва : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. 371 с.
2. Крашенинін О.С. Розвиток наукових основ визначення системи утримання локомотивів при подовженні терміну експлуатації понад нормативний: дис. д-ра техн. наук: 05.22.07. УкрДАЗТ. Харків, 2013. 380 с.
3. Киселев В.И., Лакин Н.И. Новые тенденции в автоматизации управления локомотиворемонтным комплексом // Локомотив, 2017. № 11 с. 8-9.
4. Руднев В.С. Основы эксплуатации локомотивов: основы организации технического обслуживания и ремонта локомотивов ОАО «РЖД» // Локомотив, 2017. № 11 с. 31-35.
5. Осадчий В.Л., Бабіченко В.М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату // Український географічний журнал. 2013, № 4 с. 32-39.
6. Кравченко В.М., Ищенко А.А., Сидоров В.А., Буцукин В.В. Эксплуатация и обслуживание машин. Донецк, 2014. 532 с.
7. Гартаковский Э.Д., Фалендыш А.П., Калабухин Ю.Е., Грищенко С.Г. Оценка жизненного цикла // Локомотив-информ: научный журнал. 2013, №2 (80). С.56-60.
8. Фалендиш А.П., Сумцов А. Л., Артеменко О. В., Клецька О. В. Моделирование зміни коефіцієнту технічного використання маневрового тепловозу для різних систем утримання // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2016, №1/3 (79). С.24-31.
9. Сумцов А.Л. Удосконалення методів та моделей визначення системи технічної експлуатації модернізованих маневрових тепловозів: автореф. дис. на соиск. учен. степ. Канд. техн. наук : 05.22.07. Харків, 2017. 20 с.

10. Фалендиш А.П., Сумцов А.Л., Артеменко О.В. Програмний комплекс вибору системи технічної експлуатації маневрового тепловозу // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2016., №1. С.54-61.
11. Черемисин В.Т. Роль информационных технологий в обеспечении надежности локомотива. // Локомотив. 2017, № 9 с. 2-4.
12. 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.
13. 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.
14. Garmabaki A.H.S., Ahmadi A., Block J., Pham H., Kumar U. Reliability A reliability decision framework for multiple repairable units // Engineering and System Safety. 2016, №150, pp 78-88.
15. Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы второй международной научно-практической конференции. Москва: ООО «ТМХ-Сервис». 2015, 415 с.

REFERENCES

1. Chetvergov, V.A., Ovcharenko, S.M., & Bukhteev, V.F. (2014). *Tekhnicheskaya diagnostika lokomotivov: ucheb. posobie dlya spetsialistov. [Technical diagnosis of locomotives: studies. manual for professionals.]* Moscow: Federal State Budget Educational Establishment "Educational and Methodical Center for Education in Railway Transport" [in Russian].
2. Krashenin, O.S. (2013). *Rozvytok naukovykh osnov vyznachennya systemy utrymannya lokomotyviv pry podvzheni terminu ekspluatatsiyi ponad normatyvnyy [The development of the foundations of the foundations of the founding of the system and the utmost of the locomotives in case of a podvzheni terminu ikpluatatsii ponad normativniy]* Doctor's thesis. Kharkiv [in Ukraine].
3. Kiselev, V.I., & Lakin, N.I. (2017). *Novyye tendentsii v avtomatizatsii upravleniya lokomotivoremontnyim kompleksom [New trends in automation of locomotive repair complex management].* Lokomotiv - Lokomotiv, 11, 8-9 [in Russian].
4. Rudnev, V.S. (2017) *Osnovyi ekspluatatsii lokomotivov: osnovyi organizatsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta lokomotivov OAO «RZhD» [Fundamentals of Locomotive Operation: Fundamentals of the Organization of Maintenance and Repair of Locomotives of Russian Railways].* Lokomotiv - Lokomotiv, 11, 31-35 [in Russian].
5. Osadchy, V.I., & Babichenko, V.M. (2013). *Temperatura povitrya na terytoriyi Ukrayiny v suchasnykh umovakh klimatu [The temperature of the surface in Ukraine's territory is in the minds of the climate].* Ukrayins'kyi heohrafichnyy zhurnal - Ukrainian Geography Journal, 4, 32-39 [in Ukraine].
6. Kravchenko, V.M., Ishchenko, A.A., Sidorov, V.A., & Butsukin, V.V. (2014). *Ekspluatatsiya i obsluzhivanie mashin [Operation and maintenance of machines].* Donetsk [in Ukraine].
7. Tartakovsky, E.D., Falendysh, A.P., Kalabukhin, Y.E., & Grishchenko, S.G. (2013). *Otsenka zhiznennogo tsikla [Life cycle assessment].* Lokomotiv-inform: nauchnyy zhurnal - Lokomotiv-inform: a scientific journal, 2, 80, 56-60 [in Russian].
8. Falendish, A.P., Sumtsov, A.L., Artemenko, O.V., & Kletska, O.V. (2016). *Modelyuvannya zminy koefitsiyentu tekhnichnoho vykorystannya manevrovoho teplovozu dlya riznykh system utrymannya [Simulation of the change in the coefficient of technical use of shunting diesel locomotive for different containment systems].* Vostochno-evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohyy - East European Journal of Advanced Technologies, 1, 3, 79, 24-31 [in Ukraine].
9. Sumtsov, A.L. (2017). *Udoskonalennya metodiv ta modeley vyznachennya systemy tekhnichnoyi ekspluatatsiyi modernizovanykh manevrovyykh teplovoziv [Adaptation of the method of models for the design of systems and technical operations of modernized diesel locomotives].* Extended abstract of candidate's thesis. Kharkiv [in Ukraine].
10. Falendish, A.P., Sumtsov, A.L., & Artemenko, O.V. (2016). *Prohramnyy kompleks vyboru systemy tekhnichnoyi ekspluatatsiyi manevrovoho teplovozu [Program complex for the system and technical operation of a shunting diesel locomotive].* Informatsiyno-keruyuchi systemy na zaliznychnomu transporti - Information system-test system on a railway transport, 1, 54-61 [in Ukraine].
11. Cheremisin, V.T. (2017). *Rol informatsionnykh tekhnologiy v obespechenii nadezhnosti lokomotiva [The role of information technology in ensuring the reliability of the locomotive].* Locomotiv - Locomotive, 9, 2-4 [in Russian].
12. Songs, H., Schnieder, E. (2018). *Evaluating the Fence Tree to analyze the railway system dependability.* Safety Science Volume 110, 313-323 [in United Kingdom].

13. 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].

14. Garmabaki, A.H.S., Ahmadi, A., Block, J., Pham, H., & Kumar U.(2016). *Reliability A reliability decision framework for multiple repairable units*. Engineering and System Safety, 150, pp 78-88 [in United Kingdom].

15. ООО «ТМН-Servis» (2015). *Perspektivyi razvitiya servisnogo obsluzhivaniya lokomotivov [Prospects for the development of servicing locomotives]*. Materialyi vtoroy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: ООО «ТМН-Servis» - materials of the second international scientific-practical conference: ТМН-Service LLC. Moscov: 415 [in Russian].

А.В. Клименко

(преподаватель кафедры «Эксплуатация и ремонт подвижного состава» Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)

А.П. Фалендыш, д.т.н.

(профессор, заведующий кафедры Теплотехника и тепловые двигатели Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)

В.А. Гатченко, к.т.н., доцент

(Доцент кафедры «Тяговый подвижной состав железных дорог» Государственного университета инфраструктуры и технологий)

Н.А. Барыбин

(аспирант кафедры Теплотехника и тепловые двигатели Украинского государственного университета железнодорожного транспорта)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖРЕМОНТНЫХ ПРОБЕГОВ ДЛЯ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ МАНЕВРОВЫХ ТЕПЛОВОЗОВ ЧМЭЗ

В статье рассмотрены вопросы определения рациональных межремонтных пробегов и применения автоматизированной системы компьютерного моделирования сетевых норм. Установлены основные параметры рациональной системы технического обслуживания и ремонтов для конкретных условий эксплуатации, что позволит рационально использовать экономические ресурсы.

Ключевые слова: *автоматическая система, межремонтный пробег, технология обслуживания и ремонта, маневровый локомотив*

O.V. Klimenko

(lecturer of the Department of Exploitation and Repair of Rolling Stock of the Ukrainian State University of Railway Transport)

A.P. Falendysh, Doctor of Technical Sciences.

(Professor, Head of the Department of Thermal Engineering and Thermal Engines of the Ukrainian State University of Railway Transport)

V.O. Hatchchenko, Ph.D., Associate Professor

(assistant professor of the Traction Rolling Stock of the Department of the State University of Infrastructure and Technologies)

M.A. Barybin

(post-graduate student of the Department of Heat Engineering and Heat Engines of the Ukrainian State University of Railway Transport)

AUTOMATED SYSTEM OF DEFINITION OF INTER-REPAIRS FOR MODERNIZED SHUNTING DIESEL LOCOMOTIVES CHME3

In the article the questions of definition of rational inter-repair runs and application of the automated system of computer simulation of network norms are considered. This makes it possible to make full use of the resource of the components and parts of the locomotive, as well as to reduce the rises for maintenance and repair. The untimely setting of locomotive results in a deterioration of its technical condition and an increase in the cost of repair and preventive maintenance. The division of the territory of Ukraine according to the climatic conditions of operation of rolling stock and the rigidity of the service condition of the service should be proposed in order to increase the reliability of trouble-free operation. The approach to establishing the optimal structure of maintenance and repair system based on statistical data and analysis of the reliability of locomotive nodes is formulated. The basic parameters of the rational system of maintenance and repair for the specific operating conditions have been found, the numerical values of the correction factors confirmed by experimental operation of the locomotives of the ChME 3 (P) series on the Ukrzaliznytsia network have been theoretically determined, which allow the rational use of economic resources.

Keywords: *automatic system, inter-repair mileage, technology of maintenance and repair, maneuver locomotive.*

УДК 629.4

А.В Недак
(аспірант, *Государственный университет инфраструктуры и технологий*)

АНАЛИЗ МОНОРЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

В статье рассматривается монорельсовый транспорт (МТ) путем анализа существующих монорельсовых систем (МС). Установлено что данный вид транспорта имеет широкую область применения и способен эффективно улучшить транспортное обслуживание городского населения и промышленных комплексов. Описано историю развития МТ, подсчитано общую протяженность пассажирских монорельсовых линий и показано на диаграмме соотношение длины в зависимости от места расположения МС. Дано определение, описаны общие характеристики и преимущества использования МС. МТ классифицировано в зависимости от типа транспортного средства, способа размещения относительно направляющей и конструкции ходовой части.

Ключевые слова: монорельсовый транспорт, система, направляющая, протяженность, конструкция, вагон, проектирование, электродвигатель, пневматическая шина, инфраструктура, технологии.

Введение. В настоящее время существует повышенный спрос на системы транспортировки, особенно это актуально в мегаполисах, где существует высокий пассажиропоток, а существующие транспортные системы не справляются с поставленной задачей. На данный момент популярностью пользуются такие виды наземного и подземного транспорта: железнодорожный, легкорельсовый, автомобильный и метрополитен.

Монорельсовый транспорт является одним из видов наземного транспорта, однако на сегодняшний день монорельсовая система не пользуется большой популярностью, а общая протяженность монорельсовых линий ничтожно мала по сравнению с остальными видами транспорта. Тем не менее, стоит отметить, что монорельсовые системы активно используются в крупных промышленных комплексах по всему миру. История первых разработок монорельсового транспорта указывает на то, что основным его назначением была перевозка грузов, но по мере развития область применения расширялась, и его начали использовать:

– в роли городского общественного транспорта – как неплохую альтернативу остальных видов наземного транспорта;

– в аэропортах в качестве внутреннего транспорта (между терминалами, между терминалами и парковками, или между терминалом и приписанной к аэропорту пригородной железнодорожной станцией), а также для прямой связи с центрами ближайших городов;

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-3

– в парках развлечений, зоопарках, больших развлекательных центрах, на выставочных площадках и т.д.

Термин монорельс охватывает множество систем, которые служат для грузовых и пассажирских перевозок, а монорельсовая система может быть классифицирована в зависимости от своей конструкции, способа движения и вместительности. Значительное разнообразие технологических различий между монорельсовыми системами приводит к тому, что в ходе беседы у человека возникает множество подсознательных образов и в конечном результате он не совсем верно понимает, что же такое монорельсовый транспорт и о чем идёт речь.

Большинство людей привыкло считать монорельсовый транспорт (от англ. *monorail*, в переводе с английского *mono* – комбинированная форма *one* – «один» и *rail* – «рельс», «железнодорожный путь») разновидностью железнодорожного транспорта, который отличается от обычной железной дороги лишь тем, что здесь используется один несущий рельс вместо привычных двух. Однако такое суждение совершенно не верное, и в данной статье мы разберемся с основополагающими характеристиками монорельсового транспорта.

Постановка проблемы и анализ последних исследований. Эффективность работы транспортной инфраструктуры в значительной степени влияет на развитие и конкурентоспособность экономики страны, а также улучшает качество жизни населения. Для того чтобы транспортная инфраструктура смогла удовлетворить все задачи возложенные на нее в наши дни она нуждается в постоянном развитии. Расширение уже существующей инфраструктуры и обеспечение её эффективного функционирования – те задачи, над которыми работают правительства различных стран, для решения которых стоит рассматривать монорельсовую транспортную систему.

Несколько разработок монорельсовой системы проходило на Украине, для демонстрации которых было построено экспериментальные треки: в 1960-70х годах, ученые КПИ (О. Шаповаленко, К. Биков, А. Вишникин под руководством С Реброва) совместно с Киевским заводом электротранспорта разрабатывали транспортное средство с линейным асинхронным двигателем. В 1966 году, когда вагон был готов, на полигоне под Вышгородом построили участок пути протяженностью 525 метра; в 2004 году, на испытательном полигоне в Гостомеле, построили 300-т метровую трасу и одну посадочную платформу, а 1 октября 2004 года произошёл официальный запуск системы, которую представили тогдашнему меру г. Киева (О. Омельченко). Оба проекта не увенчались успехом, и дальнейшей их разработкой перестали заниматься. Участки пути забросили, а с течением времени демонтировали.

Исследование поперечной и продольной устойчивости монорельсового вагона, навесной системы «Alweg» представлены в трудах А.Н. Ефименко. Похожие экипажи было рассмотрено В.Г. Вербицким в научном труде «Введение в теорию устойчивости колесных экипажей и рельсового пути».

Монорельсовый транспорт по-прежнему остаётся мало изучен, о чем свидетельствует количество работ в этой области, и нуждается в дальнейшем рассмотрении. Совсем другая ситуация наблюдается в Азии, где монорельсовый транспорт считается очень перспективным и ведутся активные разработки в этой области. Единственная страна, в которой стандартизирована монорельсовая система – Япония.

Цель и задачи исследования. Перед тем как говорить об актуальности внедрения монорельсового транспорта в отечественную инфраструктуру следует

провести детальний аналіз даного транспорту, визначити основні принципи пристрою та роботи монорельсової системи. Для цього необхідно: вивчити історію розвитку монорельсової системи, проаналізувати поточний стан розвитку даного транспорту, визначити сфери застосування, дати визначення монорельсовому транспорту, описати його основні характеристики та класифікувати за певними ознаками. Дослідження спрямоване на актуальне відображення конструкції та дозволить критично підійти до вибору монорельсового транспорту, враховуючи основні принципи роботи системи.

Історичний огляд та поточна ситуація. Історія розвитку монорельсових транспортних систем бере свій початок одночасно з розвитком залізничних доріг. Першою в світі залізничною дорогою загальної користування Стоктон — Дарлінгтон побудував Джордж Стефенсон (Stephenson) у 1825 році. У тому ж році англійський інженер Генрі Робінсон Пальмер (Palmer) побудував першу монорельсову дорогу за патентом, який він зареєстрував ще у 1821 році. Спочатку монорельсову дорогу планували використовувати для перевезення вантажів, але швидко по ній почали перевозити й пасажирів.

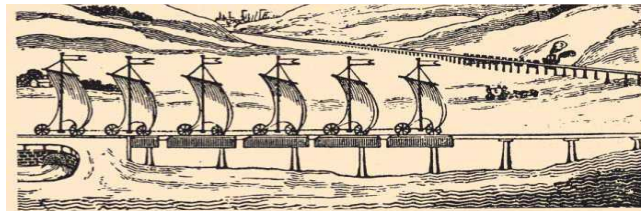


Рис. 1. Перша монорельсова транспортна система, побудована Г.Р. Пальмером, 1825 г. ¹⁸

Дорога представляла собою металевий рельс, зміцнений на дерев'яних стовпних опорах, по якому передвигалися колеса екіпажів, що представляли в поперечному перерізі букву «Л». Колесо знаходилося в верхній частині рами, вантаж розміщувався в кошиках, зміцнених симетрично з двох сторін екіпажа.

У 1869 році на ділянці від ле-Ренсі до Монфермея в якості досвіду було побудовано однорельсову залізничну дорогу системи Ларманжа. У цій системі два головні колеса розташовані вздовж довгої осі вагона, і переміщуються по одному рельсу, піднятому на 20 мм над рівнем ґрунту. Для стійкості під серединою вагона розташовані два бокових колеса, що кочуться по ґрунту, як у звичайних екіпажах. Для зменшення ударів на нерівностях, колеса — на ресорах. Бокові колеса локомотивів служать разом з ними для передачі руху.

У 1876 році на офіційній всесвітній виставці в Філадельфії, штат Пенсильванія (США), генерал Ле-Рой Стоун представив першу монорельсову систему, що працює на паровому двигуні. Це було двоповерхове транспортне засіб, рух якого забезпечували два основні колеса, що приводяться в рух ротором парового двигуна.

Монорельсова дорога «Sonoma Prismoidal» — стала першою лінією, що з'єднує північ каліфорнійського міста Сонома з затокою Сан-Пабло, в

месте высадки парового судна. Изначально планировали строительство 7-и миль дороги, но удалось построить всего три с половиной мили. Монорельсовая линия была выполнена полностью из дерева, и располагалась к северу от Норфолка. Проработала она с 23 ноября 1876 года по 5 мая 1877 года.

В 1878 году модифицированная версия монорельсовой дороги генерала Стоуна, длиною в 6,4 км, была введена в эксплуатацию между Брэдфордом и Гилмором, штат Пенсильвания. Монорельс был построен для транспортировки нефтяного бурового оборудования и персонала в Деррик Сити.

В 1886 году Дж Мейгс построил свою возвышенную железную дорогу, чтобы продемонстрировать преимущества и возможности монорельса, 227-футовая демонстрационная линия была построена в Восточном Кембридже, штат Массачусетс. В 1894 году линию было закрыто.



Рис. 2. Монорельсовая дорога капитана Дж. Мейгса, 1886 г. ¹⁹

В 1886 году Чарльз Лартиг (Lartigue) продемонстрировал свою систему в Лондоне (был построен отрезок пути Холмы Тотхилл – улица Виктории – Вестминстер, по которому ездил паровоз). Демонстрация вызвала интерес, и Лартигу удалось собрать тридцать тысяч фунтов стерлингов на строительство монорельса «Listowel and Ballybunion Railway» в Ирландии, между морским курортом Баллибанион (Ballybunion) и городом Листоуэл (Listowel), где кончалась обыкновенная железная дорога.

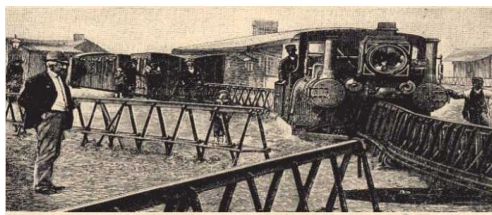


Рис. 3. Монорельсовая дорога системы Лартига, 1887 г. ¹⁸

В 1890 году в США была построена монорельсовая железная дорога Boynton Unicycle Railway. На этой дороге поезд опирался на один несущий рельс, сверху же проходил поддерживающий деревянный рельс. Основным недостатком такой дороги было то, что на поворотах из-за инерции («центробежной силы») на поддерживающий рельс действовали высокие нагрузки.

1 марта 1901 года была запущена «Wuppertaler Schwebebahn» первая подвесная монорельсовая дорога системы Ойгена Лангена (нем. *Einschienige Hängebahn System Eugen Langen*) в городе Вуппертале. Дорога является старейшим действующим подвесным монорельсом в мире. Ей удалось пережить две мировые войны и продолжает работать с прибылью и безопасностью сегодня.

До 1950 года изобретатели не прекращали предпринимать попыток по улучшению предыдущих конструкций и созданию новых монорельсовых линий в надежде заинтересовать предпринимателей, и представителей властных структур.

Начиная с 1950, монорельсовые дороги были созданы в Японии (1957), в Диснейленде Калифорнии (1959), в Сиэтле (1962), в Walt Disney World во Флориде (1971), на Гавайях (1976) и т.д. Эти монорельсовые системы являются более современные по своей конструкции, а некоторые из них работают и в наши дни.

На основании собранной информации было установлено, что в 2018 году общая протяженность монорельсовой линии по всему миру составила около 411 тысяч километров (для расчета были взяты только пассажирские линии). Сюда вошли 42 монорельсовые системы, среди которых 23 находятся в странах *Азии*, 10 в *Европе*, 8 в странах Америки и 1 в Океании. Если сравнивать за общей протяженностью то мы увидим, что на станы Азии приходится 79% (324, 37 км.) всех линий, 7% (29,88 км.) расположены в странах Европы, 13% (55,3 км.) в Америке и менее 1% (2 км.) в Океании.

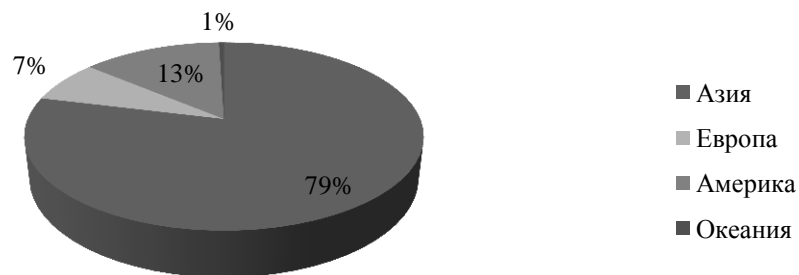


Рис. 4. Соотношение протяженности линий монорельсового транспорта относительно их размещения в станах Азии, Европы, Америки и Океании

Из диаграммы можно увидеть, что монорельсовый транспорт пользуется наибольшей популярностью в странах Азии. В Китайском городе Чунцин компания «*Chongqing Rail Transit Corp., Ltd*» запустила две монорельсовые линии (2 и 3) общей протяженностью около 98 километров. Строительством занималась компания *Hitachi* взявшая за основу монорельсовую систему *Alweg*. Стоит отметить и тот факт, что линия 3 является самой крупной по своей протяженности и самой загруженной по количеству пассажиров среди остальных монорельсовых дорог по всему миру. Ежедневный пассажиропоток составляет более 675000 пассажиров в день.

Международной ассоциацией общественного транспорта (UITP) было подсчитано приблизительное количество пассажиров, которое перевозят различные виды городского общественного транспорта с расчета 3 - 5 пассажиров на квадратный

метр: автомобиль – 2 тис. пас/час, автобус - 9 тис. пас/час, трамвай - 22 тис. пас/час, монорельс (данные взяты для монорельсовой системы Alweg, разработанной компанией Bombardier) - 48 тис. пас/час, метро – 50+ тис. пас/час.

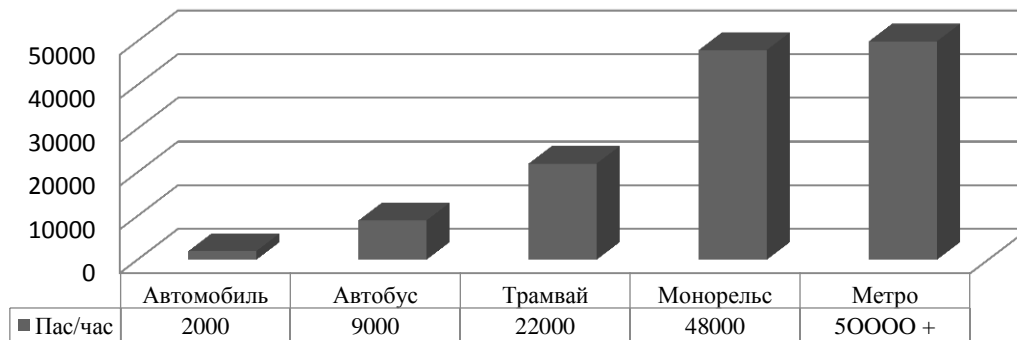


Рис. 5. Пассажиропоток на городском общественном транспорте: автомобиль, автобус, трамвай, монорельс и метро

Приведённые выше данные демонстрируют то, что монорельсовая система может быть весьма эффективна и дополнит транспортную инфраструктуру любого города, выполняя все возложенные на неё задачи.

Общая характеристика монорельсовой транспортной системы. Использование монорельсовой транспортной системы при проектировании скоростных пассажирских линий позволило её конструкторам считать, что основополагающим условием безопасности была необходимость обеспечения свободного движения скоростных экипажей без пересечения на одном уровне с любыми другими видами транспорта. Поэтому было принято решение поднимать скоростные дороги на высокую насыпь эстакады, устраивать путепроводы и мосты. При этом изобретатели справедливо отмечали недостаток громоздкой рельсо-шпальной путевой структуры обычной железной дороги в случае необходимости ее подъема над землей. Монорельсовые конструкции в эстакадном варианте представлялись конструктивно целесообразнее и дешевле.

Стало быть, поэтому в существующей практике *монорельсовый транспорт* – это эстакадный вид транспорта, когда движение транспортного средства происходит по одиночной направляющей. При этом большинство монорельсовых систем имеют возвышенную несущую конструкцию, выполненную из металла или предварительно напряженного железобетона. Транспортное средство (поезда) используют колёса, которые оснащены пневматическими шинами, благодаря чему они могут преодолевать участки пути с большим уклоном, к тому же такие поезда более тихие в отличие от железнодорожных поездов.

В роли тяговой установки для монорельсовых поездов используют электродвигатель (в XIX веке было построено несколько систем, которые использовали бензиновый и паровой двигатели, но те системы вскоре были закрыты), кабельный привод и магнитную левитацию. Наибольшей популярностью пользуется именно электродвигатель, так как он обладает рядом преимуществ:



Отсутствие дыма и других выбросов в атмосферу – электрический двигатель экологический и безопасный, что позволяет использовать монорельс в



помещениях, парках развлечений, зоопарках....

Бесшумная езда – электрический двигатель не создаёт много шума и позволяет кататься в условиях и местах, требующих отсутствия шума.



Технологичность, простота и компактность – по сравнению с двигателем внутреннего сгорания, в электродвигателе нет фильтров и нужды использовать коробку передач, сцепление, а так же другие сложные конструкции. Это позволяет сократить количество деталей, которые могут выйти из строя и площадь необходимую для их установки на транспортном средстве. При этом в электродвигателе отличный крутящий момент и почти мгновенный разгон до максимальных оборотов.



Практичность в использовании, уходе и обслуживании – не используются горюче-смазочные материалы, бензин, моторные масла, ремни ГРМ, фильтры. Постоянный и основной расход - это топливо в виде электричества, которое по цене и доступности не сравнится с бензином.

Система магнитной левитации *Magwel* (от англ. *magnetic levitation* – «магнитная левитация») в которой для движения поездов используется сила электромагнитного поля, является относительно новой и пока что мало изучена, на данный момент ведется активная разработка этой технологии.

Классификация монорельсового транспорта. В зависимости от способа размещения поезда относительно направляющей однорельсовые системы разделены на три категории:

– *навесные* (двойственной политики) – центр тяжести вагона размещён выше точки опоры. Наиболее популярной навесной системой является монорельсовая система Alweg (Рис. 6), тележки которого, оснащены пневматическими шинами, а движение происходит по железобетонной балке.

– *подвесные* (приостановленный) – центр тяжести вагона размещен ниже точки опоры. Ярким примером подвесной системы является монорельсовая система SAFEGE (Рис. 7). Система устроена таким образом, что снизу по всей длине балки проходит отверстие, через которое вагон, при помощи маятникового типа подвески с пневматическими пружинами, соединяется с тележкой, движение которой происходит внутри этой балки. Как и в предыдущем случае колёса тележки оснащены пневматическими шинами, а направляющая выполнена из предварительно напряженного железобетона.

– *консольные* (боковой подвес) – центр тяжести вагона расположен в один уровень с направляющей, а движение вагона происходит по боковой грани с обеих сторон несущей конструкции (Рис. 8).



Рис. 6. Монорельсовая система Alweg, город Осака, Япония ²⁰



Рис. 7. Монорельсовая система SAFEGE, город Тиба, Япония ²¹

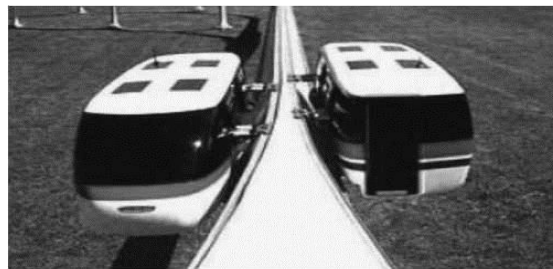


Рис. 8. Консольная монорельсовая система ²²

Монорельсовый транспорт системы Alweg разработанный компанией Hitachi, имеет вагоны трёх типов: *малый, стандартный и большой*. От этого выбора зависит ряд параметров: вместительность, нагрузка на ось, габариты направляющей, радиусы кривой.

Таблица 1. Технические характеристики монорельсовой системы ²³

Тип	Вместимость	Нагрузка на ось	Габариты направляющей	Макс. градиент	Минимальный радиус кривой
большой	415 пас.	11 т	850 мм × 1500 мм	6 %	70 м
стандарт	348 пас.	10 т	800 мм × 1400 мм	6%	70 м
малый	194 пас.	8 т	700 мм × 1300 мм	6%	40 м

Все технические характеристики применяются в монорельсовой системе Hitachi. «Вместимость» представляет собой обычную нагрузку (3 пас./1 м²) для поезда с четырьмя вагонами.

Во время разработки монорельсовых дорог конструкторы используют различные технологические решения для ходовой части транспортного средства, поэтому существует большое разнообразие монорельсовых систем: *Alweg, InvertedT, Steel Box Beam, Magwel, SAFEGE, Cable Car, Double-flanged, I-Beam, Консольная, PRT*. Конструкторское решение позволяет сделать выбор в пользу системы, которая в наибольшей степени соответствует определённым условиям, учитывая преимущества и недостатки каждой из них.

Выводы. Основное назначение данного материала – описание монорельсовой системы, которая выступает в роли альтернативного транспортного средства. В статье было отмечено, что большой выбор конструктивных решений позволяет использовать данный транспорт во всех сферах деятельности: в промышленности – грузовые перевозки; в городах – общественный транспорт; в парках развлечений, зоопарках, больших развлекательных центрах, на выставочных площадках и т.д. - экскурсионный транспорт. Широкая область применения и высокая эффективность не сделали монорельсовую систему лидером транспортной отрасли, и сейчас монорельсовый транспорт является менее популярным в отличие от остальных видов общественного транспорта, а общая протяженность пассажирской монорельсовой линии за последними подсчётами составляет около 411 тысяч километров.

Приподнятая конструкция монорельсовой системы позволяет транспортному средству не пересекаться с остальными видами транспорта, тем самым оказывая влияние на уровень безопасности во время эксплуатации. Большинство монорельсовых систем работают на электрическом питании, благодаря чему не производят выбросы вредных веществ в окружающую среду. По воздействию на окружающую среду монорельсовый транспорт можно сравнивать разве что с троллейбусом, который так же не загрязняет атмосферу своими выбросами. В 2007 году монорельсовая транспортная система Лас-Вегаса помогла в сокращении численности автомобильного транспорта примерно на 3,2-х миллионах миль основных дорог Южной Невады, благодаря чему удалось в течение года сократить выбросы в атмосферу более чем на 58 тонн: угарного газа (CO), летучих органических соединений (VOC) и оксидов азота (NOx).

В ходе изучения данного транспорта было отмечено, что в зависимости от способа размещения транспортного средства монорельсовая система подразделяется на навесную – центр тяжести вагона находится выше точки опоры, подвесную – центр тяжести вагона расположен ниже точки опоры и консольную - вагон на одном уровне с направляющей. Важным критерием монорельсовой системы является тип вагона, так как от данного выбора зависят технические характеристики всей системы.

В заключение можно сказать о том, что монорельсовый транспорт весьма разнообразен в своей конструкции и может адаптироваться практически к любым эксплуатационным условиям, а выбор той или иной монорельсовой системы сводится к выбору набора определённых параметров, которые являются наиболее целесообразными для использования в конкретном случае.

ЛИТЕРАТУРА

1. Leroy W. Demery, Jr. *Monorails In Japan: An Overview publictransit.us Special*. Report No. 9 June 22, 2005.
2. Christos N. Pyrgidis *Railway Transportation Systems Design, Construction and Operation – Aristotle University of Thessaloniki, Greece*. (February 25, 2016)

3. Peter E. Timan *Why Monorail Systems Provide a Great Solution for Metropolitan Areas*. Published online: 4 April 2015.
4. Tarighi. A , *Muto-Criteria feasibility assessment of the monorail*. 2011. Master dissenation. Middle East Technical University.
5. Monorail Society: сайт. URL: www.monorails.org. (дата обращения: 19.07.2018).
6. Hitachi-Rail.com: Hitachi Railway Systems Website. URL: https://www.hitachi-rail.com/products/rolling_stock/monorail/index.html. (дата обращения: 19.07.2018).
7. Преимущества электрического двигателя: сайт. URL: <https://ekoleso.su/preimy4estwa.html>. (дата обращения: 11.11.2018).
8. Ghafooripour. A .. Ogwuda. O. & Rezaei. S.. *An efficient cost analysis of monorail in the Middle East using statistics of existing monorail and metro models*. Urban Transport XVIII: Urban Transport and the Environment in the 21st Century, 18. 128-241.
9. Patrick Miller, Lina Kattan, S.C. Wirasinghe, Alexandre De Barros *Monorails for sustainable transportation – a review*. Conference Paper May 2014.
10. LIU Xi, SUN Huan, LIU Fang-gang *Study on the Application and Development of Monorail Transit System* International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181 Vol. 3 Issue 5, May – 2014.
11. www.STC-IN.com & www.skytraincorp.com Monorail History & Technology of Successful URL: http://www.skytraincorp.com/pp/stc_mht.pdf. (дата обращения: 05.07.2018)
12. Japan Monorail Association, *Monorails Future of Urban Travel*. 2016. URL: <http://www.nihon-monorail.or.jp>. (дата обращения: 19.07.2018)
13. Nobuhiko Kimijima, Sang-Jae Kim, Kazuya Furuta, Tomoyuki Sakatsume Daegu *Urban Railway Line 3 Monorail System in South Korea*. Hitachi Review Vol. 66 (2017), No. 2.
14. Солодкий, А. И. Транспортная инфраструктура: учебник и практикум для СПО / А. И. Солодкий, А. Э. Горев, Э. Д. Бондарева ; под ред. А. И. Солодкого. М. : Издательство Юрайт, 2018. 290 с.
15. Das. A. M., Ladin. M. A., Ismail, A., and Rahmat. K. O., *Consumers satisfaction of public transport monorail user In Kuala Lumpur*. 2013. Journal of Engineering Science and Technology, 8(3) 272-283.
16. C I Crăciun, M A Spiroiu and B Voiculescu *Monorail - an alternative solution for the urban transport in Romania* Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP - Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 444, Automotives. Engine and Transmission. Road Safety.
17. M. Намурсу, Т. Eren, Sigma J Eng *SELECTION OF MONORAIL TECHNOLOGY BY USING MULTICRITERIA Publications Prepared for Transist 2016*, 9th International İstanbul Transport Congress.
18. И. П. Киселёв, «ТРАНСПОРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ» №1 (20) 2009 с. 62-63. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/monorelsovye-kolesnye-transportnye-sistemy> (дата обращения: 15.09.2018)
19. URL: https://monorails.info/images/history_img/6-Meigs_Elevated_train.jpg – (дата обращения: 26.02.2019).
20. URL: <https://monorails.info/images/gallery/Monorails%20of%20Asia/OsakaMonorail1000Series01.jpg> – (дата обращения: 26.02.2019).
21. URL: https://monorails.info/images/gallery/Monorails%20of%20Asia/Chiba_Urban_Monorail_0-series_201206-01.jpg (дата обращения: 26.02.2019).
22. URL: <http://www.monorails.org/tMspages/TPindex.html> (дата обращения: 21.10.2018).
23. URL: <https://monorails.info/about-monorails/classification> (дата обращения: 26.02.2019).

REFERENCES

1. Leroy W. Demery, Jr. *Monorails In Japan: An Overview publictransit.us Special*. Report No. 9 June 22, 2005.
2. Christos N. Pyrgidis *Railway Transportation Systems Design, Construction and Operation – Aristotle University of Thessaloniki, Greece*. (February 25, 2016)
3. Peter E. Timan *Why Monorail Systems Provide a Great Solution for Metropolitan Areas*. Published online: 4 April 2015.
4. Tarighi. A , *Muto-Criteria feasibility assessment of the monorail*. 2011. Master dissenation. Middle East Technical University.
5. Monorail Society website, Available at www.monorails.org. (accessed 19 July 2018).
6. Hitachi-Rail.com: Hitachi Railway Systems Website. URL: https://www.hitachi-rail.com/products/rolling_stock/monorail/index.html. (accessed 19 July 2018).
7. Preimushchestva elektricheskogo dvigatelya, Available at <https://ekoleso.su/preimy4estwa.html>. (accessed 11 November 2018).

8. Ghafooripour, A. ., Ogwuda, O. & Rezaei, S.. *An efficient cost analysis of monorail in the Middle East using statistics of existing monorail and metro models*. Urban Transport XVIII: Urban Transport and the Environment in the 21st Century, 18. 128-241.
9. Patrick Miller, Lina Kattan, S.C. Wirasinghe, Alexandre De Barros *Monorails for sustainable transportation – a review*. Conference Paper May 2014.
10. LIU Xi, SUN Huan, LIU Fang-gang *Study on the Application and Development of Monorail Transit System* International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181 Vol. 3 Issue 5, May – 2014.
11. www.STC-IN.com & www.skytraincorp.com Monorail History & Technology of Successful URL: http://www.skytraincorp.com/pp/stc_mht.pdf. (accessed 05 July 2018).
12. Japan Monorail Association, *Monorails Future of Urban Travel*. 2016. URL: <http://www.nihon-monorail.or.jp>. (дата обращения: 19.07.2018).
13. Nobuhiko Kimijima, Sang-Jae Kim, Kazuya Furuta, Tomoyuki Sakatsume Daegu *Urban Railway Line 3 Monorail System in South Korea*. Hitachi Review Vol. 66 (2017), No. 2.
14. A. I. Solodkiy, A. E. Gorev, E. D. Bondareva *Transportnaya infrastruktura : uchebnik i praktikum dlya SPO* [Transport infrastructure: textbook and workshop for SPO] M. : Izdatel'stvo Yurayt [in Russian].
15. Das. A. M., Ladin. M. A., Ismail, A., and Rahmat. K. O., *Consumers satisfaction of public transport monorail user In Kuala Lumpur*. 2013. Journal of Engineering Science and Technology, .8(3) 272-283.
16. C I Crăciun, M A Spiroiu and B Voiculescu *Monorail - an alternative solution for the urban transport in Romania* Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP - Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 444, Automotives. Engine and Transmission. Road Safety.
17. M. Hamurcu, T. Eren, Sigma J Eng *SELECTION OF MONORAIL TECHNOLOGY BY USING MULTICRITERIA Publications Prepared for Transist 2016*, 9th International Istanbul Transport Congress.
18. I. P. Kislov. (2009). TRANSPORT ROSSIYSKOY FEDERATSII [TRANSPORT OF THE RUSSIAN FEDERATION]. №1, 62-63. Available at <https://cyberleninka.ru/article/v/monorel-sovye-kolesnye-transportnye-sistemy> [in Russian].
19. Public domain, Available at https://monorails.info/images/history_img/6-Meigs_Elevated_train.jpg (accessed 26 February 2019).
20. Author: *Kansai explorer*, Available at <https://monorails.info/images/gallery/Monorails%20of%20Asia/OsakaMonorail1000Series01.jpg> (accessed 26 February 2019).
21. Author: *PekePON*, Available at https://monorails.info/images/gallery/Monorails%20of%20Asia/Chiba_Urban_Monorail_0_series_201206-01.jpg (accessed 26 February 2019).
22. Available at <http://www.monorails.org/tMspages/TPindex.html> (accessed 21 October 2018).
23. Available at <https://monorails.info/about-monorails/classification> (accessed 26 February 2019).

Andrii Nedak,
(Postgraduate of State University of Infrastructure and Technologies)

ANALYSIS OF MONORAIL TRANSPORT

The article discusses monorail transport (MT) by analysis of existing monorail systems (MS). It is established that this type of transport has a wide scope and is able to efficiently improve the transport services for the urban population and industrial complexes. The history of MT is described, the total length of passenger monorail lines has been counted and the length ratio depending on the location of MC is shown in the graph. A definition, description of the general characteristics and advantages of MS usage is provided. MT is classified depending on the type of vehicle, method for arranging relative to guides and chassis design.

Keywords: monorail transport, system, guide rail, length, carriage, designing, electric motor, pneumatic tire, infrastructure, technology.

А.В Недак

(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)

АНАЛІЗ МОНОРЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ

У статті розглядається монорельсовий транспорт (МТ) шляхом аналізу існуючих монорейкових систем (МС). Встановлено що даний вид транспорту має широку сферу застосування і здатний ефективно покращити транспортне обслуговування міського населення та промислових комплексів. Описано історію розвитку МТ, підраховано загальну протяжність пасажирських монорейкових ліній та показано на діаграмі співвідношення довжини в залежності від місця розташування МС. Надано визначення, описані загальні характеристики і переваги використання МС. МТ класифіковано залежно від типу транспортного засобу, способу розміщення щодо направляючої та конструкції ходової частини.

Ключові слова: *монорейковий транспорт, система, направляюча, протяжність, конструкція, вагон, проектування, електродвигун, пневматична шина, інфраструктура, технології.*

УДК 629.4.014.3

*Сергій Турпак, д.т.н., професор
(завідувач кафедри транспортних технологій, Запорізький
національний технічний університет)*

*Юлія Завальна
(інженер-математик відділу АСУ ТП)*

*Сергій Грицай
(старший викладач кафедри транспортних технологій, Запорізький
національний технічний університет)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА АГЛОМЕРАТУ НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Виконані дослідження впливу процесів виробництва агломерату на показники роботи залізничного транспорту. Встановлені особливості організації технологічних перевезень продукції агломераційного цеху. Поставлена задача розробки методології врахування фактору планових та непланових ремонтів агломераційних машин у плануванні витрат на перевезення гарячого агломерату.

***Ключові слова:** агломераційна машина, планування, спостереження, експоненціальний розподіл, теорія масового обслуговування, інтенсивність потоку, ремонт.*

Вступ. Надходження готової шихти до доменного цеху для подальшої переробки у чавун здійснюється за допомогою залізничного транспорту. Процес цей характеризується тривалістю обороту составів, та кількістю матеріалу, який транспортується в составах. Характерною особливістю цього процесу є досить часте проведення планових та позапланових ремонтних робіт, як в агломераційному, так і в доменному цеху, тому існує необхідність розглянути характер зупинок агломашин та їх вплив на рух залізничних составів між переділами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Запорукою ефективного функціонування металургійного підприємства є узгоджена робота агломераційного та доменного цеху [1-2]. Вона характеризується вчасним та безперебійним надходженням агломерату до доменних печей, що задовольняє умовам безперервного процесу виробництва чавуну відповідно до виробничих планів [3-4].

Через значну потужність матеріалопотоків між агломераційним та доменним цехами, їх розташовують поряд один з одним, для виконання процесів доставки вантажів використовують найбільш продуктивні види транспорту – конвеєрний та залізничний [5-6].

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-4

До основних факторів, що впливають на виконання плану робіт доменного цеху відносять коливання часу вивантаження шихтового матеріалу з бункерів до вагонів, їх накопичення під час вивантаження у доменному цеху, можливі ремонтні роботи з вилученням вагонів з складу та ін. [7].

Однак, окрім наведених вище причин збою в транспортно-технологічному циклі перевезення вантажу між двома цехами, необхідно враховувати можливість простою бункерів, у разі проведення робіт на обладнанні агломашин.

Мета і завдання дослідження – визначення характеру впливу технологічних процесів агломераційного виробництва на показники роботи залізничного транспорту при доставці гарячого агломерату в доменний цех.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі підзадачі:

1. Провести аналіз основних параметрів роботи агрегатів агломераційного виробництва та встановити закони розподілу випадкової величини інтервалів часу між позаплановими зупинками агломашин.

2. Виконати аналіз тривалості ремонтів агломашин та визначити ймовірність їх аварійних зупинок.

3. Виконати попередню оцінку впливу роботи агломашин на ефективність функціонування транспортної системи доставки агломерату та визначити необхідність подальших досліджень в цьому напрямку.

Матеріали та методи дослідження. Початок виробничого процесу на сучасних металургійних підприємствах характеризується надходженням замовлення на виробництво тієї чи іншої продукції. Після чого слідує етапи планування основних кроків виробничого процесу [8].

Структурно сучасне металургійне підприємство (рис.1) містить відділи, що відповідають за отримання замовлення на продукцію, його оформлення, контроль наявності необхідних матеріалів, контроль за робочим станом необхідного обладнання, виробничих цехів та відділів, що відповідають за відвантаження продукції та ін.



Рис. 1. Організаційна структура підприємства

Після отримання підприємством замовлення на продукцію (робота відділу продажів), розробляється довгостроковий план роботи (плановим відділом) (рис.2). Визначається наявність необхідної сировини в якості запасів на складах (відділ постачання), виробляються закупівлі відсутніх матеріалів (відділ закупівель), формуються маршрути пересування матеріалів в залежності від етапів виробництва. Розробляється план, відповідно до технологічних карт роботи

виробничого устаткування, формуються поточні плани роботи з встановленням термінів їх виконання. Після закінчення виробничого етапу, розробляються плани з відвантаження готової продукції (відділом логістики та збуту) або зберігання .

В якості довгострокового плану, формуються основні економічні стратегії підприємства на тривалий період. На основі довгострокового плану встановлюються терміни для поточного і оперативного планів [9].

У процесі планування береться до уваги й поточний стан технологічного обладнання та графік його зупинок і ремонту.

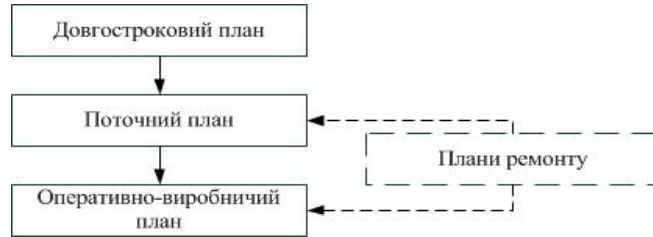


Рис. 2. Структурна схема етапів планування виробничого процесу

Отримавши поточний план робіт, виробничий персонал починає його розподілення між структурними підрозділами та виконання. Однак, в ході технологічного процесу існує можливість позапланових (непередбачених) зупинок устаткування, що характеризуються передчасним виходом з ладу обладнання. В такому випадку, структурна схема, представлена на рис.2 буде мати наступний вигляд (рис. 3.)



Рис.3. Структурна схема етапів планування виробничого процесу у реальних умовах

Оскільки порушення ходу технологічного процесу, представленого у вигляді зупинок основного обладнання з технічних причин, не дає можливості виконати поточний план в задані терміни, існує необхідність розглянути характер даних зупинок більш докладно.

Розглянемо явище зупинок технологічного обладнання на прикладі агломераційної фабрики металургійного підприємства, що характеризується роботою шести агломераційних машин.

Відповідно до загальної схеми перевірки узгодженості теоретичного та емпіричного розподілу, маючи вибірку спостережень часу простоїв агломашин, було визначено кількість k інтервалів для кожної машини за формулою Стерджеса. Подальший аналіз проводився за допомогою ЕОМ, а саме інтегрованою системою статистичного аналізу

STATISTICA [10]. З отриманих результатів (рис.4), порівнюючи діаграму емпіричного розподілу з теоретичною кривою, приймаємо, що емпіричні дані підпорядковуються експоненціальному розподілу випадкової величини.

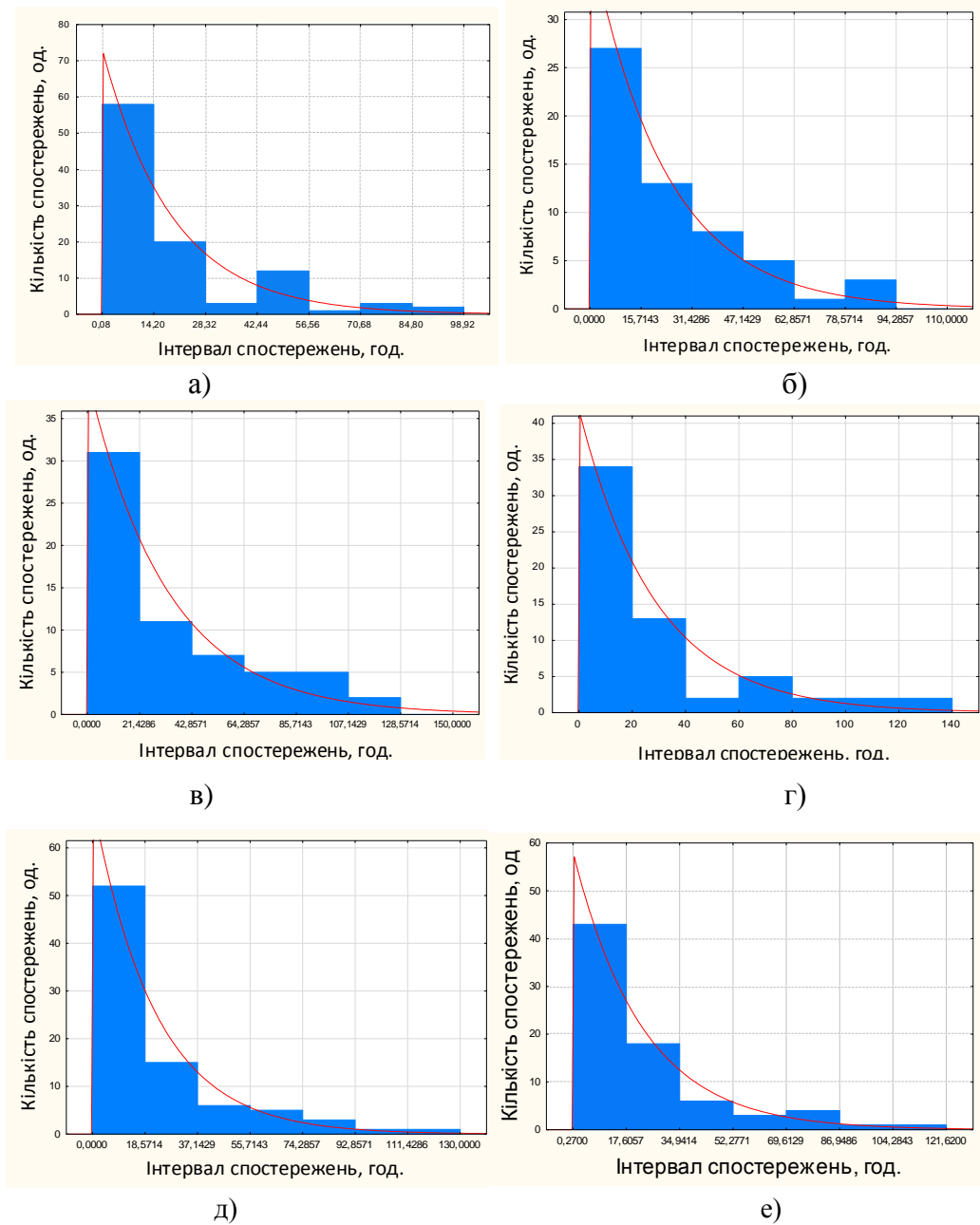


Рис. 4. Схема експоненціального розподілу часу простоювання обладнання агломашина:

*а – агломашина 1, б – агломашина 2, в – агломашина 3, г – агломашина 4,
д – агломашина 5, е – агломашина 6*

Для порівняння теоретичної щільності розподілу з емпіричною гістограмою використовувався критерій Пірсона, який, завдяки своїй універсальності, використовується для будь-якого розподілу [11]. Значення χ^2 , отримані в ході побудови розподілу наведені в табл.1. Для проведення порівняння необхідно отримати розрахункове значення критерію Пірсона. Для цього використовуємо визначення критерію узгодженості [11]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - \tilde{m}_i)^2}{\tilde{m}_i}, \quad (1)$$

k – кількість інтервалів (1),

m_i – емпірична частота,

\tilde{m}_i – теоретична частота.

За таблицею розрахункових значень критерію Пірсона, яка заснована на залежності χ^2 від рівня значимості (α) і кількості ступенів свободи (k), для $\alpha = 0,05$ і $k = 5$ значення критерію Пірсона $\chi^2_{\text{табл}} = 11,07$.

Таблиця 1. Отримані значення критичного розподілу χ^2

	AM ₁	AM ₂	AM ₃	AM ₄	AM ₅	AM ₆
χ^2	0,36887	0,49251	2,76473	6,51567	4,44755	3,15565

Для всіх значень таблиці 1 $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, теоретичний закон експоненціального розподілу узгоджується з емпіричним.

Оскільки в процесі функціонування агломераційного цеху частина агломашин періодично зупиняються на плановий і позаплановий ремонт, необхідно знати середній час, витрачений на проведення ремонтних робіт для кожної машини.

Аналіз характеристик процесу може розглядатися як одне із завдань теорії масового обслуговування (теорія черг) [12], для вирішення якого в умовах агломераційного виробництва, підходять системи масового обслуговування з відмовами [13].

Як показники розглянутих прикладів роботи агломашин, визначимо інтенсивність потоку, взявши інтервал часу – добу [13]:

$$\lambda_n = \frac{z}{t}, \quad (2)$$

де z – кількість зупинок технологічного обладнання, од.;

t – середнє тривалість зупинок, годин;

n – номер агрегату.

З урахуванням даних, які використовуються в дослідженнях вище і формули (2), маємо такі результати: $\lambda_1 = 0,16$; $\lambda_2 = 0,08$; $\lambda_3 = 0,19$; $\lambda_4 = 0,01$; $\lambda_5 = 0,19$; $\lambda_6 = 0,17$;

Інтенсивність вихідного потоку інформації (часу, що витрачається на ремонтні роботи) – μ , визначається середньою кількістю проведення ремонтних робіт в одиницю часу [13]:

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{рем}}}, \quad (3)$$

де $t_{\text{рем}}$ – середня тривалість ремонтних робіт.

Використовуючи (3), отримуємо $\mu_1 = 0,04$; $\mu_2 = 0,01$; $\mu_3 = 0,04$; $\mu_4 = 0,005$; $\mu_5 = 0,04$; $\mu_6 = 0,04$.

Маючи дані про інтенсивність вхідного і вихідного потоків інформації, можемо зробити висновок щодо ймовірності відмови працездатності окремих елементів системи за добу [13]:

$$P_{\text{відм}} = 1 - \frac{\lambda}{\lambda + \mu}. \quad (4)$$

Використовуючи формули (2-4), отримаємо ймовірність повної систематичної відмови в роботі окремих агломашин: $P_{\text{відм1}} = 0,2$; $P_{\text{відм2}} = 0,11$; $P_{\text{відм3}} = 0,18$; $P_{\text{відм4}} = 0,33$; $P_{\text{відм5}} = 0,18$; $P_{\text{відм6}} = 0,19$, що свідчить про необхідність подальшого дослідження впливу цього фактору на транспортну систему доставки агломерату.

Доставка агломерату від агломераційних машин до приймальних бункерів доменного цеху здійснюється, зазвичай, промисловим залізничним транспортом у спеціалізованих вагонах [14-15].

Особливістю перевезень є неможливість зменшення розміру залізничного составу, що обертається між вантажними пунктами (маневрова робота з розчепленням вагонів в зоні навантаження з технологічних обставин неможлива).

Тому, внаслідок наявності в навантаженому составі порожніх вагонів (через зупинку окремих агломашин), при незмінній потребі доменного цеху в агломераті збільшується кількість оборотів та зменшується продуктивність роботи транспорту.

Тому необхідна розробка методології врахування фактору планових та непланових ремонтів агломераційних машин у плануванні витрат на перевезення гарячого агломерату.

Висновки. В роботі досліджено характер впливу технологічних процесів агломераційного виробництва на показники роботи залізничного транспорту при доставці гарячого агломерату в доменний цех шляхом вирішення наступних задач.

1. Проведений аналіз основних параметрів роботи агрегатів агломераційного виробництва показав, що інтервали часу між позаплановими зупинками агломашин підпорядковуються експоненціальному розподілу випадкової величини.

2. Аналіз даних проведення ремонтів показав високу ймовірність повної систематичної відмови в роботі окремих агломашин, яка становить від 0,11 до 0,33.

3. Встановлено, що внаслідок наявності в навантаженому составі порожніх вагонів, при незмінній потребі доменного цеху в агломераті збільшується кількість оборотів та зменшується продуктивність роботи транспорту. Це обумовлює необхідність розробки методології врахування фактору планових та непланових ремонтів агломераційних машин та його випадкового характеру у плануванні витрат на доставку гарячого агломерату залізничним транспортом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бабушкін, Г. Ф., Турпак С. М., Грицай С. В. Удосконалення логістичної системи забезпечення паливом агломераційного виробництва металургійного підприємства. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2011. Вип. 12 (1). С. 19–22.

2. Турпак, С. М., Грицай С. В., Віговська О. О. Удосконалення мікрологістичної системи транспортування агломерату на металургійних підприємствах. Східно-Європейський журнал передових технологій, 2011. Вип. 5 (3). С. 31–33.

3. Визначення головних експлуатаційних показників використання вагонів для перевезення гарячого агломерату / С. М. Турпак та ін. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2012. Вип. 6 (1). С. 150–154.

4. Удосконалення процесів доставки та вантажопереробки палива в умовах агломераційного виробництва / Г. Ф. Бабушкін та ін. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, 2012. Вип. 1. С. 144–146.

5. Турпак, С. М., Величко О. О., Грицай С. В. Дослідження транспортно-технологічного процесу забезпечення металургійного підприємства агломератом власного виробництва. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2014. Вип. 4 (1). С. 27–31.

6. Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations / S. Gritcay and others. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. No. 3 (85). P. 33–39.

7. Воропай, В. С. Анализ транспортно-технологического цикла перевозки агломерата. Наука та виробництво: зб. наукових праць ДВНЗ «ПДТУ», 2017. Вип. 17. С. 82–88.

8. Понкрашов Р. И., Пчелинцева И. Н. Организационная структура логистического управления торговим предприятием. Вестник Саратовского гос.тех. университета, 2006. Вип. 1. Т. 4. С. 156–160.

9. Єгупов Ю. А. Система планів сучасного промислового підприємства. Економіст, 2017. Вип. 5. – С. 13–21. URL: <http://nbuv.gov.ua/UJRN/econ2017512>.

10. Гржибовский А. М., Иванов С. В., Горбатова М. А. Однофакторный линейный регрессионный анализ с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS. Наука и здравоохранение, 2017. Вип. 2. С. 5–33.

11. Гафарова, Л. М., Завьялова И. Г., Мустафин Н. Н. Об особенностях применения критерия согласия Пирсона χ^2 . Экономические и социально-гуманитарные исследования, 2015. Вип. 4 (8). С. 63–67.

12. Кирпичников А.П., Валеев И.Н. Многоканальные системы массового обслуживания с отказами. Вестник Казан. технол. ун-та, 2006. Вип. №4. С. 66–71.

13. Шулешко А. А. Определение показателей качества многоканальных систем массового обслуживания с использованием методов математического моделирования. Вестник ИрГТУ, 2015. Вип.1. С. 187–189.

14. Фомін О. В., Гостра А. В. Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів [Текст] / О.В. Фомін, // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології», 2015. Вип. 26-27. С. 137–147.

15. Фомін О. В. Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ», 2012. Вип. 1. С. 29–33.

REFERENCES

1. Babushkin, H. F. , Turpak, S. M., Hrytsai, S. V. (2011). Udokonalennia lohistychnoi systemy zabezpechennia palyvom ahlomeratsiinoho vy-robnnytstva metalurhiinoho pidpriemstva [Improvement of the logistic system providing fuel for the agglomeration production of the metallurgical enterprise]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnogo universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 12 (1), 19–22. [in Ukrainian].
2. Turpak, S. M., Hrytsai, S. V., Vihovska, O. O. (2011). Udokonalennia mikrolohistychnoi systemy transportuvannia ahlomeratu na metalur-hiinykh pidpriemstvakh [Improvement of the micro-logistic system of agglomeration transport at metallurgical enterprises]. *Skhidno-Ievropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*, 5 (3), 31–33. [in Ukrainian].
3. Turpak, S. M., Hrytsai, S. V., Vihovska, O. O., Vasylieva, L. O., Lebid, H. O. (2012). Vyznachennia holovnykh ekspluatatsiinykh pokaznykiv vykorystannia vahoniv dlia perevezennia hariachoho ahlomeratu [Determination of the main operational parameters of the cars use for the carriage of hot agglomerate]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnogo universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 6 (1), 150–154. [in Ukrainian].
4. Babushkin, H. F., Turpak, S. M., Hrytsai, S. V., Veremeienko, L. A. (2012). Udokonalennia protsesiv dostavky ta vantazhopererobky palyva v umovakh ahlomeratsiinoho vyrob-nytstva [Improvement of the processes of fuel delivery and cargo processing in the conditions of agglomerate production]. *Novi materialy i tekhnolohii v metalurhii ta mashynobuduvanni*, 1, 144–146. [in Ukrainian].
5. Turpak, S. M., Velychko, O. O., Hrytsai, S. V. (2014). Doslidzhennia transportno-tekhnolohichnogo protsesu zabezpechennia metalurhiinoho pidpriemstva ahlomeratom vlasnogo vyrobnytstva [Investigation of the transport and technological process of providing the metallurgical enterprise with an agglomerate of their own production]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnogo universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 4 (1), 27–31. [in Ukrainian].
6. Gritcay, S., Lashenyh, A., Turpak, S., Ostrohlyad, E., Kharchenko, T. (2017). Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (85), 33–39.
7. Voropaj, V. S. (2017). Analiz transportno-tehnologicheskogo cikla perevozki aglomerata [Analysis of transport and technological cycle of transportation of agglomerate], *Nauka ta virobnictvo: zb. naukovih prac' DVNZ «PDTU»*, 17, 82-88. [in Russian].
8. Ponkrashov, R.I., Pchelinceva, I.N. (2006). Organizacionnaja struktura logisticheskogo upravlenija trgovim predprijatiem [Organizational structure of logistic management by a trade enterprise], *Vesnik Saratovskogo gos.teh.universiteta*, 1, 4, 156–160. [in Russian].
9. Yehupov Yu.A. (2017). Systema planiv suchasnoho promyslovoho pidpriemstva [The system of plans for a modern industrial enterprise], *Ekonomist*, 5, 13–21. Retrieved from <http://nbuv.gov.ua/UJRN/econ2017512>. [in Ukrainian].
10. Grzhibovskij, A.M., Ivanov, S.V., Gorbatova, M.A. (2017). Odnofaktornyj linejnyj regressiornyj analiz s ispol'zovaniem pro-grammnogo obespechenija Statistica i SRSS [Single-factor linear regression analysis using Statistica and SPSS software], *Nauka i zdruvoohranenie*, 2, 5–33. [in Russian].
11. Gafarova, L.M., Zav'jalova, I.G., Mustafin, N.N. (2015). Ob osobennostjah primenenija kriterija soglasija Pirsona χ^2 [On the peculiarities of using Pearson's criterion of agreement χ^2]. *Jekonomicheskie i social'no-gumaniturnye issledovanija*, 4 (8), 63–67. [in Russian].
12. Kirpichnikov, A.P., Valeev, I.N. (2006). Mnogokanal'nye sistemy massovogo obsluzhivaniya s otkazami [Multi-channel mass service systems with failures]. *Vesnik Kazan. tehnol. un-ta*, 4, 66–71. [in Russian].
13. Shuleshko A.A. (2015). Opredelenie pokazatelej kachestva mnogokanal'nyh sistem massovogo obsluzhivaniya s ispol'zovaniem metodov matematicheskogo modelirovaniya [Determination of quality indicators of multichannel mass service systems using mathematical modeling methods]. *Vestnik IrGTU*, 1, 187–189. [in Russian].
14. Fomin, O.V., Hostra, A.V. (2015). Variatsiine opysannia konstruktivnykh vykonan vantazhnykh vahoniv [Variational description of constructive performances of freight cars]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnogo ekonomiko-tekhnolohichnogo universytetu transportu Ministerstva osvity i nauky Ukrainy: Serii «Transportni systemy i tekhnolohii»*, 26-27, 137–147. [in Ukrainian].
15. Fomin, O.V. (2012). Rozrobka metodyky vprovadzhennia riznykh profiliv v yakosti skladovykh elementiv ne-suchykh system vantazhnykh vahoniv [Development of the method of introduction of various profiles as components of freight cars bearing systems]. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «KhPI»*, 1, 29–33. [in Ukrainian].

*Сергей Турпак, д.т.н., профессор
(заведующий кафедры транспортных технологий, Запорожский
национальный технический университет)*

*Юлия Завальная
(инженер-математик отдела АСУ ТП)*

*Сергей Грицай
(старший преподаватель кафедры транспортных технологий, Запорожский
национальный технический университет)*

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Выполнены исследования влияния процессов производства агломерата на показатели работы железнодорожного транспорта. Установлены особенности организации технологических перевозок продукции агломерационного цеха. Поставлена задача разработки методологии учета фактора плановых и неплановых ремонтов агломерационных машин в планировании расходов на перевозку горячего агломерата.

***Ключевые слова:** агломерационная машина, планирование, наблюдения, экспоненциальное распределение, теория массового обслуживания, интенсивность потока, ремонт.*

*Serhii Turpak, Doctor of Science (Engineering), Professor
(Head of the Department of Transportation technology, Zaporizhzhya National
Technical University)*

*Yuliia Zavalna
(Mathematician-engineer, Department of OSASP)*

*Sergey Gritcay
(Senior Lecturer of the Department of Transportation technology, Zaporizhzhya
National Technical University)*

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF SINTER PRODUCTION PROCESSES ON RAIL TRANSPORT PERFORMANCE

At modern metallurgical enterprises, as a rule, railroad trains are used as the main technological transport. With their help, the movement of raw materials between the workshops is ensured, which ensures the continuity of the technological process.

The article deals with the stages of work of metallurgical enterprises from the receipt of orders to the development of production plans. Blast furnaces and sinter plants have been selected as research sites.

The factors influencing the production of pig iron in the domain shop are presented. The influence of stops of agglomeration equipment on the work of transport moving between the sections is highlighted.

The STATISTICA software product was selected as the medium for analyzing the idle time of the agglomeration equipment, using the comparison between the empirical and theoretical distribution using the Pearson criterion. A conclusion was made on the consistency of their distribution.

The analysis of the characteristics of the sintering machines as one of the tasks of the theory of mass service is carried out. Conclusions are made regarding the time spent on repairs and the possible refusal of each car in the prescribed period.

The necessity of taking into account scheduled and extraordinary repair works at the sinter plant and their influence on the transportation of the finished sinter to the blast-furnace shop was determined.

Keywords: *agglomeration machine, planning, observation, exponential distribution, mass service theory, flow intensity, repair.*

УДК 537.872

Юрій Лаврич, к.т.н.

(старший научный сотрудник, Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, г. Днепр)

Сергей Плаксин, д.ф.-м.н.

(заведующий отделом, Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, г. Днепр)

Любовь Погорелая

(младший научный сотрудник, Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, г. Днепр)

МИКРОВОЛНОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ НАДЕЖНОСТИ ПУТЕВОЙ СТРУКТУРЫ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА

Предложен способ пассивной локализации и регистрации электромагнитных излучений, возникающих в процессе нарушения сплошности путевой структуры магнитолевитационного (Маглев) транспорта, который с учетом некоторых особенностей этого транспорта обеспечивает создание системы динамического контроля конструктивной прочности путевой структуры в реальном масштабе времени.

***Ключевые слова:** путевая структура, трещина, прочность, динамический контроль, электромагнитные излучения.*

Вступление. Как показывает имеющийся опыт развития техносферы, отказы, аварии и катастрофы всегда были неотъемлемой частью жизненного цикла всех без исключения технических систем, несмотря на бытующее мнение, что аварии являются маловероятными событиями, наступления которых можно избежать [1]. При прогнозировании и управлении опасными событиями главное внимание необходимо обращать на опасные ситуации с относительно малыми частотами проявления. В соответствии с концептуальным положением теории безопасности (первая аксиома безопасности) [2,3] нет и не может быть абсолютной безопасности, то есть опасность никогда не равна нулю, а безопасность никогда не равна единице.

Магнитолевитационная (Маглев) транспортная система относится к сложным многофункциональным системам, контроль безопасности функционирования которых связан со многими составляющими системами.

Украина владеет технологиями построения магнитолевитационных транспортных систем – разработанный Институтом транспортных систем и технологий НАН Украины действующий макет магнитолевитационного транспорта приведен на рис.1.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-5



Рис. 1. Общий вид действующего макета магнитолевитационного транспорта

В отличие от классического транспорта на принципе «колесо–рельс» Маглев использует технологию магнитной левитации, когда транспортное средство в процессе движения не касается путевого полотна. Высокие скорости движения (> 500 км/ч) и малые зазоры левитации (~ 10 мм) создают дополнительные сложности в обеспечении надежности и безопасности его функционирования, а также при построении системы контроля эксплуатационной надежности, поскольку использование традиционных средств контроля становится невозможным. Путевая структура (ПС) также представляет собой сложную систему, состоящую из ряда электронных и электротехнических устройств и изделий, обеспечивающих требуемые параметры левитации, движения, контроля и управления. ПС Маглев транспортного средства, выполненная как из бетонных, так и алюминиевых материалов высокой чистоты, является активной, так как реализация магнитолевитационного эффекта достигается применением тянущих секций линейного двигателя, состоящего из отдельных катушек, размещенных в ПС. При этом на катушку с током, расположенную в ПС, действуют пондеромоторные силы, сжимающие ее вдоль оси и растягивающие в радиальном направлении, что сказывается на механической прочности как самой катушки, так и ПС.

Высокая сложность составных частей рассматриваемого транспортного средства с разнообразными функциональными характеристиками и различной степенью их влияния на надежность функционирования системы в целом требует выбора некоего обобщенного информационного параметра контроля, оказывающего наибольшее влияние, влекущего наиболее опасные последствия с точки зрения безопасности Маглев транспортного средства в целом, то есть параметра, интегрировано характеризующего состояние и безопасность объекта контроля. Выбор такого интегрированного объекта контроля представляет собой важный этап при построении системы контроля.

Исходя из особенностей ПС и ее определяющей роли в поддержании надежности функционирования высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ),

имеет смысл в качестве такого обобщенного интегрированного параметра контроля использовать конструктивную прочность ПС и на этой основе разработать метод динамического контроля конструктивной прочности ПС, учитывающий время-скоростные характеристики процесса ее деградации. Метод позволит оценивать не статически-имитируемое состояние, а реально динамично изменяющееся состояние объекта контроля в реальном времени и в отсутствие контакта с ним и с учетом особенностей характеристик ПС может быть аппаратно реализован на основе автоматизированных систем контроля.

Несмотря на сложность механики разрушения, принципиальная возможность решения связанных с этим проблем вытекает из кинетического подхода к разрушению твердых тел согласно которому разрушение начинается практически с момента приложения к телу любой нагрузки и заключается в образовании и развитии микроскопических трещин и пор. Этот процесс «микроразрушения» и готовит переход к макроразрыву.

Практически во всех материалах, в том числе и примененных в путевой структуре (ПС) Маглев транспортного средства, имеется определенная неоднородность – присущая изначально или приобретенная в процессе эксплуатации (деформирования). В неоднородных материалах внутреннее строение, взаимодействие микрочастиц и крупных составляющих элементов непостоянно как по объему, так и во времени. Их структура может содержать микро- и макропоры, трещины – как сухие, так и заполненные водой. Все деструктивные процессы, протекающие в конструктивных материалах, являются длительными и вялотекущими до определенного критического периода. Практически все конструктивные материалы в исходном состоянии уже содержат микротрещины, являющиеся результатом пластических деформаций, и хотя большинство из них не является разрушающе-опасными, однако именно они предшествуют процессу разрушения.

Проведение непрерывного мониторинга или обычного периодического контроля состояния конструктивных систем и материалов (если не произошло форс-мажорных событий или не появились требования к изменению системы эксплуатации), достаточно сложно или даже практически невозможно, в то время как задача оптимальной эксплуатации транспортной инфраструктуры становится все более актуальной. Отсутствие необходимой информации о параметрах износа конструкций обуславливает директивное назначение времени проведения ремонтных мероприятий, что приводит к преждевременному ремонту одних конструкций и повышенному уровню рисков возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации других. Таким образом, степень безопасности функционирования транспортного средства в целом и его составляющих систем на различных конструктивно-иерархических уровнях является декларированной и не подтвержденной результатами текущего контроля.

Анализ последних достижений и постановка задачи. Несмотря на существование множества методов исследования процесса разрушения, все они, как правило, связаны с необходимостью временных и финансовых затрат, с прекращением применения объекта по назначению, а некоторые даже небезопасны для персонала. Среди физических явлений, пригодных и перспективных для решения задачи динамического контроля конструктивной прочности элементов и процессов их разрушения, наиболее подходящим представляется явление механоэлектрического преобразования, имеющее

две составляющие компоненты – электромагнитную и акустическую. Генерация электромагнитных излучений (ЭМИ) при этом явлении является следствием неоднородности и локальной неравномерности пластических течений материалов и взрывообразного зарождения микротрещин.

Образование трещин сопровождается возникновением на ее краях поверхностных и объемных зарядов, движение которых вызывает появление электромагнитного излучения [4,5]. Во всех случаях эмиссионные события, возникающие вследствие деструкции прочности конструкции при умеренных нагрузках, когда макроразрушение маловероятно, отражают процесс «аккомодации» неоднородного материала к данной нагрузке. С позиций того, что до некоторого предела среда может приспосабливаться к действующему напряжению, вследствие чего невозможно визуально заметить начало изменения конструкционной прочности состояния, необходим непрерывный мониторинг изменения характеристик объекта контроля в режиме реальной эксплуатации. ЭМИ, возникающие в процессе нарушения сплошности материалов, в перспективе могут стать приемлемым технологическим средством для построения системы динамического контроля конструктивной прочности элементов конструкции ПС ВСНТ.

Цель и задача исследования. Целью данного исследования является установление признака начала формирования и развития микроразрушения материалов и разработка на этой основе метода и средства динамического контроля разрушения путевой структуры, определяющей безопасность ВСНТ в целом. Суть работы заключается в установлении возможности применения закономерностей импульсного электромагнитного излучения материалов на различных этапах нагружения для контроля процесса разрушения.

Материалы и методы исследования. Регистрируемые ЭМИ, связанные с кинетикой процесса разрушения, характеризуются различными значениями амплитуды и интенсивности сигнала, разной формой импульсов и частотой сигналов электромагнитной эмиссии. Поэтому создание способа селекции и регистрации электромагнитных сигналов, возникающих в процессе разрушения ПС, является необходимым для создания устройства динамического контроля конструктивной прочности элементов ПС в реальном масштабе времени.

Среди значительного количества математических моделей, которыми оперирует современная механика разрушения твердых тел, наибольшее признание получила теория трещин, а среди параметров, характеризующих прочность материалов, все более важным в последнее время является трещиностойкость [6]. Процесс разрушения, представляющий собой совокупность явлений, начинается гораздо раньше проявления первых визуально заметных его признаков. Имеющиеся в используемых в ПС материалах дефекты структуры со временем могут превратиться в трещины, которые, если они не будут вовремя обнаружены, могут привести к катастрофическим последствиям. Процесс трещинообразования не всегда приводит к разрушению тела в понимании потери сплошности и полного распада на отдельные, т.е. трещины могут и не пересекаться, однако, трещинообразование всегда является причиной разупрочнения и предтечей разрушения.

При перераспределении напряжений в неоднородном материале происходит непрерывное преобразование механической энергии в электрическую, ее накопление с образованием сильного локального электрического поля, сосредоточенного в устье движущейся трещины, и последующее выделение в виде ЭМИ [7]. В результате

элементарного акта разрушения – образования микротрещины – возникает импульсный сигнал, длительность и форма которого определяются механизмом релаксации заряда и характером движения поверхности при распространении трещины. Количество возникающих импульсов ЭМИ определяется числом вновь образовавшихся микротрещин. Механическое нагружение материалов сопровождается их деформированием и разрушением с образованием и развитием трещин различного масштаба от микротрещин до магистрального разрыва. При этом возникает акустическая эмиссия (АЭ) и электромагнитная эмиссия (ЭМЭ). АЭ развивается с нарастанием интенсивности и достигает своего максимального значения к моменту макроразрушения. В материалах между параметрами ЭМЭ и АЭ существует определенная связь [8,9], обусловленная характером механоэлектрических преобразований в них. При деформировании материалов задолго до начала трещинообразования происходит движение имеющихся и вновь образованных дислокаций, которые вместе с заряженными точечными дефектами, окружающими их, участвуют в образовании двойных электрических слоев.

ЭМЭ возникает уже на первых стадиях нагружения, соответствующих единицам и первым десяткам процентов от разрушающих напряжений, и сопровождает весь процесс трещинообразования. В статически нагружаемом объекте акустические волны от растущих трещин приводят в действие механизм колебаний величины дипольного момента двойных электрических слоев вследствие изменения расстояния между зарядами разного знака, в результате чего происходит эмиссия электромагнитных сигналов. Процесс накопления импульсов ЭМИ на этой стадии относится к классу персистентных (самоподдерживающихся) процессов.

В системах распознавания образов, принятия решений, прогнозирования и классификации важное значение имеет описание объекта на основе набора (системы) признаков, обладающего максимальной информативностью. Использование неинформативных и избыточных признаков не только оказывается бесполезным, но и снижает эффективность процесса распознавания [10]. С практической точки зрения очевидным является желание, чтобы число признаков распознавания в априорном словаре было минимально возможным – в этом случае создаваемая система контроля окажется наиболее простой как для реализации, так и для последующей эксплуатации. Так как граница минимальности отсутствует, то можно предположить, что принципиально возможно построение системы на основе одного признака, если он обладает достаточной различительной способностью [11]. Немаловажным является условие, чтобы этот единственный признак был доступен для определения и по физическим и по экономическим соображениям.

Как известно, все типы связей между атомами обусловлены силами электромагнитной природы [12]. Несмотря на различные существующие гипотезы возникновения ЭМИ при разрушении, все их объединяет тот факт, что твердые тела при деформации излучают электромагнитные волны, порождаемые процессами трещинообразования [13]. Потеря сплошности и изменение прочности материалов сопровождается возникновением электромагнитных полей на поверхности повреждения, подчиняющихся общепринятой системе волновых уравнений. Распространяющаяся с большой скоростью трещина несет в своей вершине заряд, равный 10^{-10} - 10^{-11} Кл/м (на единицу длины фронта трещины), и дипольный момент, измеряемый величиной 10^{-13} - 10^{-14} Кл·м. Вследствие разделения зарядов диполя противоположного знака на берегах трещины возникает поверхностный заряд с

плотностью $\delta_0 \sim 10^{-3}-10^{-4}$ Кл/м². При этом микротрещина с размерами $10^{-4}-10^{-3}$ м несет на себе дипольный момент $\sim 10^{-14}-10^{-16}$ Кл·м. При регистрации импульса радиоизлучения трещины в ближней зоне его форма будет определяться ростом дипольного момента или заряда в процессе движения трещины и релаксацией зарядов после ее остановки. Дипольный момент трещины радиуса $a(t)$ с учетом релаксации заряда в процессе ее распространения может быть вычислен следующим образом:

$$P(t) = \int_0^{2\pi} \int_0^a 2u(r) \delta_0 e^{-(a-r)/v\tau_p} r dr d\Theta,$$

где $u(r)$ – смещение берегов трещины; v – скорость движения берегов трещины; τ_p – время релаксации зарядов на берегах трещины; r, Θ – цилиндрические координаты.

Дипольный момент после вычисления интегралов можно представить в виде

$$P(t) = \frac{4\pi(1-\nu)\sigma\delta_0(v\tau_p)^3}{G} \left[(a-1) + (a+1)e^{-\bar{a}} \right],$$

где $\bar{a}(t) = a(t)/v\tau_p$ – приведенный радиус трещины; G – модуль сдвига; σ – критическое напряжение, до которого трещина распространяется.

Для малых ($a \ll 1$) и больших ($a \gg 1$) радиусов трещин дипольные моменты соответственно равны

$$P(t) = \frac{2\pi(1-\nu)\sigma\delta_0 a^3}{G}; \quad P(t) = 2 \frac{2\pi(1-\nu)\sigma\delta_0 a}{G} (v\sigma_p)^2.$$

Потенциал поля, создаваемого диполем и зарядом Q в вершине трещины, в ближней зоне излучения определяется как [14]

$$\phi = \frac{P}{4\pi\epsilon'R^2} \approx \frac{\delta_0 a^3}{\epsilon'R^2} \sqrt{\frac{0,2a_p}{\pi a_0}},$$

где R – расстояние от диполя до точки регистрации потенциала; a_p – постоянная кристаллической решетки; a_0 – стартовый размер трещины; ϵ' – комплексная диэлектрическая проницаемость материала.

Отношение величин потенциала поля диполя (ϕ_p) и потенциала поля заряда трещин (ϕ_Q) в ближней зоне ($a \ll 1$) может быть оценено согласно формуле

$$\frac{\phi_p}{\phi_Q} = \frac{2\delta_0 a^2}{QR} \sqrt{\frac{0,2a_p}{\pi a_0}}.$$

Для типичных значений $\delta_0=10^{-3}-10^{-4}$ Кл/м², $Q \approx 10^{-11}$ Кл/м, $a_0 \sim 10^4$ м, $a_p \sim 10^{-10}$ м, $\nu\tau_p \sim 10^{-2}$ м в ближней зоне излучения ЭМИ малых трещин имеет радиус зоны приема $R \approx 10^{-1}-10^{-3}$ м, что дает $\phi_p/\phi_Q = 10-10^3$, то есть поле диполя отдельной трещины на один-три порядка превышает поле ее заряда. В дальней волновой зоне ЭМИ больших трещин имеет радиус зоны приема $R \approx 10-10^2$ м и вследствие экспоненциального закона его затухания практически отсутствует. Поэтому спектры ЭМИ трещин в ближней зоне при фиксированном расстоянии левитации ВСНТ можно рассматривать в качестве информационного сигнала процесса разрушения, когда каждой стадии разрушения соответствует свой спектр излучения (рис. 2). Для начала процесса разрушения характерно появление в спектре ЭМИ более высоких частот, связанных с образованием микротрещин. По мере формирования трещин, накопления и ветвления их происходит процесс перемещения спектра ЭМИ в область более низких частот.

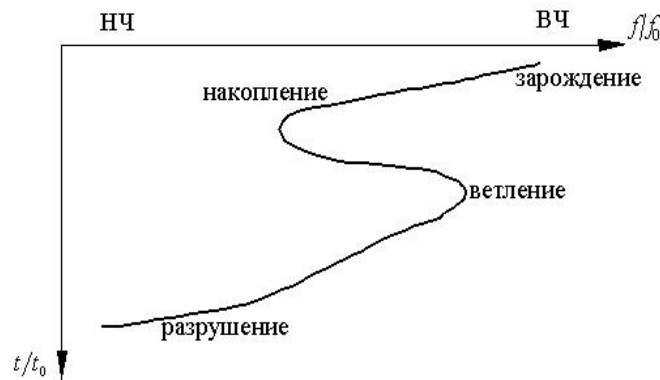


Рис. 2. Качественная характеристика процесса разрушения

Важной задачей при проектировании устройства динамического контроля является точное определение координат источников информационных признаков – сигналов излучения ЭМЭ и АЭ. Вследствие размещения устройства контроля на транспортном средстве текущие координаты источников излучения ЭМЭ и АЭ на ПС привязаны к координатам транспортного средства в момент обнаружения информационного признака. Текущие параметры движения транспортного средства определяются и фиксируются бортовым позиционером, информация из которого затем записывается на носитель или, при наличии соответствующей инфраструктуры, передается в режиме реального времени по радиоканалу, накапливается на информационном сервере диспетчера. Концепция построения устройства динамического контроля прочности (УДКП) путевой структуры на основе механизмов возникновения ЭМЭ и АЭ может быть реализована путем пассивной радиолокации, так как физические поля ЭМЭ и АЭ излучаются самими дефектами контролируемой ПС. Структурная схема УДКП приведена на рис. 3. Сигналы ЭМЭ и АЭ, излучаемые ПС транспортного средства, принимаются приемными антеннами АУЭ и АУА соответствующих ЭМЭ и АЭ каналов. Основной задачей канала фиксации ЭМЭ является обнаружение начала процесса

трещинообразования и динамики перемещения, а канала фиксации АЭ – определение скорости процесса и потери сплошности.

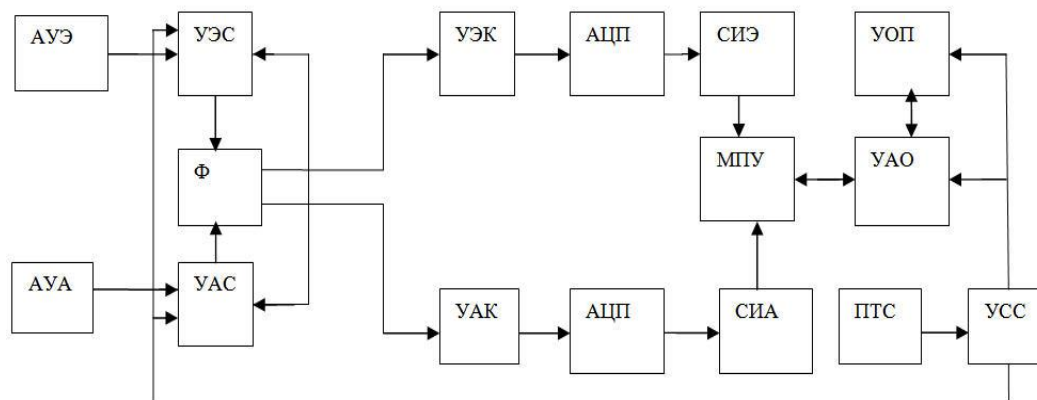


Рис. 3. Структурная схема УДКП

Применение двух каналов обусловлено трудностью выделения сигналов АЭ из помех. Это объясняется тем, что сигналы АЭ являются шумоподобными, поскольку АЭ представляет собой стохастический импульсный процесс. При развитии дефекта, когда его размеры приближаются к критическому значению, амплитуда сигналов АЭ и темп их генерации резко увеличивается, что приводит к значительному возрастанию вероятности обнаружения источника АЭ.

Для обеспечения неискаженной передачи по тракту принятые антенными устройствами АУЭ и АУА электромагнитные и акустические сигналы предварительно усиливаются в усилителях УЭС и УАС каждого из каналов и фильтруются фильтрами Ф. Сигналы после фильтров усиливаются усилителями УЭК и УАК соответствующих каналов, а отфильтрованные аналоговые сигналы поступают на входы аналоговых цифровых преобразователей для оцифровки аналого-цифровыми преобразователями АЦП соответствующих каналов. Элементы устройства динамического контроля после выходов АЦП реализуются в цифровой форме.

Совместная регистрация ЭМЭ и АЭ дает возможность лоцировать местоположение источников эмиссии по разнице времен прихода этих сигналов в соответствующие каналы.

Цифровые сигналы соответствующих каналов поступают на схемы счета сигналов ЭМЭ – СИЭ и сигналов АЭ – СИА. Результат счета формируется счетчиком в заданном коде и может храниться требуемое время. В моменты возникновения излучений вследствие трещинообразования запускается генератор счетных импульсов счетчика, и счетные импульсы начинают поступать на суммирующий счетчик. Код в суммирующем счетчике начинает возрастать, и в момент прекращения излучения трещиной счетчик импульсов останавливается и отображает число импульсов. Результаты счета поступают в память микропроцессорного устройства МПУ и счетчик импульсов обнуляется.

В памяти МПУ хранятся эталонные кинетические кривые накопления числа импульсов для путевой структуры транспортного средства, эталонные уровни

дипольных моментов, соответствующие путевой структуре на всей ее протяженности, используемые для калибровки приемного тракта.

Устройство анализа и обработки (УАО) предназначено для построения на основе результатов динамического контроля S-образной кривой (рис. 2) и сравнения ее с эталонной.

Сигнал электромагнитной эмиссии пропорционален смещению источника эмиссии, в то время как сигналы акустической эмиссии пропорциональны ускорению, что обеспечивает равную чувствительность к микромеханическим процессам, протекающим с различными скоростями. Для накопления информации о состоянии ПС система УДКП содержит устройство обработки и передачи (УОП) текущей информации, полученной за время прохождения данного транспортного средства. Текущая информация о состоянии ПС беспроводными средствами передается не только диспетчеру, но и очередному (следующему) транспортному средству, двигающемуся по ПС, что позволяет проведение текущего сравнительного анализа в режиме реального времени как диспетчером, так и экипажем последующих транспортных средств. Наличие у диспетчера сообщений как от первого, так и от последующих транспортных средств (ТС), позволяет оценить изменение состояния путевой структуры в интервале их движения и тем самым проанализировать динамику, оценить степень опасности и принять управленческое решение. Устройство синхронизации (УСС) предназначено для обеспечения привязки текущих координат источников излучения на ПС к текущим координатам местоположения ТС. Сигналы синхронизации с устройства позиционирования транспортного средства (ПТС), поступающие через устройство УСС, управляют функционированием обоих каналов и, соответственно, устройств УАО и УОП. Координаты мест нахождения источников излучений регистрируются в памяти МПУ в базе данных текущих координат.

Обеспечение электромагнитной совместимости устройства УДКП может быть реализовано путем применения защитных электромагнитных экранов, имеющих самые различные конструкции [15,16].

Выводы. Таким образом, существующие зависимости между параметрами электромагнитного излучения, возникающего при трещинообразовании материалов ПС, и прочностным состоянием ПС позволяют реализовать устройство пассивного неразрушающего динамического контроля путевой структуры ВСНТ, которое характеризуется высокой информативностью и быстродействием и обеспечивает высокую надежность и безопасность функционирования современных высокоскоростных транспортных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мещанинов С.К. Методы моделирования и управления надежностью функционирования горных выработок. Моногр. Днепр: Национальный горный университет, 2011. 360 с.
2. Откидач В.В., Джура С. Г., Чурсинова А. А. Концептуальные основы системного анализа рисков в энергетике // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы. Донецк, 2007. Т. 2. С. 279-298.
3. Клебанов Ф.С. О современной концепции безопасности // Безопасность труда в промышленности, 2002. № 6. С. 33– 38.
4. Голуб В.П., Плащинская А.В. Феноменологическая модель роста усталостной трещины в идеально-пластических бесконечных пластинках при одноосном симметричном знакопеременном нагружении // Прикладная механика, 2005. Т. 41 (51), №12. С.116-127.

5. Плащинская А.В., Башта Е.Т., Джурик Е.В. Моделирование распространения усталостной трещины с учетом двухосного напряженного состояния у ее вершины // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування, 2015. № 2 (74). С. 36-41.
6. Пирадов К.А., Ротт Н.А. Трещиностойкость бетонов на легких заполнителях // Строительство, материаловедение, машиностроение. Стародубовские чтения, 2014. С.160-163.
7. Вострецов А. Г., Яковичка Г. Е. Влияние внешнего импульсного низкоэнергетического воздействия на процесс разрушения предварительно нагруженных образцов горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Геомеханика, 2014. № 6. С. 61-69.
8. Черникова Т.М., Иванов В.В., Михайлова Е.А. Спектральный анализ электромагнитного излучения при нагружении материалов // Сб. научн. трудов Межд. научно-практической конф. «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте'2007». Одесса: Черноморье, 2007. Т.1. С. 86-87.
9. Гордиенко Ю.Е., Щербань И.Н. СВЧ резонаторный сенсор для диагностики малоразмерных объектов различной консистенции // Материалы 7-й МНПК «Сенсорная электроника и микросистемные технологии». Одесса, 2016. С.43.
10. Субботин С.А., Олейник А.А. Выделение набора информативных признаков на основе эволюционного поиска с кластеризацией // Искусственный интеллект, 2008. №. 4. С. 704-711.
11. Субботин С.А., Олейник А.А. Анализ и обработка априорной информации в конструировании систем автоматического распознавания. Дніпро: Наука і освіта, 2007. 180 с.
12. Колесник Д.Ю., Коваль П.Н., Сыченко В.Г. Проникающие ингибиторы металлокоррозии для повышения долговечности железобетонных конструкций // Материалы 67 МНПК «Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту». Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2007. С.110.
13. Дубинчик О.И. Влияние коррозии бетона и арматуры на долговечность пролетных строений мостов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2005. Вип. 6. С. 109-112.
14. Черникова Т.М. Научные основы метода контроля процесса разрушения композитов с использованием электромагнитного излучения. Кемерово. диссер. д. т. н., 2014. 319 с.
15. Патент № 82919 України. Матричний електромагнітний екран / В.О. Дзензерський, І.І. Соколовський, Ю.М. Лаврич та інш., 2013. Бюл. № 16 від 27.08.13.
16. Патент № 87810 України. Фрактальний електромагнітний екран-реструктуризатор / В.О. Дзензерський, І.І. Соколовський, Ю.М. Лаврич та інш. – 2014. – Бюл. № 4 від 25.02.14.

REFERENCES

1. Meshchaninov, S.K. (2011). *Metody modelirovaniya i upravleniya nadezhnost'ju funkcionirovaniya gornyh vyrabotok* [Methods of modeling and management of the reliability of mining]. Dnipro, National Mining University.
2. Otkidach V.V., Dzhura S. G., Chursinova A. A. (2007) *Konceptual'nye osnovy sistemnogo analiza riskov v jenergetike* [Conceptual foundations of system analysis of risks in the energy sector]. *Praktika i perspektivy razvitija partnerstva v sfere vysshej shkoly* [Practice and prospects for the development of partnership in the field of higher education]. Doneck, V. 2, 279-298.
3. Klebanov, F.S. (2002). *O sovremennoj koncepcii bezopasnosti* [On the modern concept of security]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Industrial Safety], 6, 33-38.
4. Golub, V.P., Plashchinskaya, A.V. (2005). *Fenomenologicheskaja model' rosta ustalostnoj treshhiny v ideal'no-plasticheskikh beskonechnyh plastinkah pri odnoosnom simmetrichnom znakoperemennom nagruzhennii* [Phenomenological model of fatigue crack growth in ide-plastic infinite plates under uniaxial symmetric alternating loading]. *Applied Mechanics*, V. 41 (51), 12, 116-127.
5. Plashhinskaja, A.V., Bashta, E.T., Dzhurik, E.V. (2015). *Modelirovanie rasprostraneniya ustalostnoj treshhiny s uchetom dvuhosnogo naprjazhennogo sostojaniya u ee vershiny* [Simulation of the propagation of a fatigue crack, taking into account the biaxial stress state at its top]. *Visnik NTUU «KPI». Serija mashinobuduvannja* [Bulletin of NTUU «KPI»], 2 (74), 36-41.
6. Piradov K.A., Rott N.A. (2014). *Treshhinostojkost' betonov na legkih zapolniteljah* [Crack resistance of concrete on lightweight aggregates]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie. Starodubovskie chteniya* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering. Starodubovsky reading], 160-163.
7. Vostrecov A. G., Jakovickaja G. E. (2014) *Vlijanie vneshnego impul'snogo nizkoenergeticheskogo vozdejstvija na process razrusheniya predvaritel'no nagruzhennyh obrazcov gornyh porod* [Influence of external pulsed low-energy impact on the process of destruction of pre-loaded rock samples]. *Fiziko-*

tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh. Geomehanika [Physical and technical problems of the development of mineral resources. Geomechanics], 6. 61-69.

8. Chernikova, T.M., Ivanov, V.V., Mikhailov, E.A. (2007). *Spektral'nyj analiz jelektromagnitnogo izluchenija pri nagruzenii materialov* [Spectral analysis of electromagnetic radiation at materials loading]. Sb. nauchn. trudov Mezhd. nauchno–prakticheskoy konf. «Perspektivnye innovacii v nauke, obrazovanii, proizvodstve i transporte`2007». [Proc. of Int. scientific and practical conf. "Promising innovations in science, education, production and transport`2007"]. Odessa. Chernomorje, 1, 86–87.

9. Gordienko, Yu.E., Scherban, I.N. (2016). *SVCh rezonatornyj sensor dlja diagnostiki malorazmernih obektov razlichnoj konsistencii* [Microwave resonator sensor for diagnosing small-sized objects of different consistency]. Materialy 7-oy MNPК «Sensorna elektronika ta mikrosistemni tehnologii» [Proc. of the 7th ISPC "Sensor Electronics and Microsystems Technology". Odessa, 43.

10. Subbotin, S.A., Olejnik, A.A. (2008). *Vydelenie nabora informativnyh priznakov na osnove jevoljucionnogo poiska s klasterizaciej* [Selecting a set of informative features based on evolutionary search with clustering] *Iskusstvennyj intellekt* [Artificial Intelligence], 4, 704-711.

11. Subbotin, S.A., Olejnik, A.A. (2007). *Analiz i obrabotka apriornoj informacii v konstruirovanii sistem avtomaticheskogo raspoznavanija* [Analysis and processing of a priori information in the automatic recognition systems designing]. Dnipro, Nauka i osvita [Science and education].

12. Kolesnik, D.Yu., Koval, P.N., Sychenko, V.G. (2007). *Pronikajushhie ingibitory metalokorrozii dlja povyshenija dolgovechnosti zhelezobetonnyh konstrukcij* [Penetrating metal-corrosion inhibitors to increase the durability of reinforced concrete structures]. Materialy 67 MNPК "Problemi ta perspektivi rozvitku zaliznichnogo transportu" [Proc. of the 67th ISPC "Problems and prospects of railway transport development"]. Dnipropetrovskiy natsionalnyj universytet zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana [Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 110.

13. Dubinchik, O.I. (2005). *Vlijanie korrozii betona i armatury na dolgovechnost' proletnyh stroenij mostov* [Effect of corrosion of concrete and reinforcement on the durability of bridge span structures]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 6, 109-112.

14. Chernikova, T.M. (2014) *Nauchnye osnovy metoda kontrolja processa razrushenija kompozitov s ispol'zovaniem jelektromagnitnogo izluchenija*. Kemerovo. Disser. doktora tehniceskikh nauk [Dissertation of the doctor of technical sciences].

15. Patent № 82919 Ukraine (2013). *Matrichnij jelektromagnitnij ekran* [Matrix Electromagnet screen], V.A. Dzenzensky, I.I. Sokolovsky, Yu.N. Lavrich et al., 16, 08.27.13.

16. Patent № 87810 Ukraine (2014). *Fraktal'nyj jelektromagnitnij ekran-restrukturizator* [Fractal Electromagnet screen restructuring]. V.A. Dzenzensky, I.I. Sokolovsky, Yu.N. Lavrich et al., 4, 02.25.14.

Лаврич Ю.М., к.т.н.

(старший науковий співробітник, Інститут транспортних систем і технологій НАН України, м. Дніпро)

Плаксін С.В., д.ф.-м.н.

(завідуючий відділом, Інститут транспортних систем і технологій НАН України, м. Дніпро)

Погоріла Л.М.

(молодший науковий співробітник, Інститут транспортних систем і технологій НАН України, м. Дніпро)

МІКРОХВИЛЬОВІ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТРОЛЮ НАДІЙНОСТІ ШЛЯХОВОЇ СТРУКТУРИ МАГНІТОЛЕВІТАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ

Запропоновано спосіб пасивної локації і реєстрації електромагнітних випромінювань, що виникають в процесі порушення цілісності шляхової структури магнітолевітаційного (Маглев) транспорту, який з урахуванням деяких особливостей

цього транспорту забезпечує створення системи динамічного контролю конструктивної міцності шляховий структури в реальному масштабі часу.

Ключові слова: шляхова структура, тріщина, міцність, динамічний контроль, електромагнітні випромінювання

Lavrish Yu.N., Ph. D. on Tech. sci.,

(senior staff scientist, Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro)

Plaksin S.V., Dr. Sci. on Physics and Mathematics,

(department head, Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro)

Pogorelaya L.M.

(junior researcher, Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro)

MICROWAVE TECHNOLOGIES FOR MONITORING THE MAGLEV WAY STRUCTURE RELIABILITY

Modern high-speed ground vehicles are implemented on the application of magnetic levitation technology, when the vehicle in the process of movement does not concern the way structure. High speeds and small levitation distances create difficulties in ensuring the reliability and safety of such transport functioning, lead to the impossibility of using traditional control means, which requires the development of control methods based on new physical phenomena. Taking into account the distinctive features of a magnetically-levitative vehicle and the degree of influence of its systems on the catastrophic consequences of failure in general, a way structure was proposed as a generalized object of control, and microwave radiation accompanying destruction as an information signal of the process of destruction of the track structure.

A certain relationship has been established between the parameters of electromagnetic emission arising from the cracklings of way structure materials and its strength, which makes it possible to implement a passive non-destructive dynamic control device for the way structure of the high speed transport, for which a high informativeness and high-speed are characteristic and which ensures high reliability and safety of modern high-speed vehicles.

Keywords: way structure, crack, strength, dynamic control, electromagnetic radiation.

УДК 629.463; 629.4.027.35

Ольга Потапенко
(старший викладач, Східноукраїнський національний університет ім
В.Даля, Сєвєродонецьк);
Юрій Щербина, к.т.н.
(старший викладач, Державний університет інфраструктури та
технологій, Київ)

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ РЕСОРНОГО ПІДВІШУВАННЯ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

У статті вперше представлено та описано запропонований метод визначення інваріантної характеристики (прогину) комбінованих пружин під впливом зовнішніх навантажень для дослідження силової характеристики у вертикальному напрямку. Представлено вперше результати досліджень впливу елементів удосконаленої конструкції ресорного підвішування на її силову характеристику. Підтверджено доцільність та ефективність використання методу визначення інваріантної характеристики (прогину) пружин різних конструктивних моделей та їх силової характеристики у ресорному підвішуванні візків вантажних вагонів при дослідженні, вивченні та проектуванні сучасних перспективних конструкцій системи демпфірування коливань.

Ключові слова: вертикальна силова характеристика, ресорне підвішування, інваріантна характеристика комбінованих пружин, удосконалена конструкція, моделювання.

Вступ. Однією з головних характеристик пружинних елементів ресорного підвішування є вертикальна силова характеристика, яка показує залежність прогину від дії вертикального навантаження. Пружні властивості елементів характеризуються коефіцієнтами жорсткості (жорсткістю) чи гнучкості (гнучкістю). Щоб забезпечити повне прилягання пружини до опорної площини, кінці заготівки відтягують на довжині $\frac{3}{4}$ витка. Для зняття вертикальної пружинної характеристики елементів ресорного підвішування використовують спеціальні стенди. Зазвичай він являє собою гвинтовий прес, який складається з рами та має зверху гайку і гвинт з рукояткою [1 – 5].

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми. Інженерні методи вибору жорсткості та демпфірування у вертикальному напрямку відпрацьовані В.І. Варавою, С.В. Вершинським, І.І. Челноковим, Л.О. Кальницьким, Г.В. Левковим, Л.Л. Осинівським, Ю.С. Роменом та А.В. Біловусовим, С.Л. Самошкіним, М.М. Соколовим; вибору горизонтальної жорсткості першого ступеня підвішування – А. Вікенсом та Г. Шефелем.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-6

При отриманні на стенді вертикальної характеристики комбінації різних за силовими характеристиками пружин ресорного підвішування візків вантажних вагонів виникає ряд проблем та похибок. У випадку комбінування різного типу конструкції пружин з різними силовими вертикальними характеристиками (лінійною та нелінійною), даний метод не є актуальний, так як не дає можливості детально та більш точно оцінити результат дослідження змін характеристик пружин різного конструктивного виконання в комбінованому поєднанні зі значною різницею в жорсткості, після прикладення вертикального навантаження. Поєднати теорію з практикою складно так, як не існує такого методу, який би дав можливість визначити, розібратися і зрозуміти, що насправді відбувається у конструкції.

Мета і завдання дослідження. Метою і завданням дослідження було визначення вертикальної силової характеристики комбінованих пружин під впливом зовнішніх навантажень з використанням програмно-апаратного забезпечення SolidWorks (Dassault Systèmes) та середовища MathCAD 15 з побудовою результуючої діаграми переміщення.

Матеріали та методи дослідження. Для дослідження вертикальної силової характеристики запропоновано метод визначення інваріантної характеристики (прогину) комбінованих пружин під впливом зовнішніх навантажень, так як пропонується конструкція підкритої пружини [6] виконана методом комбінування зовнішньої вкороченої циліндричної винтової пружини, яка має лінійну вертикальну силову характеристику та пакету тарілчастих пружин, комбінація якого має нелінійну вертикальну силову характеристику [7, 8].

Ця комбінація дозволяє отримати силову характеристику – ламану пряму, яка має свої характеристики та геометричну форму. Запропонований метод дає можливість розібратися з питаннями: які типи тарілчастих пружин в залежності від їх геометрії можна використовувати на практиці та які жорсткісні характеристики потрібні для забезпечення необхідних функціональних можливостей самої системи ресорного підвішування. Від матеріалу і товщини тарілчастих пружин буде залежати характеристика комбінованої пружини. Характеристику можна отримати завдяки запропонованому методу з застосуванням програмного забезпечення і цілком адекватно оцінити. Метод залежить від вхідних параметрів: навантаження, геометрії, матеріалу. В даному випадку, оцінка адекватності проведена, так як перед проведенням роботи було встановлено діючі навантаження, які припадають на фрикційний клин, котрий переміщується на певну величину у системі [9 – 11]. Показано величину переміщення при різних навантаженнях.

Адаптивна модель прогнозування – це самоналагоджувальна рекурентна модель, здатна відображати яким чином змінюються у часі динамічні властивості часового ряду і враховувати інформаційну цінність його членів [12, 13].

Суть запропонованого методу полягає в адаптивному підборі оптимального варіанта конструктивного виконання комбінованих пружин ресорного підвішування напіввагона з визначенням інваріантних характеристик окремих елементів системи при вирішенні задач оптимізації роботи, тобто визначення раціональних параметрів силових характеристик ресорного підвішування візків вантажних вагонів. Він дає повне уявлення про те, як відбувається переміщення пружинних елементів системи.

Метод базується на використанні програмно-апаратного забезпечення SolidWorks (Dassault Systèmes) з використанням нелінійного динамічного аналізу (Nonlinear Dynamic Analysis) [14] та розрахунку в середовищі MathCAD 15 [15] з

побудовою результуючої діаграми переміщення. Даний аналіз виконується, коли залежні від часу навантаження поєднуються з нелінійними ефектами – як геометричною, так і фізичною нелінійністю. Нелінійний динамічний аналіз доступний для опрацювання нелінійних матеріалів, умов контакту і великих переміщень. Метод засновано на прямому інтегруванні рівнянь руху, який не супроводжується розкладом за власними частотами.

Метод визначення інваріантної характеристики (прогину) комбінованих пружин під впливом зовнішніх навантажень включає: проектування елементів досліджуваної моделі ресорного підвішування візка напіввагона; розрахунок і визначення переміщень в окремих вузлах елементів з урахуванням діючих навантажень; створення діаграм переміщень і оцінка ефективності застосування досліджуваних елементів конструкції.

Результати дослідження. Навантаження, що припадає на ресорний комплект, розраховано раніше та представлено у статтях [9 – 11].

На рис. 1 показано модель досліджуваної конструкції фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплексу з зазначенням досліджуваних вузлів. Вузлу 63150 (0,18906; - 0,967742) відповідає зовнішня циліндрична вита пружина, вузлу 4700 (0.219535; 0.000100806) – тарілчаста пружина. Кожні з них окремо вибрані у якості верхніх вузлів, розташованих в моделі. Сама модель включає близько 80 тисяч вузлів.

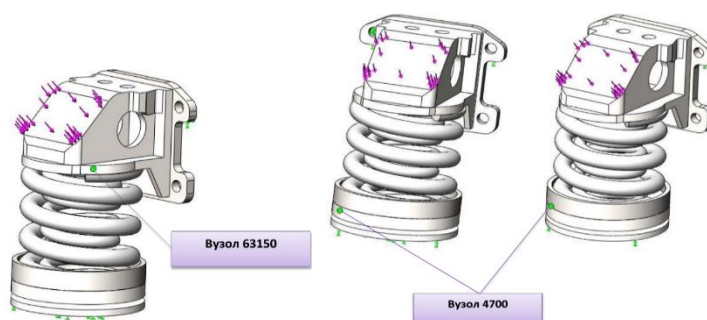


Рис.1. Модель досліджуваної конструкції фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплексу з зазначенням досліджуваних вузлів

Діаграма залежності прогину зовнішньої вкороченої підклинової витой циліндричної пружини та пакету тарілчастих пружин від часу (рис. 2, рис. 3) є результатом, який було отримано завдяки модулю нелінійного динамічного аналізу (Nonlinear Dynamic Analysis) SolidWorks (Dassault Systèmes). Даний модуль дозволив отримати нелінійну реакцію в кількості п'яти точок, які на графіку позначені червоними крапками. UY (mm) – переміщення, мм. Покрокова зміна часу (час дискретизації) склала від 0,2 до 1 сек.

На рис. 4 показано фрагмент отриманих результатів розрахунку прогинів окремих вузлів від часу імпортованих до Microsoft Office Excel 2013. За цими даними побудовано діаграму накладання прогинів окремих елементів системи ресорного підвішування (рис. 5).

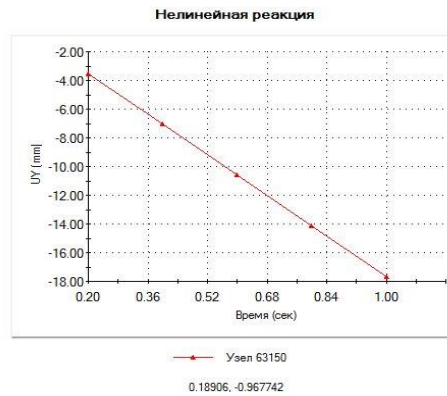


Рис. 2. Діаграма залежності прогину зовнішньої вкороченої підкритої витої циліндричної пружини від часу

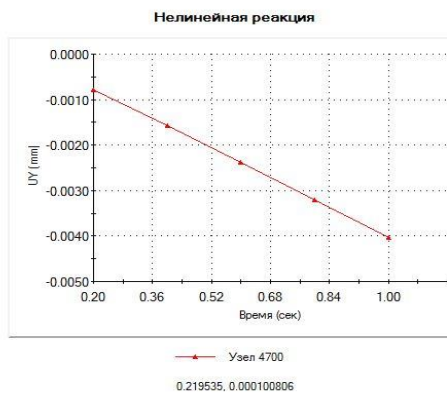


Рис. 3. Діаграма залежності прогину пакету тарілчастих пружин від часу

Нелинейная реакция		Нелинейная реакция	
17:36, воскресенье, Февраль 24, 2019		12:40, воскресенье, Февраль 24, 2019	
Название X: Время (сек)		Название X: Время (сек)	
Название Y: UY (mm)		Название Y: UY (mm)	
Точка, X, Y1 (Узел 63150)		Точка, X, Y1 (Узел 4700)	
1, 0.2	,3.5273 ,	1, 0.2	,0.00077713 ,
2, 0.4	,7.0592 ,	2, 0.4	,0.0015685 ,
3, 0.6	,10.596 ,	3, 0.6	,0.0023747 ,
4, 0.8	,14.137 ,	4, 0.8	,0.0031963 ,
5, 1	,17.683 ,	5, 1	,0.0040336 ,
0.2	3.5273	0.2	0.000777
0.4	7.0592	0.4	0.001569
0.6	10.596	0.6	0.002375
0.8	14.137	0.8	0.003196
1	17.683	1	0.004034

Рис. 4. Фрагмент результатів розрахунку прогинів вузлів від часу

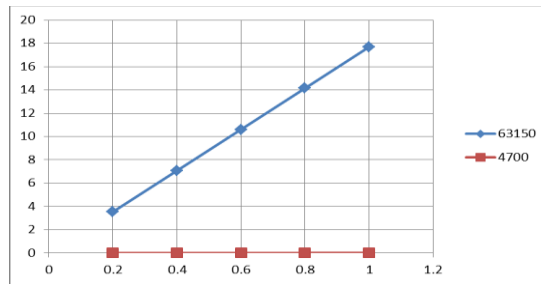


Рис. 5. Діаграма накладання прогинів елементів ресорного підвішування

Для того ж щоб зрозуміти в якому місці відбувається перетин цих двох ліній, данні лінії було виражено через окремі функції у середовищі MathCAD, використовуючи систему матриць. tA , tB , $tA1$, $tB1$ – точки через які проходить функція; $k1$ і $k2$ – коефіцієнти, власне це кути нахилу. Фрагмент розрахунку в середовищі MathCAD 15 з побудовою результуючої діаграми переміщення (рис. 6, рис. 7) має наступний вигляд.

$$\begin{array}{ll}
 tA(0.2,3.52) & tA1(0.2,0.00078) \\
 tB(1,17.68) & tB1(1,0.00403) \\
 A := \begin{pmatrix} 0.2 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \quad B := \begin{pmatrix} 3.5273 \\ 17.68 \end{pmatrix} & A1 := \begin{pmatrix} 0.2 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \quad B1 := \begin{pmatrix} 0.00078 \\ 0.00403 \end{pmatrix} \quad (1) \\
 X := A^{-1} \cdot B & X1 := A1^{-1} \cdot B1 \quad (2) \\
 X := \begin{pmatrix} 17.690875 \\ -0.010875 \end{pmatrix} & X1 := \begin{pmatrix} 0.004062 \\ -0.000032 \end{pmatrix} \quad (3) \\
 f(x) := 17.691x - 0.011 & f4(x) := 0.004x - 0.00002 \quad (4)
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 x1 := 0.2 & y1 := 3.5273 & x21 := 0.2 & y21 := 0.00078 \\
 x2 := 1 & y2 := 17.68 & x22 := 1 & y22 := 0.00403 \\
 k1 := \frac{y2 - y1}{x2 - x1} & k1 = 17.690875 & k2 := \frac{y22 - y21}{x22 - x21} & k2 = 0.004062 \quad (5) \\
 f1(x) := k1 \cdot (x - x1) + y1 & & f2(x) := k2 \cdot (x - x21) + y21 & (6)
 \end{array}$$

Рис. 6. Фрагмент розрахунку в середовищі MathCAD 15

На рис. 7 показано знаходження точки перетину двох функцій, тобто шукана сходінка. Червона та синя лінії дуже близько проходять від нуля, отже, величина шуканої сходінки буде незначною. Для визначення її величини, графічно представлено функції з відображенням «ламаної» лінії переміщення пружинних елементів системи (рис. 8). Жирні лінії зверху та знизу перетворюються в

нескінченні прямі, які перетинаються в точці F четвертого квадранту, що пов'язано з глобальною системою координат в якій відбудовувалася модель комбінованої пружини. Штрихпунктирна лінія – ламана лінія шуканої силової характеристики досліджуваної конструкції. KF – відрізок шуканої сходинок.

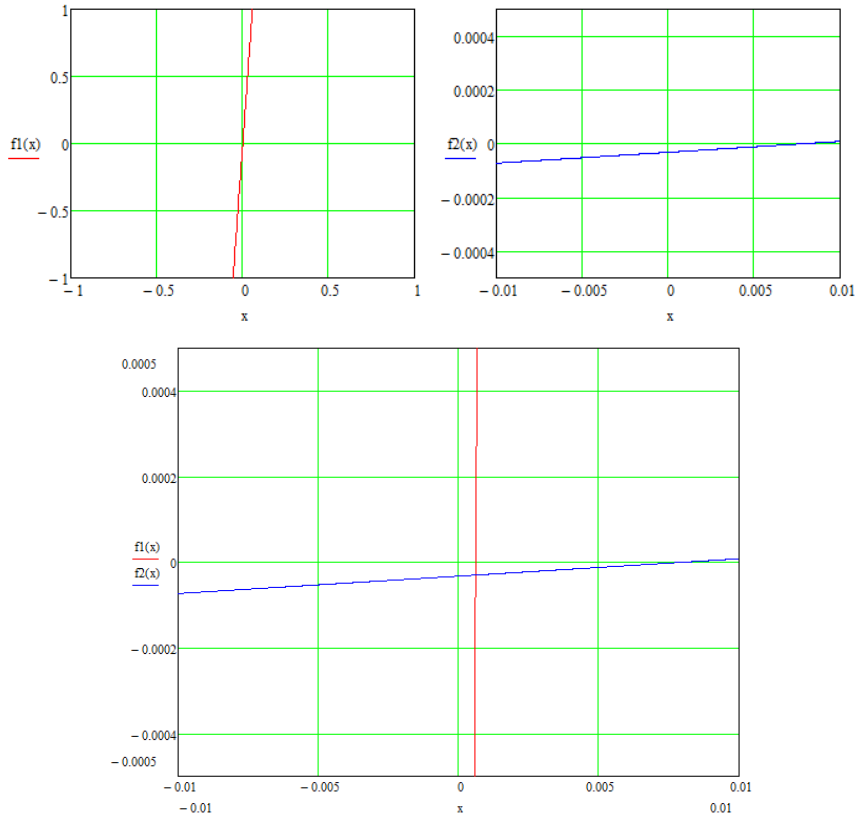


Рис. 7. Знаходження точки перетину двох функцій

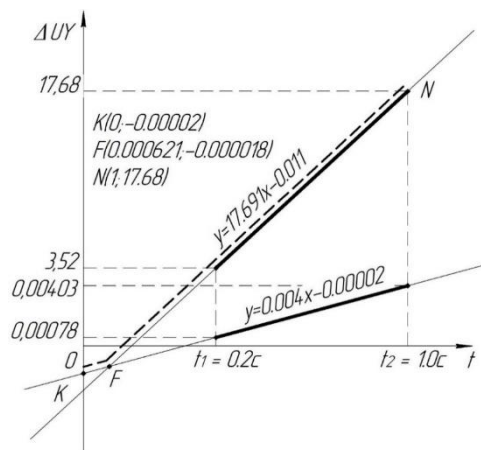


Рис. 8. Графічне представлення функцій з відображенням «ламаної» лінії переміщення пружинних елементів системи

Для знаходження точки перетину двох функцій – F було вирішено систему рівнянь і визначено довжину відрізків KF та FN. Фрагмент розрахунку в середовищі MathCAD 15 знаходження координат точки перетину та значення точки перетину наступний (рис. 9):

$$\begin{aligned}
 f1(x) &:= k1 \cdot (x - x1) + y1 & (7) \\
 f2(x) &:= k2 \cdot (x - x2) + y2 \\
 c &:= 0 \quad d := 0 \\
 &\text{Given} \\
 17.691c - d &= 0.011 & (8) \\
 0.004c - d &= 0.00002 \\
 \text{Find}(c, d) &= \begin{pmatrix} 0.000621 \\ -0.000018 \end{pmatrix} \\
 fx2 &:= 0.000621 \\
 kx1 &:= 0 \\
 fy2 &:= -0.000018 \\
 ky1 &:= 0.00002 \\
 Nx3 &:= 1 \\
 Ny3 &:= 17.68 \\
 r1 &:= \sqrt{(fx2 - kx1)^2 + (fy2 - ky1)^2} & (9) \\
 r1 &:= 0.000621 \text{ mm} \\
 r2 &:= \sqrt{(Nx3 - fx2)^2 + (Ny3 - fy2)^2} \\
 r2 &:= 17.708241 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Рис. 9. Фрагмент розрахунку в середовищі MathCAD 15 знаходження координат точки перетину та їх значення

Координати точки F (0.000621; - 0.000018);

Довжина відрізка KF – 0.000621 мм, FN – 17.708241 мм.

Пропонована конструкція фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплексу має білінійну характеристики. Білінійність підтверджується отриманими результатами – діаграмами, розрахунками та графіками, в ході проведених досліджень.

Для розрахунку енергетичної ефективності конструкції [9 – 11] дане значення шуканої сходинок, яка показує білінійність не враховувалося, так як воно незначне і не впливає на розрахунок.

Висновки. 1. Запропоновано метод визначення інваріантної характеристики (прогину) комбінованих підклинових пружин під впливом зовнішніх навантажень для дослідження вертикальної силової характеристики. Він дозволяє вибрати оптимальний варіант конструктивного виконання комбінованих пружин ресорного підвішування напіввагона з визначенням інваріантних характеристик окремих елементів системи при вирішенні задач оптимізації роботи, тобто визначення раціональних параметрів силових характеристик ресорного підвішування візків вантажних вагонів.

2. Запропонований метод дозволить: розібратися з питанням використання на практиці тарілчастих пружин в залежності від їх геометрії та жорсткості, визначати характеристики потрібні для забезпечення певних функціональних можливостей самої системи, отримати повне уявлення про те, як відбувається переміщення пружинних елементів системи.

3. Досліджувана конструкція фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплекту має білінійну характеристику. Білінійність підтверджується отриманими результатами – діаграмами, розрахунками та графіками, в ході проведених досліджень. Шукані значення: координати точки F (0.000621; – 0.000018); довжина відрізка KF – 0.000621 мм та FN – 17.708241 мм. Для розрахунку енергетичної ефективності конструкції дане значення шуканої сходинок, яка показує білінійність не враховувалося, так як воно незначне і не впливає на розрахунок.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Мінєєва Ю.В.* Транспортні засоби: метод. вказ. до вик. лаб. робіт. Х.: ХНАМГ, 2010. 44 с.
2. *Коваленко А.В., Скуріхін І.Л.* Механічне обладнання транспортних засобів: конспект лекцій: навч. посіб. Харків: ХНАМГ, 2008. 123 с.
3. *Лосев Д.Н.* «Анализ существующей нормативно-технической документации по изготовлению и ремонту пружин. Разграничение гарантийной ответственности при изготовлении, ремонте и эксплуатации пружин». Заседание Союза «Объединение вагоностроителей» и Подкомитета по вагоностроению НП «ОПЖТ»: «Жизненный цикл пружин подвижного состава железнодорожного транспорта. Современные методы повышения эксплуатационного срока», ООО «Уральский Пружинный Завод», 16 ноября. Россия, Республика Башкортостан, г. Белорецк, 2017.
4. *ГОСТ 14959-2016.* Металлопродукция из рессорно-пружинной нелегированной и легированной стали. Технические условия. Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ, 2017. 28 с.
5. *Марков А.М., Габєц А.В., Габєц Д.А., Гавриков Д.В.* Пружины рессорного комплекта тележек грузовых вагонов. Материалы Международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы в машиностроении», 2016, № 3 (3). С. 194 – 197.
6. *Фрикційний клиновий гаситель коливань візка вантажного вагона:* пат. № 126619 Україна. № u 2018 01143; заяв. 06.02.18; опубл. 25.06.2018. Бюл. № 12 (кн. 1). 298 с.
7. *ГОСТ 1452-2011.* Пружины цилиндрические винтовые тележек и ударно-тяговых приборов подвижного состава железных дорог. Технические условия. Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ, 2011. 20 с.
8. *ГОСТ 3057 – 90.* Пружины тарельчатые. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт. ИПК Изд-во стандартов, 2003. 37 с.
9. *Потапенко О.О., Могіла В.І.* Результати досліджень роботи фрикційного гасителя коливань серійної та удосконалених конструкцій візка вантажного вагону. Вісник СНУ ім. В. Даля. Северодонецьк, 2018, № 2 (243). С. 184 – 192.
10. *Olha Potapenko, Nikolay Gorbunov, Valentin Mogyla, Yuriy Shcherbina, Vladimir Hauser.* Analysis and Function Evaluation of Common and Proposed Friction Shock Absorbers for Open Box Wagon. Book of abstracts of XVI International Conference «Dynamics of Rigid and Deformable Bodies 2018», 17 – 19 October. Ústí nad Labem, Czech republic, 2018.
11. *Потапенко О.О., Могіла В.І.* Результати комп'ютерного моделювання роботи гасителя коливань візка вантажного вагону. Збірник наукових праць за матеріалами VIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Транспорт і логістика: проблеми та рішення», Северодонецьк – Одеса – Вільнюс – Київ, травень 23 – 25. Одеса: КУПРІСНКО СВ, 2018. С. 106 – 108.
12. *Камінська Н.І.* Адаптивні методи у соціально-економічному прогнозуванні. Тези доповідей VII Міжнародної науково-метод. конф. Форум молодих економістів-кібернетиків «Моделювання економіки: проблеми, тенденції, досвід», жовтень 21 – 22. Тернопіль: МП «Гайп», 2016. С. 83 – 84.
13. *Лукашин Ю.П.* Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования. М.: Статистика, 1979. 254 с.
14. *Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В.* SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике: практ. пособ. СПб: БХВ-Петербург, 2008. 1038 с.
15. *Кирьянов Д.В.* Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 432 с.

REFERENCES

1. Mineeva, Ju.V. (2010). Transportni zasobi [Vehicles]. H.: HNAMEG [in Ukraine].
2. Kovalenko, A.V., Skurihin, I.L. (2008). Mehanichne obladnannja transportnih zasobiv [Mechanical operation of vehicles]. Harkiv: HNAMEG [in Ukraine].
3. Losev, D.N. (2017). Analiz sushhestvujushhej normativno-tehnicheskoy dokumentacii po izgotovleniju i remontu pruzhin. Razgranichenie garantijnoj otvetstvennosti pri izgotovlenii, remonte i jekspluatacii pruzhin [Analysis of the existing regulatory and technical documentation for the manufacture and repair of springs. Differentiation of warranty liability in the manufacture, repair and operation of springs]. Zhiznennyj cikel pruzhin podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta. Sovremennye metody povyshenija jekspluacionnogo sroka: Zasedanie Sojuza «Objedinenie vagonostroitelej» i Podkomiteta po vagonostroeniju NP «OPZhT» (16 nojabrja 2017 hoda) – The meeting of the Union "Association railcar" and Railroad car NP "OPZHT" Subcommittee, OOO «Ural'skij Pruzhinnyj Zavod». Rossiya, Respublika Bashkortostan, g. Beloreck [in Russian].
4. Metaloprodukcija iz resorno-pruzhinnoj nelegirovannoj i legirovnoj stali. Tehnicheskie uslovija [Metal products from spring-spring alloyed and alloyed steel. Technical conditions]. (2017). GOST 14959-2016 from 01st january 2018. M.: Standartinform [in Russian].
5. Markov, A.M., Gabec, A.V., Gabec, D.A., Gavrikov, D.V. (2016) Pruzhiny resornogo komplekta telezhek gruzovyh vagonov [Springs of a spring set of carriages of freight wagons]. Materials of the Actual problems in mechanical engineering'16: Mezhdunarodnoja nauchno-prakticheskaja konferencija – International scientific-practical conference (pp. 194 – 197), № 3 (3) [in Russian].
6. Frikcijnij klinovij gasitel' kolivan' vizka vantazhnogo vagona [Friction wedge damper for fluctuations of the trolley of a freight wagon] (2018): pat. № 126619 of Ukraine from 25.06.2018. Bjul. № 12 (kn. 1) [in Ukraine].
7. Pruzhiny cilindricheskie vintovye telezhek i udarno-tjagovyh priborov podvizhnogo sostava zheleznyh dorog. Tehnicheskie uslovija [The springs are cylindrical screw carts and shock-traction devices of rolling stock of railways. Technical specifications] (2011). GOST 1452-2011 from 01st january 2012. M.: Standartinform [in Russian].
8. Pruzhiny tarel'chatye. Obshhie tehniczeskie uslovija [Spring springs. General specifications] (2003). GOST 3057 – 90 from 07th january 1990. IPK Izd-vo standartov [in Russian].
9. Potapenko, O.O., Mogila, V.I. (2018). Rezul'tati doslidzhen' roboti frikcijnogo gasitelja kolivan' serijnoi ta udoskonalenih konstrukcij vizka vantazhnogo vagonu [Results of researches of work of the frictional quencher of fluctuations of serial and advanced designs of the cart of the freight car]. Visnik SNU im. V. Dalja – Visnik V. Dahl EUNU, 2 (243), 184 – 192 [in Ukraine].
10. Olha Potapenko, Nikolay Gorbunov, Valentin Mogyla, Yuriy Shcherbina, Vladimir Hauser (2018). Analysis and Function Evaluation of Common and Proposed Friction Shock Absorbers for Open Box Wagon. Book of abstracts of XVIth International Conference «Dynamics of rigid and deformable bodies 2018», 17 – 19 October. Ústí nad Labem, Czech republic [in English].
11. Potapenko, O.O., Mogila, V.I. (2018) Rezul'tati komp'juternogo modeljuvannja roboti gasitelja kolivan' vizka vantazhnogo vagonu [Results of computer simulation of the work of the vibration damper of the freight car trolley]. Zbirnik naukovih prac' za materialami «Transport i logistika: problemi ta rishennja» Severodonec'k – Odesa – Vil'njus – Kiïv: VIII-ja Mizhnarodna naukovopraktichna konferencija (23 – 25 travnja 2018 hoda) – VIIIth International scientific and practical conference (pp. 106 – 108). Odesa: KUPRIENKO SV [in Ukraine].
12. Kamins'ka, N.I. (2016). Adaptivni metodi u social'no-ekonomichnomu prognozuvanni [Adaptive Methods in Socio-Economic Forecasting]. Abstracts from "Modeling of the economy: problems, tendencies, experience'16": VII Mizhnarodna naukovopraktichna metod. konf. Forum molodih ekonomistiv-kibernetikiv (21 – 22 zhovtnja 2016 hoda) – VIIth International scientific and methodical conference Forum of young economists-cybernetics (pp. 83 – 84). Ternopil: MP «Tajp» [in Ukraine].
13. Lukashin, Ju.P. (1979). Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovanija [Adaptive short-term forecasting methods]. M.: Statistika [in Russian].
14. Aljamovskij, A.A., Sobachkin, A.A., Odincov, E.V. (2008). SolidWorks 2007/2008. Komp'juternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike [Computer modeling in engineering practice]. SPb: BHV-Peterburg [in Russian].
15. Kir'janov D.V. (2012). Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. SPb.: BHV-Peterburg [in Russian].

Ольга Потапенко
(старший преподаватель, Восточноукраинский национальный университет
им. В. Даля, Северодонецк);
Юрий Щербина, к.т.н.
(старший преподаватель, Государственный университет инфраструктуры
и технологий, Киев)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В статье впервые представлен и описан предложенный метод определения инвариантной характеристики (прогиба) комбинированных пружин под воздействием внешних нагрузок для исследования силовой характеристики в вертикальном направлении. Метод основан на использовании программно-аппаратного обеспечения SolidWorks (Dassault Systèmes) с использованием нелинейного динамического анализа (Nonlinear Dynamic Analysis) и расчета в среде MathCAD 15 с построением результирующей диаграммы перемещения.

Представлены впервые результаты исследований влияния элементов усовершенствованной конструкции рессорного подвешивания на её силовую характеристику. При исследовании силовой характеристики, усовершенствованной конструкции рессорного подвешивания с применением метода определения инвариантной характеристики комбинированных пружин, под воздействием внешних нагрузок: спроектированы элементы исследуемой модели рессорного подвешивания тележки полувагона; рассчитаны и определены перемещения в отдельных узлах элементов с учетом действующих нагрузок; созданы диаграммы перемещений и оценена эффективность применения исследуемых элементов конструкции.

Подтверждена целесообразность и эффективность использования метода определения инвариантной характеристики (прогиба) пружин различных конструктивных моделей и их силовой характеристики в рессорного подвешивания тележек грузовых вагонов при исследовании, изучении и проектировании современных перспективных конструкций системы демпфирования колебаний.

Ключевые слова: вертикальная силовая характеристика, рессорное подвешивание, инвариантная характеристика комбинированных пружин, усовершенствованная конструкция, моделирование.

Olha Potapenko
(Senior Lecturer, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,
Severodonetsk);
Yuriy Shcherbina, Ph.D. in Technical Sciences
(Senior Lecturer, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv)

DEFINITION OF THE POWER CHARACTERISTICS OF THE ELEMENTS OF SPRING SUSPENSION OF THE CARGO WAGON

In the article, the offered method of definition of invariant characteristic (deflection) of the combined springs under the influence of external loadings for a research of power

characteristic in the vertical direction is for the first time presented and described. The method is based on the use of hardware-software providing SolidWorks (Dassault Systèmes) with the use of Nonlinear Dynamic Analysis and calculation in the environment of MathCAD 15 with creation of the resultant chart of movement.

The results of studies of the influence of elements of the improved spring suspension design on its power characteristic are presented for the first time. At a research of power characteristic of advanced construction of spring suspension using a method of definition of invariant characteristic of the combined springs under the influence of external loading the following results are achieved: the elements of the studied model of spring suspension of the cart of the gondola car is designed; movements in separate nodes of elements taking into account actual loads are calculated and defined; charts of movements are created and the efficiency of application of the studied structural elements is estimated.

The expediency and efficiency of use of a method of definition of invariant characteristic (deflection) of springs of different constructive models and their power characteristic in spring suspension of carts of freight cars is confirmed at the research, studying and design of modern perspective constructions of a system of vibration damping.

Keywords: *vertical power characteristic, spring suspension, invariant characteristic of combined springs, advanced design, modeling.*

УДК 629.4.083.:629.463

*Дмитро Волошин, к.т.н., доцент
(доцент кафедри вагонів Українського державного університету
залізничного транспорту, м. Харків)
Ігор Афанасенко
(старший викладач кафедри вагонів Українського державного
університету залізничного транспорту, м. Харків)*

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВАГОНОРЕМОНТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Стаття присвячена питанням оцінки ефективності вагоноремонтних підприємств. На сучасний момент указані виробничі системи характеризуються низькою надійністю. Спостерігається погіршення процедур виконання планових завдань та зниження якості ремонту вагонів.

Актуальною науково-технічною задачею є розробка інтегрованого виробничого простору, який дозволить запровадити основні положення виробничої логістики.

***Ключові слова:** виробнича система, динамічна стійкість, ефективність виробництва, ресурс вагонів, надійність.*

Вступ. Підприємства з ремонту вантажних та пасажирських вагонів вимушені здійснювати свою діяльність у край невизначених умовах. Різні зовнішні та внутрішні фактори впливу на виробництво створюють передумови для подальшого поглиблення деградаційних процесів. Неконтрольоване старіння рухомого складу, відсутність прозорих процедур матеріального забезпечення, незадовільна якість запасних частин та матеріалів, відсутність пропорційного розвитку окремих підсистем виробництва – це лише деяка частина причин, що обумовлюють низьку ефективність виробничих процесів вагоноремонтних підприємств.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. За останні роки проблемам підвищення надійності виробничих систем та застосування логістичних принципів управління виробництвом були присвячені роботи В.В. Бугаєва, В.І. Грідюшко, В.І. Денисенко, А.П. Дьяченко, Н.З. Криворучко, М.М. Болотина, Г.Л. Бродецького, Р. Брауна, Дж. Букана, Є.В. Булінської, Є.П. Дудкіна, С.Н. Корнілова, С.В. Пітьоркіна, В.Л. Лапіна, В.І. Томакова, Дж. Хедлі, Л.Ф. Хазєєва, Х. Кумамото, А.Г. Федорця, М.А. Ястребенецького і багатьох інших.

На сучасному етапі потрібно використовувати інтеграційні технології організації та управління виробництвом. Поступовий перехід до прогресивних підходів управління дасть змогу не тільки значно зменшити виробничі втрати, але й перейти до нових рівнів забезпечення якості продукції. Методологією, яка найбільш відповідно втілює інтеграційні принципи є виробнича логістика.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-7

Для реалізації функцій інтегрованого простору, за необхідне вважається застосування сучасних процедур визначення надійності виробничих підсистем та підтримання їх зі заданими параметрами у часі.

Мета і завдання дослідження. Актуальною задачею в межах пропонованих досліджень є оцінка рівня ефективності виробничих систем з ремонту вантажних вагонів на поточний момент їх експлуатації.

Матеріали та методи дослідження. Сучасні виробництва з ремонту вагонів відносяться до класу складних організаційних систем, які мають варіабельні параметричні характеристики у часі [1, 5-8]. Як відомо з класичних теоретичних положень теорії надійності, основною відмінною систем від об'єктів є відносна неможливість трактування їх відмов в категоріях «справна–несправна» або «працездатна–непрацездатна» [2, 12-15].

На практиці організаційні системи найчастіше розглядають у вигляді складних динамічних утворень, які бувають у двох станах — стійкому та нестійкому. При цьому стійкий стан означає заданий режим роботи виробничих підрозділів, відповідність фактичних показників виконання плановим, оптимальний ресурсний розподіл. При нестійкому стані відбуваються небажані виробничі події у вигляді збоїв, втрат ресурсів, порушень стандартних режимів роботи та інші.

Але потрібно мати на увазі, що практично всі підприємства транспортного сектору проектувалися в умовах планової економіки [9-11] та у час, коли відбувалося значне і постійне її зростання. За останні роки спостерігається тенденція до постійних кризових ситуацій, що викликає потребу в корінній зміні методів управління та організації виробничої діяльності з ремонту вагонів.

Відмітимо, що складні організаційні системи відносяться до відновлювального типу з точки зору надійності. При проектуванні в них від самого початку закладаються процедури, спрямовані на підтримання їх у працездатному стані [11-15] (комплексні заходи типу модернізації, технічного переозброєння, реконструкції). При відсутності порушень у реалізації запланованих напрямів технічного розвитку, система постійно підтримується в працездатному стані, а відхилення показників її функціонування знаходяться в межах статистичної похибки. Але в умовах постійних порушень стандартних та визначених нормативною документацією процедур, практично кожна кризова ситуація (відсутність матеріалів та запасних частин, нестача оборотних коштів, аварії обладнання та інші) може перемістити виробничу систему за межі області динамічної стійкості.

Властивості систем визначають в їх структурах та функціях [8, 9, 14, 15] механізми адаптації до постійно змінним зовнішнім та внутрішнім умовам середовища. Тому більш раціонально розглядати відмови систем з точки зору ефективності функціонування. Це дає змогу враховувати фактори, які при класичному трактуванні залишаються за межами аналізу, що проводиться.

Заслугує уваги методика представлена в [3]. Вона є достатньо універсальною та може застосовуватися для проведення аналізу ефективності підприємств з ремонту рухомого складу як в промисловому секторі, так і в магістральному. Автор запропонував використовувати оцінку ефективності ремонтних підрозділів на основі визначення двох характеристик – параметра потоку відмов (ω_x) та коефіцієнта повноти відновлення ресурсу вагонів (η). Для оцінювання розвитку системи ремонту її фактичному стану у відповідність ставляться певні рівні

ефективності функціонування системи в залежності від цільової функції та параметрів виробничого середовища (табл. 1).

Таблиця 1. Рівні ефективності технологічних систем вагоноремонтних підприємств

Рівень ефективності системи	Характеристика показників	Мета та задачі системи
Перспективний (високий, стійкий)	Повне відновлення ресурсу вагонів ($\eta = 1; \omega_x \rightarrow \min$)	Безвідмовна робота системи, діагностика вагонів, ремонт по фактичному напрацюванні на відмову
Стабільний (середній, надійний)	Повне відновлення ресурсу вагонів після кожної відмови ($\eta = 1; \omega_x = 1/x$)	Безаварійна експлуатація вагонів, попередження відмов за рахунок планово-попереджувальної системи
Нестабільний (низький, ситуаційний)	Неповне, але постійне відновлення ресурсу вагонів після першої відмови ($\eta < 1; \omega_x = 1/\eta x$)	Підтримання працездатності на певному рівні за рахунок проведення планових ремонтів
Аварійний (критичний, ненадійний)	Послідовне (постійне) у часі зниження повноти відновлення ресурсу ($\eta \ll 1; \omega_x \rightarrow \max$)	Відновлення вагонів після відмов або аварії за рахунок проведення аварійних ремонтів

Коефіцієнт повноти відновлення ресурсу показує якість ремонту, який було виконано. При цьому є можливість оцінювання імовірного зменшення ресурсу вагонів:

$$\eta_i = \frac{x'_{i,i+1}}{x'_1}, \quad (1)$$

де x_i – середнє напрацювання між i -ою та $i+1$ відмовами;

x_1 – середнє напрацювання до першої відмови.

Параметр потоку відмов – це відносна кількість відмов, які поступають для усунення, та яка приходить на одиницю часу роботи відповідного виробничого підрозділу:

$$\omega_x = \sum_{i=1}^{\infty} f_i(x), \quad (2)$$

де $f_i(x)$ – щільність імовірності виникнення i -ої відмови.

Як вказувалося в [4], у вітчизняних виробничих системах з ремонту вагонів спостерігається значне зниження комплексних показників надійності у часі. Відхилення запланованих та фактичних значень досягає більше 50%. Це пояснюється сумарною дією негативних факторів по двох напрямках (рис. 1). З одного боку спостерігається постійне зниження характеристик надійності вагонного парку, яке обумовлене старінням конструкцій, їх недостатнім оновленням та закономірним накопиченням критичних пошкоджень. З другого, відбувається деградація виробничих систем в умовах недостатнього оновлення парку обладнання, застосування застарілих технологій та підходів до організації виробництва.



Рис. 1. Схема деградаційних процесів у виробничих системах

На прикладі відмов візків вантажних вагонів за два роки експлуатації (рис. 2) було встановлено, що має місце значне зниження надійності вагонних конструкцій у часі.

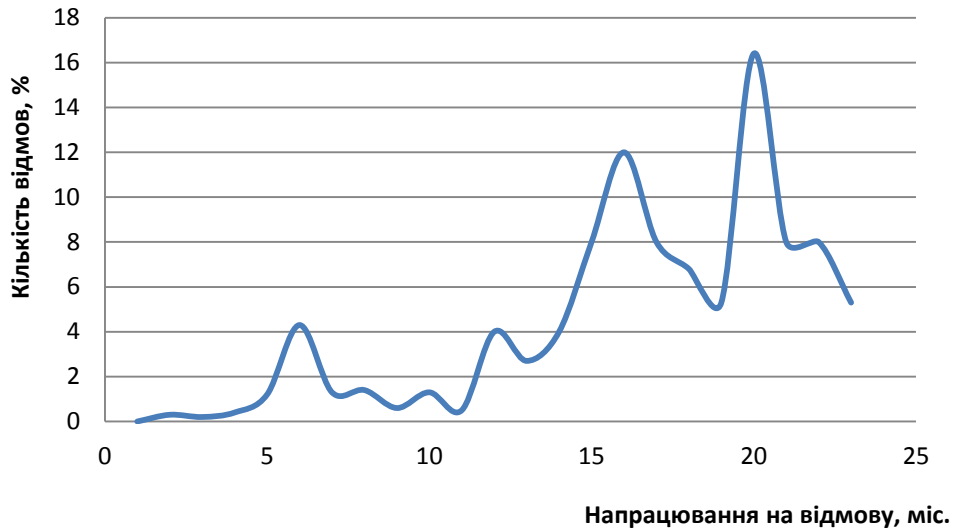


Рис. 2. Аналіз даних по відмовах візків вантажних вагонів

Коефіцієнт повноти відновлення ресурсу згідно проведених розрахунків прагне до мінімальних значень ($\eta \rightarrow 0$), відхилення від планових показників досягає максимальних меж. Спостерігається процес усунення відмов та несправностей, взамін їх попередження та підтримання вагонів у справному стані. Зроблено загальний висновок, що на поточний момент виробничі системи відносяться до класу нестабільних.

Висновки. Постійне зниження характеристик надійності виробничих систем з ремонту вагонів прямо впливає на їх ефективність у часі. Проведення досліджень, спрямованих на її оцінку дають змогу розробити заходи по забезпеченню стійкості виробничих підрозділів та виконанню ними виробничих завдань у повному обсязі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кульба В. В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н. Методи формування сценарієв розвитку соціально-економічних систем. М.: СИНТЕГ, 2004. 400 с.
2. Кочкаров, А. А., Малинецкий Г.Г. Управление безопасностью и стойкостью сложных систем в условиях внешних воздействий // Проблемы управления. 2005. №5. С. 70-76.
3. Корнилов, С. Н. Формирование и развитие системы ремонта железнодорожного подвижного состава промышленных предприятий на основе логистических принципов: дис. д-ра. техн. наук. М., 2005. 267 с.
4. Волошин, Д. І. До питання підвищення надійності роботи виробничих підрозділів підприємств з ремонту вагонів // Зб. наук.праць. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип.157. С. 128-130.
5. Wiendahl, H.-P., Hegenscheidt M.. Reliability and Availability of Complex Production Systems. // Published in: E.Kuljanic (Ed.) Advanced Manufacturing Systems and Technology, CISM Courses and Lectures No. 437, Springer Wien New York, 2002, P. 225–232.
6. Фомін О.В., Гостра А.В. Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». Київ: ДЕТУТ, 2015. Вип.26-27. С.137–147.

7. Фомін, О.В. Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Харків. 26'2012. С.29-33.
8. Мороз В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності // Зб. наук. праць. Харків: УкрДАЗТ, 2009. С. 121 – 131.
9. Кельріх М. Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганськ: СНУ ім. В. Даля. 2014. №. 2. С. 210.
10. Макаренко М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону //Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». К.: ДНДЦ УЗ. 2014. №. 5. С. 107.
11. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» // Зб. наук. праць. Харків: УкрДАЗТ. 2008. С. 72-81.
12. Kelrykh M., Fomin O. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 6. P.64-67.
13. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building // East European journal of advanced technologies. Kharkiv. № 3/7(57), 2012. P. 32-35 - access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3\(7\)_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
14. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». Кременчук: КДПУ, 2013. Вип. 6(83). С. 87-91.
15. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності // Науковий журнал - «Технологический аудит и резервы производства». Харків, 2015. № 4/1(24). С. 83-89.

REFERENCES

1. Kulba, V.V., Kononov, D.A., Kosiachenko, S.A., Shubyn, A.N. (2004). *Metody formirovaniya stszenariiev razvitiya sotsialno-ekonomicheskikh sistem [Methods of forming scenarios for the development socio-economic systems]*. M: SYNTEH [in Russian].
2. Kochkarov, A. A., Malynetskiy, H.H. (2005) Upravlenye bezopasnostiu y stoikosti slozhnykh system v usloviyakh vneshnykh vozdeistviy [Safety management and durability of complex systems in the face of external influences]. *Problemy upravleniya – Problem management*, 5, 70-76 [in Russian].
3. Korniyov, S. N. (2005) Formirovaniye y razvitye systemy remonta zheleznodorozhnogo podvyzhnogo sostava promyshlennykh predpriyatiy na osnove lohistycheskykh pryntsypov [Formation and development of a system for repairing railway rolling stock of industrial enterprises based on logistic principles]. *Doctor's thesis*. Moskov [in Russian].
4. Voloshyn, D. I. (2015) Do pitannya pIdvischennya nadlynostI roboti virobnichih pIdrozdIIIv pIdpriemstv z remontu vagonIv [On the issue of improving the reliability production units of the enterprises for the repair of cars]. *Zb. nauk. prats — Collection of scientific papers, Vol. 157*, 128-130 [in Ukrainian].
5. Wiendahl, H.-P. Hegenscheidt, M. (2002) Reliability and Availability of Complex Production Systems. *E.Kuljanic (Ed.) Advanced Manufacturing Systems and Technology, CISM Courses and Lectures Springer Wien, Vol. 437*, 225–232 [in English].
6. Fomin, O.V. (2012) Rozrobka metodiki vprovadgennja riznih profiliv v jacosti scladovih elementiv nesuchih system vantagnih vagoniv [Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars]. *Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI» - Bulletin National technical university "HPI", Vol. 26*, 29-33 [in Ukrainian].
7. Fomin, O.V., Gostra, A. V. (2015) Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars] *Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies", Vol. 26-27*, 137-147 [in Ukrainian].
8. Moroz, V.I. (2009) Matematychnyy zapys zadachi optymizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noyi materialoyemnosti [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capacity]. *Zbirnyk naukovykh prats - Collection of scientific papers, Vol. 111*, 121-131 [in Ukrainian].

9. Kelrikh, M. B., Moroz, V. I. (2014) Strukturno-funktsionalne opysannia konstrukttsii modulia kuzova suchasnykh universalnykh napivvahoniv [Structural and functional description of the body module design of modern universal gondola]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia - Bulletin of the East Ukrainian National University. V. Dahl, Vol. 2(210)*, 94-103 [in Ukrainian].
10. Makarenko, M. V. (2014) Kompleksnyi analiz ekonomichnoho efektu vid zhyttievoho tsykladu suchasnoho napivvahonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy» - Scientific and Practical Journal "Railway Transport of Ukraine"*, Vol 5, 107 [in Ukrainian].
11. Moroz, V.I. (2008). Vyznachennia perspektyvnykh napriamkiv udoskonalennia konstrukttsii napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon» [Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE "Ukrspetsvagon"]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu - Collection of scientific papers UkrDAZT*, 72-81 [in Ukrainian].
12. Kelyrkh, M. (2014) Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*, Vol. 6, 64-67 [in English].
13. Fomin, A. V. (2012) The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building. *East European journal of advanced technologies*, Vol. 3/7(57), 32-35 [in English].
14. Fomin, O.V. (2013) Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv [Theoretical foundations of the software complex for the determination and use of mathematical models of freight wagons]. *Naukovy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrograds'koho» - Scientific journal "Bulletin of the Kremenchug National University named after Mykhailo Ostrogradsky"*, Vol. 6(83), 87-91 [in Ukrainian].
15. Fomin, O. V. (2015) Vprovadzhennya kruglykh trub v nesuchI sistemi napivvahoniv z zabezpechenniam ratsionalnih pokaznikiv mltsnostI [Introduction of round pipes in the carrier systems of gondolas with the provision of rational indicators of strength]. *Naukoviy zhurnal – «Technologicheskii audit i rezervyi proizvodstva» – Science magazine - "Technological audit and production reserves"*, Vol. 4/1(21), 83-89 [in Ukrainian].

Дмитрий Волошин, к.т.н., доцент,
(доцент кафедры вагонов Украинского государственного университета
железнодорожного транспорта, г. Харьков),
Игорь Афанасенко,
(старший преподаватель кафедры вагонов Украинского государственного
университета железнодорожного транспорта, г. Харьков)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВАГОНРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Статья посвящена вопросам оценки эффективности вагоноремонтных предприятий. На текущий момент указанные производственные системы характеризуются низкой надежностью. Наблюдается ухудшение процедур выполнения плановых заданий и снижение качества ремонта вагонов.

Актуальной научно-технической задачей является разработка интегрированного производственного пространства, что позволит использовать основные положения производственной логистики.

Ключевые слова: производственная система, динамическая стойкость, эффективность производства, ресурс вагонов, надежность.

Dmitriy Voloshin, PhD in Technical Sciences, (Associate Professor of Department of Railway vehicles of Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv)

Igor Afanasenko (senior lecturer of Department of Railway vehicles of Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv)

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE OPERATION CAR REPAIR ENTERPRISES

Nowadays, the reliability of production systems for repairing freight cars is unsatisfactory. There is a constant decrease in the parametric characteristics of technological processes by time. As a result of the lack of efficient procedures for rolling stock renewal, insufficient implementation of advanced technologies and approaches to the organization of production, repair of freight cars is characterized by poor quality. Aging of fixed assets of enterprises, which takes place in crisis conditions with the provision of material and financial resources, contributes to the deterioration of the general situation in production.

The most accessible and productive stage of development repair enterprises is the application of approaches to industrial logistics. But they need to maintain production systems at the specified levels of reliability and dynamic stability. Therefore, there is an urgent task of developing a method for evaluating their reliability.

Modern cars repairs relate to a class of complex organizational systems that have variable parametric characteristics in time. The peculiarity of their functioning is the relative impossibility of treating failures in the system of categories "working-faulty" or "workable-unworkable".

The article considers questions of the efficiency evaluation of production systems on the basis of determining the coefficient completeness of the renewal wagon resource. The specified characteristic allows us to determine the real state of the technological system and develop measures to optimize the production space.

Keywords: *production system, dynamic stability, production efficiency, cars resources, reliability.*

УДК 656.614.3

*Болгов Алексей Сергеевич, ш.д.п.,
(аспірант Государственного университета инфраструктуры и технологий);
Тихонов Илья Валентинович, д.т.н., с.н.с, к.д.п, доцент,
(доцент кафедры судовождения и управления судном
Государственного университета инфраструктуры и технологий)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ КОНТРОЛЯ ПОСАДКИ НАВАЛОЧНОГО СУДНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКОСТНЫХ МАНОМЕТРОВ

В статье приведен метод практической оценки контроля посадки морского судна с использованием жидкостных манометров. Данный метод призван упростить и в значительной мере обезопасить работу грузового помощника капитана по контролю посадки судна во время грузовых операций с навалочным грузом.

***Ключевые слова:** осадка судна, крен, дифферент, жидкостный манометр, грузовые операции, безопасность.*

Анализ последних исследований и постановка проблемы. Грузовой помощник капитана должен контролировать посадку судна на всем протяжении грузовых работ, и особенно на завершающем этапе погрузки судна навалочным грузом. После окончания грузовых работ судно должно иметь заданную отходную осадку и дифферент. Искомыми данными для расчета этих параметров являются значения осадок, снятых со всех шести марок углубления судна на обоих бортах судна. Снятие осадок на стороне судна обращенной к причалу, как правило, не составляет большого труда для опытного грузового помощника или берегового сюрвейера. В то же время снятие осадок с противоположной «морской» стороны судна может быть затруднительным и даже небезопасным. Использование жидкостных манометров призвано облегчить и ускорить процесс контроля посадки судна и сделать его более безопасным.

Проблеме контроля посадки судна посвящено много исследований, как в отечественной, так и в иностранной литературе по теории судна, расчету его мореходных качеств, определению количества находящегося на судне груза. Однако вопрос применения жидкостных манометров для контроля параметров посадки судна был освещен в них очень поверхностно или не был затронут совсем. В статье обобщен практический опыт авторов по использованию жидкостных манометров на навалочных судах, с целью контроля их посадки, а так же проведено теоретическое обоснование этого метода.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-8

Цель исследования. Обоснование метода практической оценки контроля посадки навалочного судна с использованием жидкостных манометров.

Материалы и методы исследования. Посадка судна - это положение судна относительно спокойной воды. Посадка определяется тремя параметрами: средней осадкой судна, углом крена, и углом дифферента [1]. Контроль указанных параметров необходим для оценки остойчивости судна и прочности его корпуса, обеспечения надлежащих маневренных качеств судна (ходкость, управляемость, поведение на волне), безопасного прохода мелководья, определения водоизмещения и количества груза на борту [2]. Важным является контроль величины надводного борта судна, перед предстоящим плаванием, в соответствии с требованиями Международной конвенции о грузовой марке. Перегруз судна, сверх лимитирующей грузовой марки, является основанием для задержания судна в порту и ведет к значительным временным и финансовым издержкам для судовладельца [3, 4, 5].

Рассмотрим параметры посадки судна.

Средняя осадка судна – усредненная осадка на миделе судна. Средние марки углублений могут быть расположены как на миделе судна, так и на некотором расстоянии от него. Если положение средних марок не совпадает с плоскостью миделя судна, то для грузовых расчетов применяется поправка, вычисленная исходя из расстояния между марками и миделем судна [6].

Крен судна – поперечный наклон судна на правый или левый борт. Крен измеряется в градусах от прямого положения судна, с указанием на какой борт оно наклонено. Крен считается положительным, если правый борт погружен больше левого [2, 7]. Линейным выражением крена судна выступает разность между осадками левого и правого борта на миделе судна. Зависимость между угловым и линейным выражениями крена может быть выражена формулой:

$$\Theta = \arctg\left(\frac{\Delta T}{B}\right), \quad (1)$$

где Θ – угол крена судна в градусах;

ΔT – разность между осадками левого и правого борта на миделе судна;

B – ширина судна.

Дифферент судна – продольный наклон судна на нос или корму. Дифферент измеряется углом между следом ватерлинии судна на диаметральной плоскости и основной плоскостью, или разностью осадок судна носом и кормой [1, 2, 6]. Линейным выражением дифферента является разность носовой и кормовой осадок судна. Угловое значение крена выражается формулой:

$$\psi = \arctg\left(\frac{(T_n - T_k)}{L}\right), \quad (2)$$

где ψ – угол дифферента в градусах;

T_n – осадка судна на носовой марке;

T_k – осадка судна на кормовой марке;

L – расстояние между носовой и кормовой марками углубления судна (снимается с чертежа общего вида судна);

Крен судна является нежелательным явлением, и грузовой помощник в кооперации с операторами грузовых терминалов стремится закончить грузовые операции с нулевым или минимально возможным креном. Крен судна негативно влияет на точность определения количества груза, находящегося на судне, на управляемость судна и на безопасность плавания судна в условиях мелководья.

Для определения параметров посадки судна и для проведения грузовых расчетов методом драфт-сюрвея, грузовому помощнику или береговому сюрвейеру необходимо определить погружение марок углубления нанесенных в районе форштевня, ахтерштевня и посередине судна, на его левом и правом борту. Затем, рассчитав поправки, получить значения осадок на носовом и кормовом перпендикулярах, а также на миделе судна [8, 9, 10].

Снятие осадок судна с марок углубления, находящихся на его борту обращенном к причалу, как правило, не составляет большого труда для опытного грузового помощника или сюрвейера. В тоже время снятие осадок с «морского» борта судна может быть затруднительным и даже небезопасным. Особенно это касается крупнотоннажных балкеров типа «Panamax» (дедвейт 60000-85000 тонн) и «Capesize» (дедвейт 100000-200000 тонн), имеющих высокий надводный борт (6-15 метров в зависимости от загрузки судна) [11].

Обычной практикой для снятия осадок с «морской» стороны судна, является использование лодок, предоставляемых береговыми сюрвейерами, или же применение судовых веревочных трапов, вывешиваемых за борт судна. Спуск по отвесно висящему трапу на многометровое расстояние, на достаточный уровень для чтения марок углубления, не является удобным и быстрым методом снятия осадок судна, а береговые лодки не всегда имеются в наличии. Процесс снятия осадок судна может быть осложнен погодными условиями, волнением моря, темным временем суток, ограниченностью времени, отведенного на процедуру драфт-сюрвея. Он требует хорошей физической подготовки от грузового помощника и дополнительных «страхующих» членов экипажа. Известны трагические случаи, произошедшие с членами экипажей судов при попытке «чтения» осадок с использованием веревочных трапов [12]. В ряде портов Австралии и Европы использование веревочных трапов для снятия осадок не рекомендуется или вовсе запрещено.

Если осадки могут быть сняты с марок углубления одного борта судна, то определить соответствующие осадки другого борта можно с помощью судового кренометра [8, 9]. Осадка на каждой марке углубления недоступного борта рассчитывается по формуле:

$$T' = T + B \cdot \operatorname{tg} \Theta, \quad (3)$$

где T' – искомая осадка на марке углубления противоположного борта судна;

T – известная осадка доступного борта;

B – ширина судна;

Θ – угол крена судна в градусах (снимается с кренометра, находящегося на ходовом мостике или грузовом офисе судна).

Знак поправки $B \cdot \text{tg} \Theta$ буде отрицателен, если крен в сторону наблюдаемого борта, и положителен при противоположном направлении крена.

Обычно судовые кренометры представляют собой или отвесы разного рода, или пузырьковые уровни установленные на градуированные шкалы. Такие приборы дают недостаточно точное значение угла крена, и могут быть использованы для расчетов только в крайнем случае. Однако, использование судовых кренометров может быть затруднено качкой судна вызванной волнением моря в акватории порта или на якорной стоянке, и точность снятия показаний кренометра является недостаточной для определения осадок судна.

Современные суда часто оборудуются аппаратными устройствами для измерения осадки судна с функцией вывода информации на аналоговые указатели или электронные дисплеи. Работа таких устройств основана на установленных в днище судна приемниках давления связанных дистанционной передачей с измерителями осадки. Однако точность работы таких устройств также является недостаточной для грузовых расчетов, и их использование является неприемлемым береговыми сюрвейерскими организациями [13].

Для устранения вышеуказанных недостатков предлагается использовать метод практической оценки контроля посадки морского судна с использованием жидкостных манометров. Жидкостные манометры позволяют снимать осадки с марок углубления труднодоступного «морского» борта судна с точностью до 0.5 сантиметра. Этот метод существенно экономит время снятия осадок, делает его безопасным и признается сюрвейерскими организациями при определении количества находящегося на судне груза [10, 14].

Жидкостный манометр представляет собой пластиковую прозрачную и гибкую трубку диаметром 8-10 мм, протянутую от одного борта судна до другого, на уровне срединных марок углубления судна, и наполненную водой или другой жидкостью. Такой диаметр позволяет жидкости свободно перетекать по трубке и в то же время быть всей системе достаточно легкой по весу и удобной в использовании [10, 13].

Принцип работы такой системы основан на разности уровней жидкости в противоположных ветвях манометра. Разность уровней жидкости в трубке манометра на левом и правом борту судна Δt равна разности осадок на средних марках углубления левого и правого борта ΔT , при условии, что трубка расположена по всей ширине судна и лежит в плоскости этих марок углубления (Рис.1). Таким образом, неизвестная осадка одного борта судна будет равна сумме значений известной осадки другого борта судна и разности уровня жидкости в манометре, взятого в масштабе осадок [14].



Рис. 1. Принцип действия жидкостного манометра

Значение разности уровней манометра берется со знаком «плюс» если судно наклонено в сторону борта с неизвестной осадкой, и знаком «минус» если судно кренится в сторону борта с известной осадкой. Это может быть выражено формулой:

$$T' = T + \Delta t = T + \Delta T; \quad \Delta t = \Delta T, \quad (4)$$

где T' – искомая осадка на марке углубления противоположного борта судна;

T – известная осадка доступного борта;

Δt – разность между уровнями жидкости в левой и правой частях трубки манометра. Знак Δt будет отрицателен, если крен в сторону наблюдаемого борта, и положителен при противоположном направлении крена;

ΔT – разность между осадками левого и правого борта на миделе судна.

Для судна типа «Panamax» необходима трубка длиной минимум 35 метров, а для судна типа «Capesize» нужна трубка длиной уже 50 метров [15].

Концевые участки трубки могут быть закреплены на вертикальных стойках бортовых релингов судна. Стойки релингов, к которым крепится манометр, могут быть размечены маркером на равные сантиметровые деления, или к ним могут быть прикреплены обычные метровые линейки (Рис.2). Основное условие – разметка левого и правого борта должна быть абсолютно симметричной относительно основной плоскости судна, или, в практических условиях, плоскости палубного настила [13, 14].

Трубка манометра должна быть тщательно заполнена водой и не иметь пузырей, резких перегибов или изломов. Для удобства чтения уровня воды в трубку может быть добавлен краситель. В условиях холодного климата вместо воды, трубка может быть наполнена смесью воды и антифриза, или маслом, к примеру, подсолнечным, температура замерзания которого равна -17°C [10].



Рис. 2. Разметка стоек бортовых релингов и крепление трубок жидкостного манометра

Более совершенная модель жидкостного манометра представляет собой две прозрачные стеклянные градуированные колбы, соединенные гибкой пластиковой трубкой заполненной жидкостью. Верхняя оконечность колб должна иметь отверстие для сообщения с атмосферой, а нижняя прикреплена к соединительной трубке и оборудована запорным краном, предотвращающим вытекание или испарение воды из системы. Колбы могут быть подвешены на одинаковой высоте

на противоположных бортах судна, и разность в уровне жидкости в колбах покажет разность соответствующих осадок судна [13]. Подвесной жидкостный манометр представлен на рис. 3.



Рис. 3. Подвесной жидкостный манометр с запорными кранами

Преимуществом такой системы является долговременность ее использования и отсутствие необходимости постоянно добавлять воду. При осуществлении замеров, краны колб открываются, и жидкость свободно перетекает по соединительной трубке между колбами. После использования, краны манометра могут быть закрыты, и соединительная трубка свернута вместе с жидкостью.

Жидкостный манометр будет показывать наиболее точные показания, если трубка с жидкостью будет протянута на всю ширину судна и будет установлена на уровне средних осадок судна. Однако не всегда есть возможность расположить манометр на всю ширину судна или судно может не располагать трубкой достаточной длины.

В таком случае трубка манометра может быть меньшей длины, а действительная разность между осадками левого и правого борта рассчитана по формуле:

$$\Delta T = \frac{\Delta t \cdot B}{n}, \quad (5)$$

где ΔT – разность между осадками левого и правого борта на миделе судна;

Δt – разность между уровнями жидкости в левой и правой частях трубки манометра;

B – ширина судна;

n – расстояние между правой и левой ветвями жидкостного манометра.

Зная разность между средними осадками левого и правого бортов судна, можно вычислить аналогичную разность между его носовыми и кормовыми осадками по формуле:

$$T_{нк}' = \frac{T_{нк} + (\Delta T_{сп} \cdot R)}{B}, \quad (6)$$

где $T_{нк}'$ – искомая осадка на носовой (кормовой) марке углубления противоположного борта судна;

$T_{нк}$ – известная осадка на носовой (кормовой) марке углубления доступного борта;

ΔT – разность между осадками левого и правого борта на миделе судна. Знак ΔT будет отрицателен, если крен в сторону наблюдаемого борта, и положителен при противоположном направлении крена;

R – поперечное расстояние между носовыми (кормовыми) марками углубления правого и левого бортов (снимается с чертежа общего вида судна);

B – ширина судна.

Жидкостный манометр может быть также применен и для определения дифферента судна. Для этого манометр располагается не поперек, а вдоль судна.

Этот метод может быть использован при необходимости определения количества балласта или топлива, находящегося на борту судна, стоящего на рейде, когда нет возможности проверить осадки судна с берега. Количество балласта или топлива в танках судна рассчитывается по специальным таблицам, исходя из уровня жидкости в замерной трубке танка, дифферента и крена судна.

Жидкостный манометр, с трубкой произвольной длины, располагается вдоль одного из бортов судна, в средней его части, а его концы закрепляются на размеченных вертикальных стойках бортового релинга судна. Таким образом, разность уровней в носовой и кормовой трубках манометра будет пропорциональна разности носовой и кормовой осадок судна. Зная осадку на носовой марке углубления (обычно можно снять с бака судна), горизонтальную длину трубки манометра и расстояние между марками углубления, можно найти дифферент и кормовую осадку судна по формулам:

$$\Delta t = t_n - t_k, \quad (7)$$

$$D = T_n - T_k = \frac{\Delta t \cdot L}{l}, \quad (8)$$

$$T_k = T_n + \frac{\Delta t \cdot L}{l}, \quad (9)$$

где D – видимый дифферент судна;

T_n – осадка судна на носовой марке;

T_k – осадка судна на кормовой марке;

t_n – уровень жидкости в носовой трубке манометра;

t_k – уровень жидкости в кормовой трубке манометра;

Δt – разность между уровнями жидкости в носовой и кормовой трубках манометра;

L – расстояние между носовой и кормовой марками углубления судна (снимается с чертежа общего вида судна);

l – расстояние между носовой и кормовой трубками жидкостного манометра.

Выводы. Таким образом, использование жидкостных манометров является достаточно надежным и недорогим методом контроля посадки судна.

Особенно актуально его применение на завершающем этапе грузовых работ, когда судно должно иметь заданные параметры посадки, обусловленные положениями Международной конвенции о грузовой марке (недопущение перегруза судна) и локальными требованиями безопасности в данном районе плавания судна.

Практическая ценность метода заключается в возможности точно определять осадку судна, как в обычных, так и неблагоприятных условиях (волнение, ветер, низкие температуры, стесненная обстановка), а также оперативно корректировать крен и дифферент судна, при обеспечении безопасности процесса снятия осадок для судового и берегового персонала. Помимо этого, использование манометров позволяет существенно экономить время на контроль посадки судна и определение количества груза находящегося на борту судна, в условиях быстрой погрузки навалочных грузов на современных терминалах, без прерывания судовых операций и потерь времени.

Недостатком метода является ограниченность его применения при отрицательных температурах окружающего воздуха.

Данный метод может быть применим не только для балкеров, но и для других типов грузовых судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сизов В.Г. Теория корабля: Учебное пособие. Одесса: ОНМА, 2003. С. 14-17.
2. Завитаев В.Л. Теоретическое обоснование мореходных качеств судна и их практические расчеты для сухогрузных судов смешанного река-море плавания: Учебное пособие. КГАВТ. Киев, 2007. С. 12-14.
3. Load Lines - 2005 Consolidated Edition, 3-rd Edition. IMO. Publisher: Polestar Wheatons Ltd, 2016.
4. I.C. Clark BSc MSc. The Management of Merchant Ship Stability, Trim & Strength. The Nautical Institute of London. 2011. P. 266-270.
5. D.J. Eyres, G. J. Bruce. Ship Construction. 7th Edition. Butterworth-Heinemann. Oxford. 2012. P. 363-370.
6. Перси Х.Дж. Остойчивость морского судна (Метрическая система). Санкт-Петербург: ООО «МОРСАР», 2007. С. 86-89.
7. Bryan Barrass, D.R. Derrett. Ship Stability for Masters and Mates. 7th Edition. Butterworth-Heinemann. Oxford. 2012. P. 123-124.
8. Донцов С.В. Методика проведения драфт-сюрвея. Одесса: ОНМА. 2014. С. 25-26.
9. Письменный М.Н. Определение количества груза по осадкам судна: Учебное пособие. Владивосток: МГУ им. адм. Г. И. Невельского. 2006. С. 5-7.
10. Code of uniform standards and procedures for the performance of Draught survey of coal cargoes. United Nations Organization, Economic and Social Council. 1992. – [Electronic resource]. Retrieved from the official UNECE website. <https://www.unece.org>.
11. Capt. Jack Isbester. Bulk carrier practice. Second edition. Nautical Institute. London, 2010. P.168-169.
12. Tragedy while reading port side draft marks using embarkation ladder. Marine Transportation Safety Investigation Report M17C0292 – [Electronic resource]. Retrieved from the official website of the Government of Canada. <http://www.bst-tsb.gc.ca>.
13. Draught survey. Carefully to Carry Consolidated Edition 2018.– [Electronic resource]. Retrieved from the official website of the UK P&I Club. <http://www.ukpandi.com>.
14. Measurement of bulk cargoes. Draught surveys – practice. Carefully to carry. UK P&I Club. Witherby Publishing Group LTD. Scotland. UK. May 2008. Addendum 1.
15. W. J. Dibble, P. Mitchell. Draught survey – A guide to good practice. North of England P&I Association. 2nd Revised edition. MID-C Consultancy, 3, Central Avenue, South Shields, Tyne. P. 9-10.

REFERENCES

1. Sizov, V.G. (2003). *Teoriya korablya:Uchebnoe posobie* [Ship's theory: Teaching aid]. Odessa, ONMA. P. 14-17. (in Russian).
2. Zavitaev, V.L. (2007). *Teoreticheskoe obosnovanie morehodnyh kachestv sudna i ih prakticheskie raschety dlya suhogruznyh sudov smeshannogo reka- more plavaniya:Uchebnoe posobie* [Theoretical justification and practical calculation of the dry cargo, sea-river type, vessel's seagoing qualities: Teaching aid]. Kiev, KGAVT. P. 12-14. (in Russian).
3. Load Lines - 2005 Consolidated Edition, 3-rd Edition. IMO. Publisher: Polestar Wheatons Ltd, 2016. (in English).

4. I.C. Clark BSc MSc. The Management of Merchant Ship Stability, Trim & Strength. The Nautical Institute of London. 2011. P. 266-270. (in English).
5. David J Eyres, G. J. Bruce. Ship Construction. 7th Edition. Butterworth-Heinemann. Oxford. 2012. P. 363-370. (in English).
6. H. J. Pursey (2007). *Ostoychivost morskogo sudna (Metriceskaya sistema)* [Merchant ship stability (Metric edition)]. S-Petersburg, MORSAR. P. 86-89. (in Russian).
7. Bryan Barrass, D.R. Derrett. Ship Stability for Masters and Mates. 7th Edition. Butterworth-Heinemann. Oxford. 2012. P. 123-124. (in English).
8. Dontsov S.V. (2014). *Metodika provedeniya draft-surveya* [Draught survey method conducting]. Odessa, ONMA, P.25-26. (in Russian).
9. Pismenniy M.N. (2006). *Opredelenie kolichestva gruzha po osadkam sudna: Uchebnoe posobie* [Cargo amount definition by ship's draught: Teaching aid]. Vladivostok, MSU Nevelskogo. P. 5-7. (in Russian).
10. Code of uniform standards and procedures for the performance of Draught survey of coal cargoes. United Nations Organization, Economic and Social Council. 1992. – [Electronic resource]. Retrieved from the official UNECE website. <https://www.unece.org>.
11. Capt. Jack Isbester. Bulk carrier practice. Second edition. Nautical Institute. London, 2010. P.168-169. (in English).
12. Tragedy while reading port side draft marks using embarkation ladder. Marine Transportation Safety Investigation Report M17C0292 – [Electronic resource]. Retrieved from the official website of the Government of Canada. <http://www.bst-tsb.gc.ca>.
13. Draught survey. Carefully to Carry Consolidated Edition 2018.– [Electronic resource]. Retrieved from the official website of the UK P&I Club. <http://www.ukpandi.com>.
14. Measurement of bulk cargoes. Draught surveys – practice. Carefully to carry. UK P&I Club. Witherby Publishing Group LTD. Scotland. UK. May 2008. Addendum 1. (in English).
15. W. J. Dibble, P. Mitchell. Draught survey - A guide to good practice. North of England P&I Association. 2nd Revised edition. MID-C Consultancy, 3, Central Avenue, South Shields, Tyne. P. 9-10. (in English).
15. W. J. Dibble, P. Mitchell. Draught survey - A guide to good practice. North of England P&I Association. 2nd Revised edition. MID-C Consultancy, 3, Central Avenue, South Shields, Tyne. P. 9-10. (in English).

**Болгов Олексій Сергійович, ш.д.п.,
(аспірант Державного університету інфраструктури та технологій);
Тихонов Ілля Валентинович, д.т.н., с.н.с, к.д.п, доцент,
(доцент кафедри Судноводіння та управління судном
Державного університету інфраструктури та технологій);**

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ КОНТРОЛЮ ПОСАДКИ НАВАЛЮВАЛЬНОГО СУДНА З ВИКОРИСТАННЯМ РІДИННИХ МАНОМЕТРІВ

У статті наведено метод практичної оцінки контролю посадки морського судна з використанням рідинних манометрів. Науковою новизною є вперше проведене узагальнення практичного досвіду авторів з використання рідинних манометрів на судах та його теоретичне обґрунтування.

Контроль параметрів посадки морського судна, а саме його осідання, крену та диференту, є постійним обов'язком відповідального персоналу судна. Особливо цей контроль є важливим під час суднових операцій з навалювальним вантажем в портах, коли параметри посадки судна швидко змінюються, завдяки високому темпу вантажних операцій на сучасних балкерних терміналах. Від судна вимагається суворе дотримання обмежень які накладаються місцевими умовами навігації у портах та на підхідних судноплавних шляхах, а також вимогами Міжнародної конвенції про вантажну марку до морського переходу судна в цілому, порушення яких може викликати затримку судна портовими органами. Важливим

є відсутність крену судна та надмірного його диференту для точного визначення кількості навалювального вантажу, який знаходиться на судні.

Визначення осідання судна є найбільш трудомістким елементом в процесі контролю його посадки. Крім того, визначення осідання судна на марках поглиблення його «оберненого до моря» борту, є небезпечним. Відомі трагічні випадки серед членів екіпажів суден, які виникли при спробі визначення осідання судна за допомогою традиційних мотузяних трапів, вивішених за борт судна.

Практична цінність методу полягає у тому, що використання рідинних манометрів дозволяє здійснювати визначення осідання судна з більш високою точністю, а також спростити та значною мірою убезпечити роботу вантажного помічника капітана та берегових сюрвейерів по контролю посадки судна під час вантажних операцій з навалювальним вантажем.

Ключові слова: осідання судна, крен, диферент, рідинний манометр, вантажні операції, техніка безпеки.

Oleksiy Bolgov,
(Graduate student of the State University of Infrastructure and Technologies);
Ilya Tykhonov, Doctor of Technical Sciences,
(Associate Professor of the Department of Navigation and Ships' Management,
State University of Infrastructure and Technologies)

EFFICIENCY AND SAFETY IMPROVING OF THE BULK CARRIER DRAUGHT CONTROL WITH LIQUID MANOMETERS

The article discusses the practical use of liquid manometers method for bulk carrier vessels draught control. The scientific novelty is the first time performed generalization of author's practical experience of liquid manometers method use on bulk carrier ships and its theoretical basis. Control of the ship's draught, heel, and trim, is a constant duty of the responsible ship's personnel. Especially this control is important during ship's operations with bulk cargo at the port, where the draught parameters changes rapidly, due to the high rate of loading and unloading on the modern dry bulk terminals. The vessel is required to be in strict compliance with the restrictions imposed by local conditions of navigation in the ports and approaching roadways, as well as the requirements of the International Convention on Load Lines, to the whole vessel's voyage. The violation of those restrictions may cause the vessel arrest by port authority. It is important for the vessel to be in upright condition, without excessive trim, for the correct determination of onboard bulk cargo amount.

The draught marks reading is the most time-consuming element of the vessel's draught, heel and trim control. In addition, the draught readings on the "facing to the sea" vessel side are unsafe. Known tragic cases among crew members, occurred when they tried to read the draught marks with traditional rope ladders hanged overboard.

The practical value of the liquid manometers method is the possibility to define vessel's draught with greater precision than other known methods. Also, it gives the opportunity to facilitate and make safe the vessel's draught, heel and trim managing by ship's cargo mates and shore surveyors during the operations with bulk cargo.

Keywords: Vessel's draught, list, different, liquid manometers, cargo operations, safety.

УДК 519.873: 621.389

Володимир Богом'я, д.т.н.
(професор кафедри, Дунайський факультет морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій),
Олена Дакі, к.філ.н.
(декан факультету, Дунайський факультет морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій).

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

За результатами аналізу відомих методів синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту пропонується розроблення оптимального методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром та проведення експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів і розроблення рекомендації щодо їх впровадження для автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління.

Ключові слова: експлуатація, радіонавігаційні комплекси, управління рухом, засоби водного транспорту, методи, вимірювальні сигнали, автоматизація контролю.

Вступ. Актуальність дослідження, проведеного у статті, обумовлена:

- зростанням ролі та значення засобів контролю сучасних і перспективних радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту у підтриманні їх готовності до функціонування за призначенням [1– 4];
- загальною тенденцією підвищення вимог до своєчасного виявлення відмов за рахунок автоматизації (підвищення точності та оперативності контролю) контрольно-діагностичних робіт при експлуатації радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту [3–7];
- необхідністю розробки сучасного науково-методичного апарату щодо підвищення достовірності контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту при експлуатації [5– 8];
- недостатнім вивченням питань контролю поточного технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту при їх експлуатації [7–10].

Відомі моделі контролю та діагностування технічних об'єктів при експлуатації не завжди враховують особливості операцій технічного обслуговування та діагностування складових частин і елементів засобів водного транспорту [1– 10].

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-9

Перспективним напрямком розвитку методів і приладів контролю та діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту є їх автоматизація та універсалізація [9–12, 17].

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Результати контролю та діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту є базою для прийняття рішень про необхідність проведення відповідних заходів технічного обслуговування, визначення часу його проведення й об'ємів, про строки проведення чергових операцій контролю.

Заходи технічного обслуговування радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту здійснюються з використанням багатьох засобів контролю. Причому кожний тип засобів контролю, у свою чергу, також потребує своєчасного проведення перевірки або калібрування [5–7].

Окрему ланку серед таких засобів контролю займають радіовимірювальні прилади, які, на відміну від інших типів (електричних, лінійно-кутових, теплотехнічних величин тощо), є більш складними і мають більшу кількість нормованих метрологічних характеристик [9–11].

Останнє призводить до зростання трудомісткості та часу, відведеного на їх перевірку (калібрування), а отже, до зниження коефіцієнта використання як засобів контролю зокрема, так і радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту у цілому.

Крім того, при проведенні контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту процес автоматизації обмежується використанням вимірювальних сигналів прямокутної, трикутної та трапецеїдальної форм [11,12]. Ці сигнали передбачають використання аналізаторів для визначення параметрів радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, які потребують обов'язкового втручання оператора [12].

Відсутність автоматизованих високоточних засобів контролю для вимірювання параметрів сигналів прямокутної, трикутної та трапецеїдальної форм (присутність оператора) збільшує час і зменшує достовірність контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту [13,17].

При цьому виникає відоме у практиці контролю технічного стану складних систем протиріччя: забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку, з іншого – відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього.

У відповідності до протиріччя наукова проблема, що буде розв'язуватися у подальших дослідженнях, полягає в розробленні методів синтезу вимірювальних сигналів і обробленню відгуків на них для підвищення достовірності та оперативності автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

Мета і завдання дослідження. Подолання зазначеного протиріччя з метою розв'язання сформульованої наукової проблеми полягає в розробленні комплексу заходів, спрямованих на забезпечення потрібної точності вимірювань параметрів радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту при проведенні контролю їх технічного стану за фіксований або зменшений інтервал часу [12].

З цією метою в сучасних засобах контролю широко застосовуються такі технічні рішення, як розроблення методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них; використання модульного принципу побудови та наявність стандартного інтерфейсу, що забезпечує можливість роботи засобів контролю у складі інформаційно-вимірювальних систем [5,13]; впровадження мікропроцесорної техніки, яка дозволяє проводити діагностику та самоконтроль основних вузлів засобів контролю, самокалібрування, введення поправок тощо [11, 13].

Таким чином, завданнями дослідження є:

- проведення аналізу відомих методів синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту;
- розроблення методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту;
- проведення експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів і розроблення рекомендації щодо їх впровадження для автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

Матеріали та методи дослідження.

Аналіз вхідних вимірювальних сигналів для контролю технічного стану РТС навігації та управління рухом морських суден показує, що вони мають ті чи інші недоліки та застосовуються для різних систем. Вимірювальний сигнал, який би був оптимальним (з найкращими характеристиками за певними показниками) за точністю та кількістю отриманої інформації, та мав необхідний рівень перешкодозахищеності та оперативності, відсутній.

Основними методами синтезу вимірювальних сигналів є: класичний, часовий, частотний і операторний. Ці методи дозволяють синтезувати вимірювальні сигнали синусоїдної та прямокутної форм [1–9].

Класичний метод (метод диференціальних рівнянь) заснований на складанні лінійного диференціального рівняння n-го ступеня відповідно закону Кірхгофа. Диференціальне рівняння зв'язує відому функцію вхідного сигналу $U_{вх}(t)$ і невідому (потрібну) функцію вихідного сигналу (реакцію) $U_{вих}(t)$ [7, 9–13]

$$b_0 U_{вих}(t) + b_1 \frac{dU_{вих}(t)}{dt} + b_2 \frac{d^2 U_{вих}(t)}{dt^2} + \dots + b_m \frac{d^m U_{вих}(t)}{dt^m} = a_0 U_{вх}(t) + a_1 \frac{dU_{вх}(t)}{dt} + a_2 \frac{d^2 U_{вх}(t)}{dt^2} + \dots + a_n \frac{d^n U_{вх}(t)}{dt^n},$$

де b_0, b_1, \dots, b_m і a_0, a_1, \dots, a_n – для лінійних ланцюгів з постійними параметрами є постійними дійсними коефіцієнтами.

Шукана функція сигналу на виході ланцюга $U_{вих}(t)$ визначається у вигляді суми двох функцій

$$U_{вих}(t) = U_{вих1}(t) + U_{вих2}(t),$$

де $U_{вих1}(t)$ – частковий розв'язок диференціального рівняння, який безпосередньо залежить від вигляду вхідного впливу та описує змушений режим;

$U_{вих2}(t)$ – загальний розв'язок рівняння при $U_{вх}(t)=0$, який описує перехідні процеси в ланцюзі.

Розв'язок диференціального рівняння можна знайти використанням формалізованих процедур перетворення Лапласа (операторним методом).

Серед недоліків виділимо такі:

- використовується для аналізу простих ланцюгів, які описуються диференціальними рівняннями не вище 2-го порядку;

- застосовується тільки для визначення значень параметрів контролю, які знаходяться у межах допусків (метод непридатний для існуючих (старіючих) зразків РТС навігації та управління рухом морських суден);

- використовується вхідний сигнал, як правило, гармонійний (для спрощення технічної реалізації засобів вимірювальної техніки), що призводить до збільшення часу обробки вимірювальної інформації, зменшення перешкозахисності та точності визначення параметрів.

Часовий метод (метод інтеграла Дюамеля) заснований на використанні імпульсної або перехідної характеристик ланцюга та розміченого сигналу на короткі імпульси. Використовується переважно для аналізу перехідного режиму ланцюга [7, 9–11].

Імпульсна характеристика $h(t)$ є функцією реакції ланцюга на вхідний вплив у вигляді одиночної дельта-функції:

$$U_{\text{вх}}(t) = \delta(t) \text{ і } U_{\text{вих}}(t) = h(t) = \Phi[\delta(t)],$$

де $\Phi[]$ – оператор ланцюга.

Перехідна характеристика $g(t)$ є функцією реакції ланцюга на вхідний вплив у вигляді одиночного стрибка (функції Хевисайда):

$$U_{\text{вх}}(t) = \sigma(t) \text{ і } U_{\text{вих}}(t) = g(t) = \Phi[\sigma(t)].$$

При цьому

$$\begin{aligned} U_{\text{вих}}(t) &= h(t) \otimes U_{\text{вх}}(t) = \int_0^t h(\tau) U_{\text{вх}}(t - \tau) d\tau = \int_0^t h(t - \tau) U_{\text{вх}}(\tau) d\tau \\ &= \int_0^t \left(g(t) \frac{dU_{\text{вх}}(t - \tau)}{d\tau} \right) d\tau = \int_0^t \left(g(t - \tau) \frac{dU_{\text{вх}}(\tau)}{d\tau} \right) d\tau \end{aligned}$$

– чотири види інтегралів Дюамеля.

Основними недоліками розглянутого методу є:

- суттєві труднощі при технічній реалізації високоточних вимірювальних генераторів сигналів складної форми;

- використання, переважно, прямокутних імпульсних вхідних сигналів, іноді – трикутних і трапецеїдальних. Такі вхідні сигнали ускладнюють технічну реалізацію засобів аналізу вихідних вимірювальних сигналів, знижують рівень автоматизації процесу вимірювання параметрів контролю.

Спектральний (частотний) метод полягає у використанні якостей передатної частотної характеристики ланцюга $K(j\omega)$ і відомої спектральної щільності вхідного сигналу $S_{\text{вх}}(j\omega)$. Застосовується для аналізу ланцюгів у сталому режимі. Реалізується послідовністю дій [7, 9]:

- визначення частотної характеристики ланцюга $K(j\omega)$;

- визначення спектра вхідного сигналу за допомогою прямого перетворення Фур'є:

$$S_{\text{вх}}(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} U_{\text{вх}}(t) e^{-j\omega t} dt;$$

– знаходження спектра вихідного сигналу:

$$S_{\text{вих}}(j\omega) = S_{\text{вх}}(j\omega)K(j\omega) = S_{\text{вх}}(\omega)K(\omega)e^{j[\varphi_{\text{вх}}(\omega)+\varphi_{\text{к}}(\omega)]},$$

де $K(\omega)$ – амплітудно-частотна характеристика;

$\varphi_{\text{к}}(\omega)$ – фазочастотна характеристика;

$S_{\text{вх}}(j\omega), \varphi_{\text{вх}}(\omega)$ – відповідно модуль і фаза спектра $U_{\text{вх}}(t)$;

– визначення вихідного сигналу за допомогою зворотного перетворення Фур'є:

$$U_{\text{вих}}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{вих}}(j\omega)e^{j\omega t} d\omega.$$

Цей метод широко застосовується завдяки якості гармонійних сигналів не змінювати свою форму при проходженні через лінійні ланцюги і фізичної наочності, коли достатньо знайти спектр $U_{\text{вих}}(t)$, для того щоб визначити викривлення $U_{\text{вх}}(t)$. На основі цього методу формуються вимоги до без викривленої передачі сигналів: АЧХ ланцюга повинна бути постійною, а ФЧХ – лінійною в межах ефективної ширини спектра вхідного сигналу.

Основними недоліками методу є [8,9]:

– великий час на обробку вимірювальних гармонійних вхідних сигналів (зниження оперативності визначення технічного стану об'єкта контролю);

– низька перешкозахисність і точність вимірювання параметрів (за рахунок застосування гармонійних сигналів);

– низький рівень чутливості, що потребує більшої потужності вхідного вимірювального сигналу.

Операторний метод (метод перетворення Лапласа), як більш загальний, розв'язує проблему обмеження спектрального методу відносно абсолютної інтегрованості функцій $U_{\text{вх}}(t)$.

Використовується представлення вхідного та вихідного сигналів перетвореннями Лапласа:

– пряме перетворення – $S_{\text{вх}}(p) = \int_0^{\infty} U_{\text{вх}}(t)e^{-pt} dt$;

– зворотне перетворення – $U_{\text{вих}}(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-\infty}^{c+\infty} S_{\text{вих}}(p)e^{pt} dp$,

де $U_{\text{вх}}(t), U_{\text{вих}}(t), S_{\text{вх}}(p), S_{\text{вих}}(p)$ – відповідно оригінал і зображення вхідного та вихідного сигналів;

$p = \alpha + j\omega$ – оператор Лапласа.

При цьому

$$S_{\text{вих}}(p) = S_{\text{вх}}(p)K(p),$$

де $K(p)$ – передатна функція ланцюга, яка отримується з виразу коефіцієнта передачі $K(j\omega)$ шляхом заміни змінної $j\omega$ на p .

Знаходження $U_{\text{вих}}(t)$ при заданому $U_{\text{вх}}(t)$ і $K(p)$ вміщує три процедури:

– перетворення $U_{\text{вх}}(t) \rightarrow U_{\text{вх}}(p)$;

– знаходження $U_{\text{вих}}(p) \rightarrow K(p)U_{\text{вх}}(p)$;

– перетворення $U_{\text{вих}}(p) \rightarrow U_{\text{вих}}(t)$.

Серед недоліків методу виділяються недоліки, які пов'язані з використанням гармонійних і прямокутних вхідних сигналів [9, 10]:

- великий час на обробку вимірювальних гармонійних вхідних сигналів;
- низька перешкозахищеність і точність вимірювання параметрів (за рахунок застосування гармонійних сигналів);
- низька чутливість, що потребує значної потужності вхідного сигналу;
- складність технічної реалізації засобів аналізу вихідних вимірювальних сигналів при прямокутних вхідних сигналах, знижується рівень автоматизації процесу вимірювання параметрів контролю.

Зазвичай використовуються часові та частотні методи синтезу вимірювальних сигналів. Розповсюдження зазначених методів обумовлено простотою технічної реалізації вимірювальних сигналів синусоїдної та прямокутної форм. На рисунках 1,2 наведені функціональні схеми проведення контролю технічного стану РТС навігації та управління рухом морських суден за допомогою синусоїдальних і прямокутних сигналів відповідно.

Наведено, що контроль технічного стану РТС визначається за результатами дослідження відгуку $y(t)$ на вхідний сигнал $u(t)$. Після проходження через РТС навігації та управління рухом морських суден синусоїдальний вхідний сигнал $u(t)$ змінює амплітуду, фазу або частоту (рис. 1), а прямокутний – форму (рис. 2), що дозволяє визначити параметри контролю РТС.

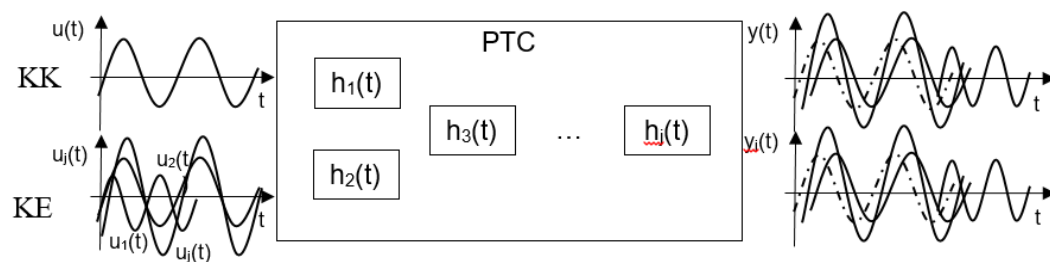


Рис. 1. Функціональна схема проведення контролю технічного стану РТС навігації та управління рухом засобів водного транспорту синусоїдним сигналом: для комплексного контролю (КК) і контролю за елементами (КЕ)

Але такі сигнали мають певні недоліки [11– 14]. Крім того, головним недоліком частотних і часових методів є обмеження у використанні в автоматизованих ЗВТ з причини їх низької точності та перешкозахищеності, складності технічної реалізації [14,15].

Подання потрібного вимірювального (тестового) сигналу з певними характеристиками (полігармонійного сигналу) на ОК для його автоматизованого контролю, порівняно з часовими та частотними методами вимірювань, має такі переваги [15–17]:

- підвищення якості, перешкозахищеності та оперативності вимірювальних операцій при обслуговуванні;
- збільшення термінів безвідмовної роботи приладів за рахунок високої технологічності виготовлення мір фізичних величин;
- можливість створення універсальних вимірювально-інформаційних систем, побудованих за модульним принципом та на сучасній мікропроцесорній техніці, з

оснащенням їх пристроями сполучення з комп'ютером та зручними інтерфейсними програмами;

– використання самокалібрування та самодіагностики основних вимірювальних вузлів ЗВТ (каналів вимірювально-інформаційних систем), що дозволяє зменшувати похибки вимірювань, своєчасно виявляти відмови та виходи характеристик за межі встановлених норм;

– зменшення масогабаритних характеристик та енергоспоживання вимірювальної апаратури.

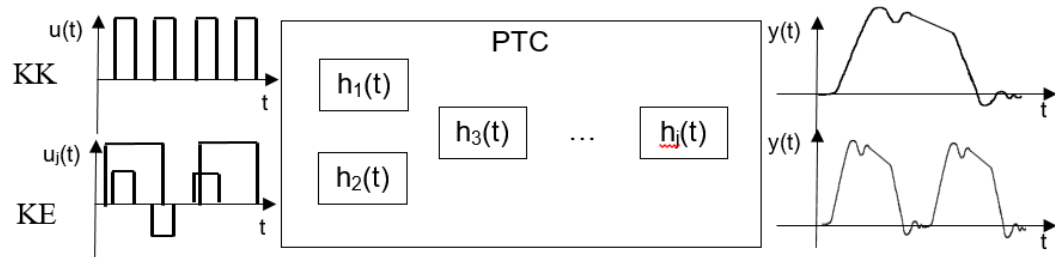


Рис. 2. Функціональна схема проведення контролю технічного стану РТС навігації та управління рухом засобів водного транспорту прямокутним сигналом: для комплексного контролю (КК) і контролю за елементами (КЕ)

Функціональна схема проведення контролю технічного стану РТС за допомогою запропонованого складного (полігармонійного) сигналу виду $y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} U_{i \max} \sin(\omega t + \varphi_i)$ представлена на рис. 3.

Калібратори зразкових сигналів можна застосовувати не тільки в стаціонарних умовах метрологічних лабораторій, а й за автономні прилади або вбудовані у ЗВТ засоби контролю [17].

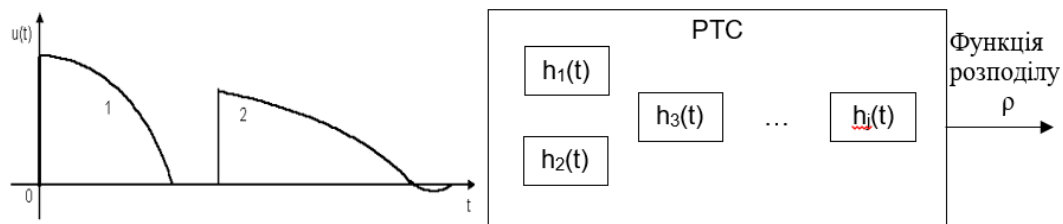


Рис. 3. Функціональна схема проведення контролю технічного стану РТС навігації та управління рухом засобів водного транспорту запропонованим полігармонійним сигналом

Актуальність даного напрямку на сучасному етапі пов'язана, крім того, зі створенням мобільного комплексу еталонів, інтенсивним використанням пересувних лабораторій вимірювальної техніки та переходом до методів оцінки технічного стану вбудованих контрольно-вимірювальних засобів безпосередньо на технічних комплексах.

Тому до основних переваг використання калібраторів сигналів слід також віднести можливість створення мобільних повірочних комплексів, здатних працювати як в лабораторних, так і в польових умовах. Це сприяє значному скороченню часу на проведення обслуговування та є одним з основних заходів з підвищення оперативності проведення контролю (визначення) технічного стану РТС навігації та управління рухом засобів водного транспорту та, відповідно, збільшення коефіцієнта їх використання [16, 17].

Висновки. Отже, результати аналізу існуючих методів контролю технічного стану радіотехнічних систем навігації та управління рухом засобів водного транспорту підтверджують актуальність теми досліджень, направленої на розробку теоретичних основ автоматизації контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом засобів водного транспорту на основі синтезу полігармонійних вимірювальних сигналів.

Таким чином, після проведення аналізу відомих методів синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту пропонується у подальших дослідженнях розроблення методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром та проведення експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів і розроблення рекомендації щодо їх впровадження для автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

Результати роботи дозволять розв'язати проблему забезпечення достовірності контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом засобів водного транспорту при оптимальних часових характеристиках для забезпечення своєчасності та оперативності визначення можливих відмов при їх експлуатації та обслуговуванні за фактичним станом.

ЛІТЕРАТУРА

- 1.Международная конвенция по охране человеческой жизни на море СОЛАС. СПб.: ЦНИИМФ, 2008. 984 с.
2. Admiralty list of radio signals "Global maritime distress and safety system (GMDSS)". Vol. 5. NP 285. 2014. p. 449.
- 3.Международная конвенция по предупреждению столкновения судов в море 1972 г. (МППСС-72). СПб.: ЗАО ЦНИИМФ. 2004.118 с.
- 4.Алексишин В.Г., Козырь Л.А., Симоненко С.В. Обеспечение навигационной безопасности плавания: учебное пособие. Одесса: Феникс. 2009. 518 с.
- 5.Вагуценко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управление движением судна. Одесса. Феникс, 2007. 367 с.
- 6.О.А. Дакі, О.М. Тимошук, В.І. Богом'я. Методологія синтезу полігармонійних вимірювальних сигналів з нормованим спектром. *Новітні технології: збірник наукових праць*. 2018. Вип. 3 (7). С. 33-44. DOI:10.31180/2524-0102/2018.3.07.05.
- 7.С.В. Герасимов, О.А. Дакі, М.Ю. Яковлев. Синтез полігармонійного вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикання. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2018. №79 (2).С. 73-76. DOI: 10.23939/istcmtm2018/02/073.
- 8.ДСТУ 2708 – 94. Повірка засобів вимірювань. Організація і порядок проведення. Чинний з 01.01.95. К.: Держстандарт України, 1994. 12 с.
- 9.Измерительные информационные системы. Под общей ред. Н.А. Рубичева. М.: Дрофа, 2010. 334 с.
10. Стеценко О.А. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высш. шк., 2007. 432 с.
11. Богом'я В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В. (2012). Навігаційне забезпечення управління рухом суден. К.:ДВВП «Компас». 336 с.

12. В.М. Чинков, С.В. Герасимов. Варіаційний метод і методики синтезу оптимального вимірювального сигналу для контролю технічного стану системи автоматичного управління. Український метрологічний журнал. 2014. № 1. С. 59-64.

13. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс. СПб.: НПО «Профессионал», 2008. 284 с.

14. Mozeson E., Levanon N. Multicarrier radar signals with low peak-to-mean envelope power ratio // IEE Proc.-Radar Sonar Navig. 2003. Vol. 150, № 2. P. 71-77.

15. O'Neill C.R., Arena A.S.Jr. (2005). Time-domain training signals comparison for computational fluid dynamics based aerodynamic identification. *Journal of Aircraft*. Vol. 42, № 2. P. 421-428.

16. Recio A., Rhode W.S. (2000). Basilar membrane responses to broadband stimuli. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 108, № 5. – P. 2281-2298.

17. В.І. Богом'я, А.В. Горбань, М.А. Павленко, О.І. Тимочко, О.М. Тимошук. За заг. ред.О.М. Тимошук. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання. Київ. ДУІТ. 2018. 305 с.

REFERENCES

1. *Mezhdunarodnaya konvenciya po ohrane chelovecheskoj zhizni na more [International convention for the safety of life at sea, SOLAS]*. (2008). S-Pb.: CNIIMF.

2. *Admiralty list of radio signals “Global maritime distress and safety system (GMDSS)”*. NP 285. Vol.5. (2014). United Kingdom Hydrographic Office.

3. *Mezhdunarodnaya konvenciya po preduprezhdeniyu stolknoveniya sudov v more 1972 g. (MPPSS-72) [International Convention for the Prevention of Collision at Sea]*. (2004). S-Pb.: CNIIMF.

4. Aleksishin, V.G., Kozyr, L.A., & Simonenko, S.V. (2009). *Obespechenie navigacionnoj bezopasnosti plavaniya: uchebnoe posobie [Providing navigational navigation safety: a manual]*. Odessa: Feniks [in Russian].

5. Vagushenko, L.L., & Cymbal, H.H. (2007). *Sistemy avtomaticheskogo upravlenie dvizheniem sudna [Systems of automatic control of movement of the vessel]*. Odessa. Feniks [in Russian].

6. Daki, O.A., Timoshuk, O.M., & Bogom'ya, V.I. (2018). Metodologiya sintezu poligarmonijnih vimiryuvalnih signaliv z normovanim spektrom [Methodology of synthesis of polyharmonic measuring signals with a normal spectrum]. *Novitni tehnologiyi: zbirnik naukovih prac – Emerging technologies*, 3(7), 33-44. DOI:10.31180/2524-0102/2018.3.07.05 [in Ukrainian].

7. Gerasimov, S.V., Daki, O.A., & Yakovlev, M.Yu. (2018). Sintez poligarmonijnogo vimiryuvalnogo signalu z bud-yakoyu kilkisty tochk peremikannya [Synthesis of polyharmonic measuring signal with any number of switching points]. *Vimiryuvalna tehnika ta metrologiya – Measurement equipment and metrology*, 79 (2), 73-76. DOI: 10.23939/istcmtm2018/02/073 [in Ukrainian].

8. Povirka zasobiv vimiryuvan. Organizaciya i poryadok provedennya [Verification of measuring instruments. Organization and procedure] (1994). DSTU 2708 – 94 from 01th Janiary 1995. Kyiv: Derzhstandart Ukrainu [in Ukrainian].

9. *Izmeritelnye informacionnye sistemy [Measuring information systems]*. (2010). Moskva: Drofa [in Russian].

10. Stecenko, O.A. (2007). *Radiotekhnicheskie cepi i signaly [Radio circuits and signals]*. Moskva: Vyssh. Shkola [in Russian].

11. Bogomya, V.I., Davidov, V.S., Doronin, V.V., Pashkov, D.P., & Tihonov, I.V. (2012). *Navigacijne zabezpechennya upravlinnya rukom suden [Navigation support for controlling the movement of ships]*. Kyiv: DVVP «Kompas» [in Ukrainian].

12. Chinkov, V.M., & Gerasimov, S.V. (2014). Variacijnij metod i metodiki sintezu optimalnogo vimiryuvalnogo signalu dlya kontrolyu tehničnogo stanu sistemi avtomatichnogo upravlinnya [Variation method and method of synthesis of optimum measuring signal for control of the technical state of the automatic control system]. *Ukrayinskij metrologichnij zhurnal – Ukrainian Metrology Magazine*, 1, 59–64 [in Ukrainian].

13. Fridman, A.E. (2008). *Osnovy metrologii. Sovremennyj kurs [Fundamentals of Metrology. The modern course.]*. S.Pb.: NPO «Professional» [in Russian].

14. Mozeson, E., & Levanon, N. (2003). Multicarrier radar signals with low peak-to-mean envelope power ratio. *IEE Proc.-Radar Sonar Navigation*, Vol.150, 2, 71–77.

15. O'Neill, C.R., & Arena, A.S.Jr. (2005). Time-domain training signals comparison for computational fluid dynamics based aerodynamic identification. *Journal of Aircraft*, Vol. 42, 2, 421–428.

16. Recio, A., & Rhode, W.S. (2000). Basilar membrane responses to broadband stimuli. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 108, 5, 2281–2298.

17. Bogomya, V.I., Gorban, A.V., Pavlenko, M.A., Timochko, O.I., & Timoshuk, O.M. (2018). *Osoblivosti sistemnogo pidhodu do virishennya naukovih zavdan ekspluatatsiyi sudnovogo obladdannya* [Features of a systematic approach to solving scientific problems of the operation of marine equipment]. Kyiv: DUIT [in Ukrainian].

Володимир Богом'я, д.т.н., професор
(професор кафедри, Дунайський факультет морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій),
Олена Дакі, к.філ.н.
(декан факультету, Дунайський факультет морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій).

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА**

В статье рассмотрено наличие в практике контроля технического состояния сложных систем противоречия, а именно обеспечение заданной достоверности информации о техническом состоянии радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта требует увеличения объема и точности измерений при оценке их характеристик с одной стороны, с другой - отсутствие методов автоматизации процессов синтеза измерительных сигналов и обработки отзывают на них для этого.

По результатам анализа известных методов синтеза измерительных сигналов для контроля состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта предлагается разработка оптимального метода синтеза измерительных сигналов с нужным спектром и проведения экспериментально проверки полученных теоретических результатов и разработка рекомендации по их внедрению для автоматизированного контроля технического состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта.

Ключевые слова: эксплуатация, радионавигационные комплексы, управление движением, средства водного транспорта, методы, измерительные сигналы, автоматизация контроля.

Volodymyr Bohomia, Doctor of science.
(Professor of the Department, Danube Faculty of Marine and River Transport, State University of Infrastructure and Technologies)
Olena Daki, Ph.D.
(Dean of the Faculty, Danube Faculty of Marine and River Transport of the State University of Infrastructure and Technologies).

**ANALYSIS OF METHODS OF SYNTHESIS OF MEASURING SIGNALS FOR
THE CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF RADIONAVIGATION
COMPLEXES OF MOTION CONTROL MEANS OF WATER TRANSPORT**

The article deals with the features of the contradiction that exists in the practice of controlling the technical condition of complex systems. It consists in the fact that the maintenance of the given reliability of the information on the technical condition of

radionavigation complexes for controlling the movement of means of water transport requires an increase in the volume and accuracy of measurements in assessing their characteristics on the one hand, and on the other there is a lack of methods for automating the processes of synthesis of measuring signals and processing reviews for them for this.

According to the results of the analysis of known methods of synthesis of measuring systems for monitoring the state of radionavigation complexes of motion control of water transport means, it is proposed to develop an optimal method for synthesizing measurement signals with the required spectrum and to experimentally verify the obtained theoretical results and to develop recommendations for their implementation for automated- the control of the technical state of the radionavigation complexes of the traffic control of means of water transport.

The results of the work will solve the problem of ensuring the reliability of the control of the technical condition of the systems and complexes of navigation and control of the movement of water transport vehicles with optimal time characteristics in order to ensure the timeliness and operability of identifying possible failures during their operation and maintenance on the actual state.

Keywords: *operation, radionavigation complexes, traffic management, means of water transport, methods, measuring signals, automation of control.*

УДК 629.4.086

*Зуб Євген Петрович, аспірант
(аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний
університет інфраструктури та технологій)
Сапронова Світлана Юріївна, д.т.н., проф.
(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний
університет інфраструктури та технологій)
Ткаченко Віктор Петрович, д.т.н., проф.
(завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний
університет інфраструктури та технологій)*

АНАЛІЗ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЗНОСУ КОЛІСНИХ ПАР РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

В статті проведений аналіз систем контролю технічного стану колісних пар як на залізницях України, так і в світі. Розкрито переваги та недоліки цих систем. Розглянуто принцип дії та складові систем, завдяки яким здійснюється фіксація та контроль параметрів зносу колісних пар. Стаціонарний пристрій для контролю технічного стану колісних пар рухомого складу залізниць, запропонований авторами, особливо актуальний при оперативному виявленні дефектів колісних пар, які є загрозою безпеки руху поїздів. Зроблено висновок про те, що на залізницях України не повною мірою впроваджено повноцінний автоматизований контроль технічного стану колісних пар.

***Ключові слова:** рухомий склад залізниць, колісна пара, поверхня кочення, система моніторингу, контроль параметрів зносу.*

Вступ. Під час експлуатації рухомого складу виникає необхідність постійного контролю його технічного стану. Дефекти поверхонь кочення колісних пар викликають збільшення динамічних сил, що утворюються при взаємодії рухомого складу та колії. З одного боку, це призводить до прискорення зносу коліс і появи дефектів колісних пар, а з іншого – відповідний негативний вплив на верхню будову колії. Колісні пари вимагають постійного контролю, в тому числі і контролю під час руху. Своєчасне діагностування технічного стану колісних пар рухомого складу є необхідним заходом, виконання якого зменшує ймовірність виникнення аварійних ситуацій на залізничному транспорті.

Основне призначення засобів контролю полягає в підвищенні безпеки руху поїздів завдяки своєчасному виявленню несправностей рухомого складу. Поїзди, в яких за допомогою засобів контролю виявлені несправні вагони, зупиняються на станції, перед якою розташовані ці засоби, для огляду, усунення несправностей чи відчеплення вагона.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-10

Автоматизація систем моніторингу за станом коліс рухомого складу дозволяє більш якісно проводити діагностику їх дефектів, виявляти їх на початкових стадіях.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Проблематика застосування систем моніторингу дефектів колісних ходових частин рухомого складу, в тому числі колісних пар наведена в роботах [1, 8, 11].

Традиційно існуючі методи моніторингу та засоби автоматизованого аналізу стану поверхонь кочення колісних пар не завжди задовольняють сучасні потреби працівників вагонного господарства в автоматизації даного виду контролю, інтеграції його з автоматизованими системами обліку вагонів, зменшення впливу людського фактору на виявлення дефектів колісних пар.

В роботах [8, 11] проаналізовано причини виникнення дефектів колісних пар та методи визначення дефектів поверхонь кочення колісних пар. Проаналізовано системи автоматизованого контролю коліс рухомого складу, що використовуються на західноєвропейських та вітчизняних залізницях. В даній роботі запропоновано аналізувати стан колісних пар за допомогою звукових датчиків в поєднанні з вагоміром, що оснащений тензодатчиками.

Під час аналізу принципу роботи та дослідження системи «Комплекс» акцентовано увагу над перевагою даного пристрою, в якому здійснюється безконтактне вимірювання геометричних параметрів колісних пар рухомого складу [1]. Застосування системи дозволяє підвищити надійність експлуатації рухомого складу і максимально усунути ймовірність виникнення аварійних ситуацій на залізниці, викликаних дефектами колісних пар, але дана система не оптимізована до роботи на залізницях України та не інтегрована з вітчизняними системами обліку рухомого складу.

Мета і завдання дослідження. Досвід використання систем контролю колісних пар на залізницях України та СНД показує, що на даний час системи автоматизованого контролю колісних пар не задовольняють всі вимоги щодо об'єктивності даного виду контролю, тому необхідно виконати пошук найбільш ефективних методів даного аналізу, які використовуються як на залізницях СНД, так і на залізницях західної Європи.

Матеріали та методи дослідження. Основне призначення засобів контролю полягає в підвищенні безпеки руху поїздів завдяки своєчасному виявленню несправностей рухомого складу. Поїзди, в яких за допомогою засобів контролю виявлені несправні вагони, зупиняються на станції, перед якою розташовані ці засоби, для огляду, усунення несправностей чи відчеплення вагона.

З часів розвитку систем сигналізації, централізації і блокування (далі СЦБ) на залізничному транспорті першочерговим завданням було впровадження систем автоматичного контролю нагріву буксових вузлів рухомого складу. Наступні задачі виконують системи ПОНАБ, ДИСК-БКВ-Ц, КТСМ-01-Д та інші.

Розглянемо принцип роботи вищевказаних систем. Система «ДИСК-БКВ-Ц» — являється комплексною системою діагностики технічного стану ходових частин рухомого складу. Складається з підсистеми виявлення перегрітих букс, підсистеми виявлення нерівностей поверхні кочення коліс, підсистема виявлення деталей що волочуться, а також підсистеми централізованого отримання інформації [6].

Система «ДИСК-БКВ-Ц» має трьохрівневу структуру. На нижньому рівні де формується інформація про технічний стан рухомого складу, знаходяться перегонне обладнання. Елементами середнього рівня являються станційне обладнання лінійного пункту контролю і передаючий комплект підсистеми

«ДИСК-Ц». Постове обладнання розташовується на перегоні біля місця установки напільних датчиків. Станційне обладнання розташовується в пункті технічного обслуговування вагонів (далі ПТО) або приміщенні чергового по станції. Елементом верхнього рівня системи «ДИСК-БКВ-Ц» являється реєструюча апаратура підсистеми «ДИСК-Ц» на центральному пункті контролю, розташованому в ПТО, об'єднуюча інформацію з декількох лінійних пунктів контролю і з'єднана з передаючим комплектом лінією зв'язку. При виявленні апаратурою «ДИСК-К» дефекту колеса по колу кочення інформація про порядковий номер вагона і номер осів в вагоні, а також величина динамічного впливу колеса на рейку вказуються за допомогою реєструючого пристрою апаратури «ДИСК-Б».

До засобів автоматичного контролю технічного стану рухомого складу на шляху прямування поїзда відноситься апаратура виявлення перегрітих букс та система комплексного контролю КТСМ-01Д [5].

Принцип дії апаратури КТСМ-01Д заснований на сприйнятті чутливими елементами імпульсів інфрачервоного випромінювання від задніх по ходу руху поїзда стінок корпусів букс, і додатково від колеса з наступним перетворенням цих імпульсів в електричні сигнали, виділенні сигналів від перегрітих букс, реєстрації і передачі отриманої інформації. Принцип оцінки технічного стану коліс рухомого складу заснований на вимірюванні за допомогою п'єзоелектричних датчиків прискорень рейки при ударі по ньому колеса з дефектом по колу катання (повзун, навар, вищербини, нерівномірний прокат) і виділенні за визначеними критеріями сигналу інформації у випадках, коли динамічний вплив колеса на рейку перевищує задане граничне значення. Система виробляє сигнал наявності у вагоні деталі, що волочиться, при механічному зіткненні вузлів і деталей вагона, що виходять за межі нижнього обрису габариту рухомого складу, з елементами напільного електромеханічного датчика підсистеми.



Рис.1. Розміщення комплексного контролю КТСМ-01Д

Апаратура КТСМ-01Д включає перегінне і станційне устаткування, зв'язані між собою кабельною лінією зв'язку (рис. 1). Перегінне устаткування у свою чергу підрозділяється на напільне і постове, а станційне – на таке, що реєструє і сигналізує. Напільне устаткування встановлюється безпосередньо на колії і призначено для зчитування інформації з рухомого складу. Сигнали від напільного устаткування надходять по кабелю до постового устаткування. Після обробки

сигналів пристроями постового устаткування інформація про стан букс вагонів передається до станційного устаткування і реєструється цифродрукуючими пристроями. При цьому для апаратури КТСМ-01Д встановлюються:

- порядкові номери вагонів (починаючи з голови поїзда) з перегрітими буксами;
- сторона поїзду;
- загальна кількість вагонів у поїзді;
- загальна кількість вагонів з перегрітими буксами;
- справність.

Система КТСМ-01Д забезпечує додатково вказівку порядкового номера осі з перегрітою буксою у вагоні, ступені перегріву букси, часу контролю поїзда, його порядкового номера.

Аналізуючи вищевказані системи, що тривалий час використовуються на залізницях пострадянського простору, можна стверджувати, що параметри колісних пар, а саме параметри поверхонь кочення не досліджуються в повному обсязі. Принцип вимірювання за допомогою п'єзоелектричних датчиків прискорень тільки умовно надає сигнали про наявність певних дефектів, але не оцінює фактичний стан поверхні кочення колісної пари [5, 6, 12, 14, 15, 16]. Інше питання – швидкості, на яких проходять вимірювання, адже на міжстанційних перегонах швидкості руху зavelики для об'єктивних вимірювань технічного стану колісних пар [13].

Для підвищення безпеки руху поїздів, допомоги в огляді рухомого складу під час руху поїзда доцільно використовувати пристрої, що встановлюються на коліях залізничних станцій, в тому числі на коліях парків приймання поїздів, на станціях де присутні ПТО вагонів.

Одним з пристроїв, який задовольняє вище вказані вимоги є автоматизований діагностичний комплекс для контролю геометричних параметрів колісних пар вагонів «Комплекс» (рис. 2) [1]. Основні можливості пристрою – виявлення на ходу поїзда зносів суцільнокатаних коліс з подальшою передачею отриманої інформації на найближчий пункт технічного обслуговування.



Рис.2. Рейкове обладнання системи «Комплекс»

Принцип дії системи заснований на лазерному безконтактному контролі геометрії рухомих тривимірних об'єктів за допомогою триангуляційних датчиків положення. Основною перевагою даного пристрою є безконтактне вимірювання геометричних параметрів колісних пар рухомого складу на ходу поїзда при швидкостях до 60 км/год в різних кліматичних умовах. Застосування системи дозволяє підвищити надійність експлуатації рухомого складу і максимально усунути ймовірність виникнення аварійних ситуацій на залізницях, викликаних дефектами колісних пар.

До параметрів, які підлягають контролю даним пристроєм належать:

- відстань між внутрішніми гранями коліс;
- товщина та ширина обода;
- сума товщин гребенів;
- рівномірний прокат;
- діаметр колеса;
- дефекти поверхонь кочення;
- зсув букси.

Одним із сучасних варіантів зарубіжного обладнання в області пристроїв контролю колісних пар є система ARGUS II, що розроблена німецькою компанією Hegenscheidt-MFD. Вона здійснює вимірювання та контроль коліс рухомого складу під час руху [7].

Система ARGUS (рис. 3) складається із базового блоку (комп'ютера управління та контролю) і ряду модулів:

- ідентифікації поїзда;
- виявлення повзунів;
- вимірювання діаметра і відстані між внутрішніми гранями коліс;
- обміру профілю;
- ультразвукової дефектоскопії.



Рис.3. Робота лазерних датчиків контролю системи «ARGUS II»

Вимірювальна установка, створена на базі системи ARGUS II, монтується у відкритому просторі і може експлуатуватись при температурах, характерних для Центральної Європи. Датчики системи закриті захисними корпусами, в які під тиском подається гаряче повітря. Установка відповідає самим жорстким вимогам по відношенню до достовірності отриманої інформації від процесу діагностування. З певним інтервалом часу проводять калібрування вимірювальних пристроїв. Достовірність результатів вимірювань перевіряється за допомогою ймовірнісних методів розрахунку.

Однією з сучасних тенденцій організації систем моніторингу колісних пар є інтегрування в рамках єдиного комплексу функцій декількох модулів, які забезпечують отримання повної інформації про параметри колісної пари. Прикладом може служити комплексна система «WISE» (компанія «ІЕМ», США), яка показана на рис. 4 [8].

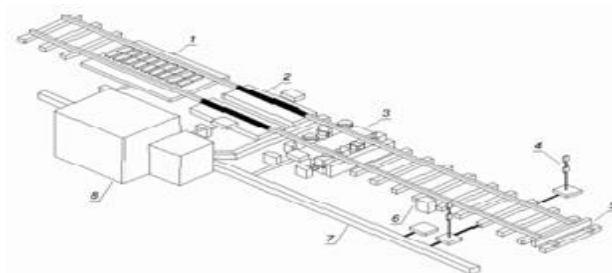


Рис.4. Комплексна система контролю колісних пар «WISE»:

- 1 – модуль вимірювання прокату і овальності; 2 – модуль визначення дефектів колеса;
 3 – модуль WISE для вимірювання профілю і діаметра колеса; 4 – датчик положення складу;
 5 – датчик наявності сторонніх предметів; 6 – модуль автоматичної ідентифікації рухомого складу;
 7 – канал для прокладки кабелів і волоконно-оптичних світловодів;
 8 – приміщення (бокс) для установки контрольно-вимірювальної апаратури

Крім пристроїв вимірювання профілю і діаметра колеса, система «WISE» також включає модулі визначення дефектів колеса і вимірювання прокату і овальності. Принцип дії модуля визначення дефектів заснований на використанні електромагнітних ультразвукових датчиків. Перший датчик генерує хвилю, що поширюється в поверхневому шарі колеса і оббігає його по колу, при цьому параметри хвилі вибираються з урахуванням глибини її проникнення в колесо і чутливості до дефектів. Відбитий від дефекту сигнал приймається другим датчиком. Весь комплекс вимірювань проводиться при швидкості рухомого складу 8 км/год.

Для контролю поверхні кочення колісних пар в русі на зарубіжних залізницях набув поширення метод діагностики, оснований на вимірюванні показників динаміки взаємодії коліс і рейок і порівнянні їх з критичними значеннями (детектори WCM, Dafur, Scaix Wild, Wild (США), ДДК) [4, 3].

В якості первинних перетворювачів в таких системах контролю використовуються тензодатчики, вібраційні датчики, силовимірювальні датчики та їх комбінації. До недоліків використання силовимірювальних датчиків відносять необхідність зміни конструкції колії, так як їх вихідні сигнали суттєво залежать від зовнішніх умов і стану колії. Силовимірювальні датчики не дозволяють достовірно реєструвати швидкоплинні процеси для виявлення коротких нерівностей (повзуни, навари, вищербини). Вібраційні датчики мають високу чутливість до коливань, викликані ударним впливом коліс з дефектами поверхні кочення, але не дозволяють реєструвати вертикальні та бічні сили і мають низький захист до шумів, що виникає при проковзуванні колісної пари по рейці [2, 15,16].

Авторами статті розроблено стаціонарний пристрій для контролю технічного стану колісних пар рухомого складу залізниць [10]. В основу розробки поставлена задача автоматичного контролю технічного стану колісних пар рухомого складу під час руху із стаціонарної установки, що встановлена на рейковому полотні та під'єднана до автоматизованих систем обліку рухомого складу (рис. 5). Даний вид автоматичного контролю особливо актуальний при оперативному виявленні дефектів колісних пар, що загрожують безпеці руху поїздів.

Поставлена задача досягається тим, що пристрій містить лазерні сканери та відеокамери із освітленням зони дослідження. Вся інформація з фіксуючих пристроїв комутується в блок управління і контролю, після чого подається на

комутуючий пристрій, а потім на комп'ютер оператора ПТО та автоматично передається в базу даних.

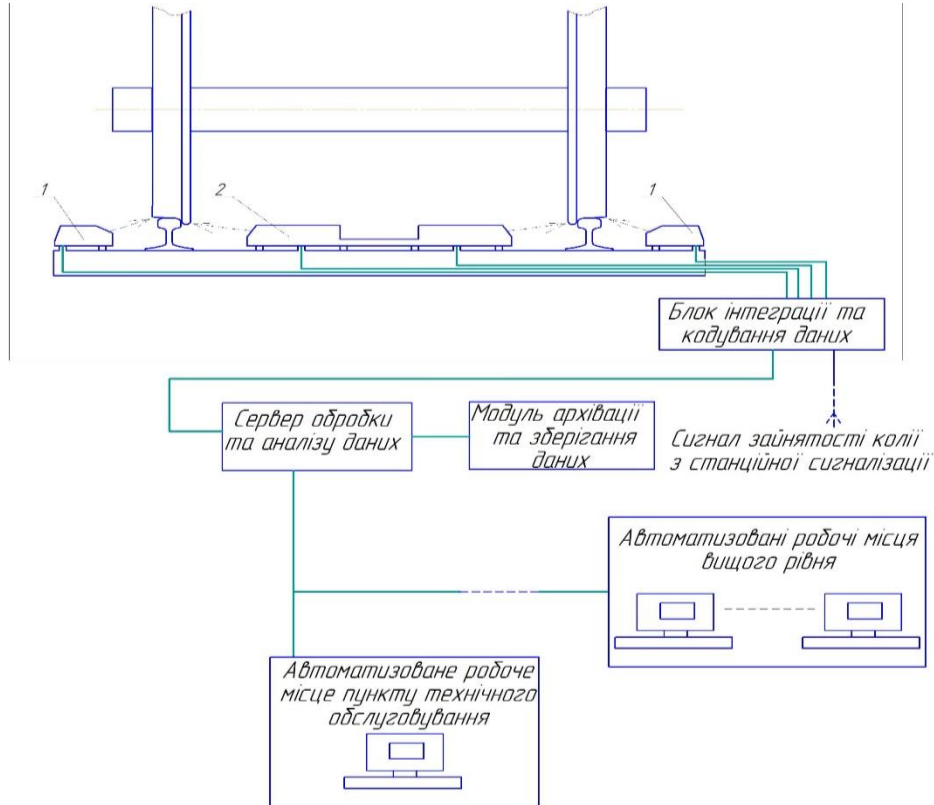


Рис.5. Пристрій для контролю технічного стану колісних пар рухомого складу залізниць:

1 – блоки контролю зовнішній; 2 – блоки контролю внутрішній

Основними перевагами розробки є:

– можливість використання пристрою на коліях приймання рухомого складу до огляду, що допоможе унеможливити людський фактор при огляді колісних пар вагонів та підвищити безпеку руху поїздів;

– можливість аналізу геометричних параметрів колісних пар під час руху поїзда із автоматичною фіксацією даних та передачею на автоматизовані робочі місця як працівників ПТО, так і всім користувачам автоматизованих робочих місць, що матимуть доступ до даних;

– можливість архівації та зберігання даних параметрів для подальшого використання при розслідуванні транспортних подій, що сталися з рухомим складом.

Висновки. Аналізуючи існуючі системи контролю технічного стану колісних пар, на залізницях України не повною мірою впроваджено повноцінний автоматизований контроль технічного стану колісних пар, адже наявні системи контролю більш орієнтовані на технічний стан буксових вузлів, але не в змозі аналізувати геометричні розміри поверхонь кочення коліс.

Більшість існуючих методів діагностики поверхні кочення коліс вимагають зниження швидкості руху, а також мають складне технічне виконання. Питання вибору методу діагностування, застосування в перспективі на залізницях України існуючого зарубіжного обладнання, вирішило би питання унеможливлення людського фактору при огляді колісних пар вагонів, підвищило безпеку руху поїздів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизированный диагностический комплекс для контроля геометрических параметров колесных пар вагонов «Комплекс». URL: <http://www.labracon.ru/ru/products/complex>. (Дата звернення 01.02.2019).
2. Степанова Л.Н., Бехер С.А., Кочетков А.С. Использование тензометрии для контроля колес грузового вагона в движении. *Контроль. Диагностика*. 2008. №8. С.19–23.
3. Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н., Ивлиев В.В., Кабанов С.И., Бехер С.А. Акустико-эмиссионный контроль железнодорожных конструкций. *Наука*. Новосибирск, 2011. С. 23-29.
4. Степанова Л.Н., Кабанов С.И., Бехер С.А., Коломеец А.О. Тензометрическая система для обнаружения дефектов поверхности катания колес грузовых вагонов. *Датчики и системы*. 2013. №10. С. 38–44.
5. Степанова Л.Н., Коломеец А.О. Использование быстродействующей тензометрии для контроля поверхности катания колес грузовых вагонов. *Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы VIII Международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, июль 2013*, 2013. С. 25–26.
6. Бехер С.А., Коломеец А.О., Степанова Л.Н., Кочетков А.С. Разработка комплекса информативных параметров тензометрических сигналов при контроле колес в движении. *Планово-предупредительный вид ремонта тягового подвижного состава с учетом его технического состояния: коллективная монография по материалам международной научно-практической конференции «Эксплуатационная надежность подвижного состава»*, Омск, 18 октября 2013 г. Омск, 2013. С. 215–221.
7. Radsatzdiagnose-System ARGUS II. URL: <https://www.hegenscheidtmfd.com/railway/radsatzdiagnose-system-argus-ii/> (Last accessed: 11.03.2019).
8. Буряк С.Ю. Диагностирование состояния поверхности катания колеса подвижного состава железных. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2013. №. 1. 22-29.
9. Диагностика технического состояния вагонов. Железнодорожные вагоны. Введение в дисциплину [Электронный ресурс]. – URL: http://www.vagoni-jd.ru/razdel_12.6%20diagnostika.php. (Дата звернення 01.02.2019).
10. Заявка и 2014 06343 Україна, МПК (2019.04) B01J 13/00. Стационарный пристрій для контролю технічного стану колісних пар рухомого складу залізниць / Сапронова С.Ю., Зуб Є.П., Ткаченко В.П.; (Україна); заявник та патентовласник Держ. ун-т інфраструкт. та технологій. № и 2014 06343; заявл. 10.04.19.
11. Сапронова С.Ю., Ткаченко В.П., Велігура А.В. Розробка програмно-технічних засобів моніторингу зносу бандажів локомотивів. *Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля*. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2009. №2 (132). С. 365 – 362.
12. Бехер С.А., Коломеец А.О., Степанова Л.Н., Кочетков А.С. Исследования динамических сил в системе колесо – рельс в процессе движения грузового вагона. *Контроль. Диагностика*. 2016. №7. 68–72.
13. Бехер С.А., Коломеец А.О. Экспериментальная методика измерения динамических сил, действующих на рельсы подкранового пути в реальных условиях эксплуатации. *Известия вузов. Строительство*. 2016. № 3. С. 110–118.
14. Бехер С.А., Коломеец А.О. Повышение достоверности контроля колес грузовых вагонов в Дефектоскопия. 2015. № 3. С. 61–68.
15. Система передачи данных на базе концентраторов КИ-6М. Автоматизированное рабочее место администратор СПД. Программное обеспечение ПО АРМ Администратор СПД. Руководство пользователя. НПЦ «ИНФОТЕКС». Екатеринбург, 2005. 42с.
16. Миронов А.А., Образцов В.Л., Соболев В.Я. Анализ опыта эксплуатации технических средств контроля подвижного состава. Автоматика, связь, информатика. 2005. № 3. С. 28-30.

REFERENCES

1. Avtomatyzirovanni dyagnostychesky kompleks dlia kontrolya heometrycheskykh parametrov kolesnykh par vahonov «Kompleks» [Automated diagnostic complex for controlling the geometric parameters of the wheel pairs of cars "Complex"] URL: <http://www.labracon.ru/ru/products/complex>. (Data zvernennia 01.02.2019) [in Russian].
2. Stepanova, L.N., Bekher, S.A. & Kochetkov, A.S. (2008). Yspolzovanye tenzometryy dlia kontrolya koles hruzovoho vahona v dvizhenii [Using tenzometryy to control the freight wagon wheels in motion]. *Kontrol. Dyagnostyka*, №8, 19-23 [in Russian].
3. Sereznov, A.N., Stepanova, L.N., Yvlyev, V.V., Kabanov, S.Y., Bekher, S.A., Vlasov, K.V., Bobrov, A.L. & Kareev A.E. et al. (2011). Akustyko-emyssyonnyi kontrol zheleznodorozhnykh konstruksiyi [Acoustic emission control of railway structures]. *Nauka*.5, 43-45 [in Russian].
4. Kabanov S.Y., Bekher S.A. & Kolomeets A.O. (2013). Tenzometrycheskaia sistema dlia obnaruzheniya defektov poverkhnosti kataniya koles hruzovykh vahonov [Tensometric system for detecting defects in the rolling surface of freight wagon wheels]. *Datchyky i systemy*, 10, 38-44 [in Russian].
5. Stepanova, L.N. & Kolomeets, A.O. (2013). Ispol'zovaniye bystrodeystvuyushchey tenzometrii dlia kontrolya poverkhnosti kataniya koles hruzovykh vagonov [The use of high-speed strain gauges to control the rolling surface of the wheels of freight cars]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty: materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, iyul' 2013*, 25-26 [in Russian].
6. Becher, S.A., Kolomeets, A.O., Stepanova, L.N. & Kochetkov, A.S. Razrabotka kompleksa informativnykh parametrov tenzometrycheskikh signalov pri kontrole koles v dvizhenii [Development of a complex of informative parameters of tensometric signals when monitoring wheels in motion. *Planned preventive maintenance of rolling stock, taking into account its technical condition: a collective monograph on the materials of the international scientific-practical conference "Operational reliability of rolling stock", Omsk, October 18, 2013 Omsk*, 215-221 [in Russian].
7. Radsatzdiagnose-System ARGUS II. URL: <https://www.hegenschmidtmd.com/railway/radsatzdiagnose-system-argus-ii/>. (Last accessed: 11.03.2019).
8. Buriak, S.Yu. (2013). Dyagnostyrovanye sostoiانيا poverkhnosti kataniya kolea podvizhnoho sostava zheleznykh. Nauka ta prohres transportu [Diagnosing the condition of the rolling surface of the rolling stock iron wheels]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*, 1, 22-29 [in Russian].
9. Dyagnostyka tekhnicheskoho sostoiانيا vahonov. Zheleznodorozhnye vahony. Vvedeniye v dystsyplynu [Diagnostics of the technical condition of cars. Railway wagons. Introduction to the discipline] [Elektronnyi resurs]. – URL: http://www.vagoni-jd.ru/razdel_12.6%20diagnostika.php. (Last accessed: 01.02.2019) [in Russian].
10. Zaiavka u 2014 06343 Ukraina, MPK (2019.04) B01J 13/00 (2019). Statsionarnyi prystrii dlia kontroliu tekhnichnoho stanu kolisnykh par rukhomoho skladu zaliznyts [Stationary device for controlling the technical condition of wheel pairs of rolling stock of railways] / Sapronova S.Yu., Zub Ye.P., Tkachenko V.P.; (Ukraina); zaiavnyk ta patentovlasnyk Derzh. un-t infrastrukt. ta tekhnolohii. № u 2014 06343; zaiavl. 10.04.94 [in Ukrainian].
11. Sapronova, S.Yu., Tkachenko, V.P. & Velihura, A.V. (2009). Rozrobka prohramno-tekhnichnykh zasobiv monitorynhu znovu bandazhiv lokomotyviv [Development of software and hardware for monitoring the wear of bandages for locomotives]. *Visnyk Shhidnoukrayins'koho nats. un-tu im. V. Dalya*, 2 (132), 365-362 [in Ukrainian].
12. Becher, S.A., Kolomeets, A.O., Stepanova, L.N. & Kochetkov, A.S. (2016). Issledovaniya dinamicheskikh sil v sisteme koleso – rel's v protsesse dvizheniya hruzovogo vagona [Studies of dynamic forces in the wheel-rail system in the process of moving a freight car]. *Kontrol'. Diagnostika*, №7, 68-72. [in Russian].
13. Becher, SA & Kolomeets, A.O. (2016). Eksperimental'naya metodika izmereniya dinamicheskikh sil, deystvuyushchikh na rel'sy podkranovogo puti v real'nykh usloviyakh ekspluatatsii [Experimental method for measuring the dynamic forces acting on the rails of the crane runway under actual operating conditions]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*, 3, 110-118 [in Russian].
14. Becher, S.A. & Kolomeets, A.O. (2015). Povysheniye dostovernosti kontrolya koles hruzovykh vagonov [Improving the reliability of control of the wheels of freight cars]. *Defektoskopiya*, 3, 61-68 [in Russian].

15. Sistema peredachi dannykh na baze kontsentratorov KI-6M. Avtomatizirovannoye rabocheye mesto administrator SPD. Programmnoye obespecheniye PO ARM Administrator SPD. Rukovodstvo pol'zatelya [Data transmission system based on KI-6M hubs. Workstation administrator SPD. Software software AWS Administrator SPD. User's manual]. *Yekaterinburg: SPC "InfoTeKS", 2005, 42 p.* [in Russian].

16. Миронов, А.А., Образцов, В.Л. & Соболев, В.Я. (2005). Analiz opyta ekspluatatsii tekhnicheskikh sredstv kontrolya podvizhnogo sostava [Analysis of operating experience of technical means of rolling stock control]. *Avtomatika, svyaz', informatika*, 3. 28-30 [in Russian].

Зуб Евгений Петрович, аспирант

(Аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный университет инфраструктуры и технологий)

Сапронова Светлана Юрьевна, д.т.н., проф.

(Профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный университет инфраструктуры и технологий)

Ткаченко Виктор Петрович, д.т.н., проф.

(Заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав железных дорог», Государственный университет инфраструктуры и технологий)

АНАЛИЗ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ИЗНОСА КОЛЕСНЫХ ПАР ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

В статье проведен анализ систем контроля технического состояния колесных пар как на железных дорогах Украины, так и в мире. Раскрыты преимущества и недостатки этих систем. Рассмотрены принцип действия и составляющие систем, благодаря которым осуществляется фиксация и контроль параметров износа колесных пар. Стационарное устройство для контроля технического состояния колесных пар подвижного состава железных дорог, предложенное авторами, особенно актуально при оперативном выявлении дефектов колесных пар, которые являются угрозой для безопасности движения поездов. Сделаны выводы о том, что на железных дорогах Украины не в полной мере внедрен полноценный автоматизированный контроль технического состояния колесных пар.

Ключевые слова: подвижной состав железных дорог, колесная пара, поверхность качения, вагон, локомотив.

Yevhen P. Zub,

(Postgraduate Student of Department «Railway carriage and Railway carriage facilities», State University of Infrastructure and Technologies)

Svitlana Yu. Saponova, Doctor of Technical Science, Professor

(Professor of Department «Railway carriage and Railway carriage facilities», State University of Infrastructure and Technologies)

Viktor P. Tkachenko, Doctor of Technical Science, Professor

(Head of Department «Traction rolling stock of the railway», State University of Infrastructure and Technologies)

ANALYSIS OF MONITORING PARAMETERS OF WEAR OF ROLLING STOCK WHEEL PAIRS

The article analyzes the systems of control of the technical condition of wheel pairs both on the railways of Ukraine and in the world. The advantages and disadvantages of

these systems, especially their use and operation are revealed. The principle of operation and components of systems, through which the fixation and control of parameters of wear of wheel pairs is carried out, is considered. After analyzing the existing systems of checking the technical condition of wheel pairs, the experience of their use, the advantages and disadvantages of different systems and devices, the authors have proposed a stationary device for controlling the technical condition of the wheel pairs of rolling stock of railways, based on the automatic control of the technical condition of the wheel pairs of the rolling stock when moving from stationary installation installed on a rail track and connected to automated rolling stock systems. Taking into account the analysis of the investigated material, conclusions were made on the feasibility of introducing a fully-fledged automated control of the technical condition of the wheel pairs, the prospects of using these systems on the railways of Ukraine.

Keywords: *rolling stock of railways, wheel pair, rolling surface, monitoring system, control of wear parameters.*

УДК 629.463

*Світлана Сапронова, д.т.н., проф.
(доктор технічних наук, професор, Державний університет
інфраструктури та технологій)
Олексій Кошель, аспірант
(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)
Віктор Ткаченко, д.т.н., проф.
(доктор технічних наук, завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад
залізниць», Державний університет інфраструктури та технологій)
Дмитрій Буліч, аспірант
(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)
Микола Радкевич, аспірант
(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)*

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

У статті розглянуто найбільш поширені методи продовження терміну служби вантажних вагонів, а саме: контрольні випробування (статичні випробування на міцність від дії вертикального навантаження, скидання з клинів та типові випробування на міцність при зіткненні) та методи неруйнівного контролю (візуально-оптичний, капілярний, магнітопорошковий та ультразвуковий). Виявлено переваги та недоліки існуючих методів. Виконано аналіз та підтвердження типовості відомих дефектів кожного типу вантажного вагону, виявлено нові дефекти.

***Ключові слова:** вантажні вагони, продовження терміну служби, методи.*

Вступ. На сьогоднішній день майже 90% вантажних вагонів власності АТ «Укрзалізниця» використовуються за межами призначеного терміну служби заводом-виробником та мають продовжений термін служби. Метою продовження терміну служби є забезпечення безпечної експлуатації рухомого складу, який вичерпав свій призначений термін служби [1] з необхідним рівнем безпеки. Зі зростанням терміну служби вантажних вагонів рівень безпеки знижується. Це відбувається за рахунок впливу на стан вантажних вагонів таких основних чинників:

- знос вузлів і деталей, внаслідок чого зменшується їх запас міцності;
- природне старіння металевих матеріалів (корозія і т.і.);
- накопичення, в процесі експлуатації, втомних змін стану несучих металевих конструкцій.

В процесі експлуатації вантажних вагонів під дією циклічних знакозмінних

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-11

навантажень відбувається зміна механічних та фізичних властивостей металу несучих конструкцій. На певній стадії починаються явища зниження опору металу руйнуванню, що характеризуються, як втомні ушкодження.

Спочатку в структурних складових металу утворюються мікротріщини, які на подальших стадіях переростають в макротріщини і при несвоєчасному виявленні та усуненні призводять до руйнування елементу [2].

Своєчасне виявлення дефектів металу, що виникають, досягається правильною періодичною організацією системи контролю відповідних вузлів і деталей вантажних вагонів, із застосуванням необхідних методів та обладнання для проведення контролю.

За таких обставин на першу роль виходять методи продовження терміну служби вантажних вагонів.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Питання, що виникають під час технічного діагностування вантажних вагонів розглянуті в [3], [4]. Комплексні роботи з продовження терміну служби вантажних вагонів розглянуті в [5], [6], [7] та [8]. В роботі [9] було розглянуто питання продовження терміну служби вантажних вагонів. В роботі [10] викладено про вдосконалення системи технічного діагностування шляхом застосування неруйнівних методів контролю.

Мета і завдання дослідження – аналіз і характеристика основних методів продовження терміну служби вантажних вагонів.

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.

Завданням обстеження технічного стану вагонів є виявлення пошкоджень деталей і вузлів в експлуатації, механічного або корозійного зносу, залишкових деформацій, тріщин, контроль товщини стінок несучих елементів кузова та рами. Для проведення аналізу розглянемо більш детально методи продовження терміну служби вантажних вагонів.

Контрольні випробування

Завданням контрольних випробувань є експериментальна перевірка відповідності показників міцності конструкції вагону вимогам діючим нормативним документам [4], [5] та [6].

Контрольні випробування включають:

- статичні випробування на міцність від дії вертикального навантаження;
- скидання з клинів;
- типові та ресурсні випробування на міцність при зіткненні.

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.

Скидання з клинів – оцінка власних частот коливань та динамічних напружень в елементах рами і кузова вагона та несучих конструкціях візка.

Випробування по скиданню з клинів виконуються наступним чином: завантажений вагон, накочується за допомогою локомотива на клини (висота клинів

складає не менше 25 мм, довжина – 350 мм, ширина – 50 мм). Клини встановлюються по черзі (табл. 1):

- 1) під всі колеса вагона (імітація підскакування);
- 2) під колеса одного боку одного візка й іншого боку другого візка (імітація скручування);
- 3) під всі колеса одного візка (імітація галопування);
- 4) під колеса одного боку вагона (імітація бокової хитавиці).

В залежності від кількості використаних клинів і місця їх розташування під відповідними колесами вагона визначають види коливання при проході і скиданні вагона з клинів. Кількість скидань з клинів за кожною схемою їх встановлення рекомендується виконати не менше 3 разів.

Таблиця 1. Схема установки клинів під колеса чотиривісного візка

№ з/п	Вид коливань	Номер колісної пари			
		1	2	3	4
1	Підскакування	■	■	■	■
2	Скручування кузова			■	■
3	Галопування	■	■		
4	Бокова хитавиця	■	■	■	■

Типові та ресурсні випробування міцності при зіткненні – визначення і оцінка динамічних напружень і деформацій в несучих конструкціях рами та кузова вагона при прикладанні нормативних ударних сил через автозчепне обладнання.

Порядок проведення типових та ресурсних випробувань на співудар полягає у такому:

- завантаження вагона до номінальної вантажопідйомності;
- зважування завантаженого вагона;
- облаштування вагона спеціальним автозчепом-динамометром;
- установка вагона на ділянку залізничної колії для випробувань, а також пікету для визначення швидкості накочування вагона-бойка;
- випробування на співудар;
- вимірювання деформацій, швидкості накочування та сили удару вагона-бойка за допомогою засобів вимірювальної техніки;
- огляд конструкції при типових ударних випробуваннях проводиться після кожних 3-5 ударів.

Випробування на зіткнення проводяться шляхом накочування локомотивом вагона-бойка на дослідний вагон, який знаходиться в підпертому (при одно ударній схемі) та вільному (при двох ударній схемі випробувань) станах. Після кожної серії співударів проводиться перевірка технічного стану вагона та його устаткування. Процес виникнення і розвитку дефекту деталей, вузлів і устаткування вагона

простежується до закінчення випробувань, при цьому виявляються можливі причини утворення дефектів.

Ударні випробування можуть проводитися з одиночним вагоном, який ударяється в групу загальмованих вагонними башмаками завантажених вагонів, що стоять на прямій ділянці залізничної колії, або в який ударяється завантажений вагон-бойок при різних швидкостях руху.

При випробуваннях одиночного вагону завантажений вагон-бойок накочується на вагон установлений у групі вагонів, що випробовується локомотивом, який відчіплюється від вагона-бойка, при досягненні ним приблизно заданої швидкості співударяння за GPS модулем.

Схема розміщення вагонів (рис. 1) визначається в залежності від кількості дослідних вагонів.

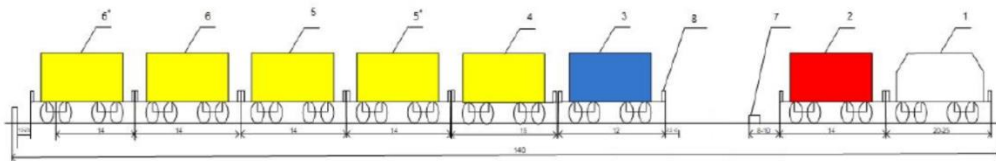


Рис. 1. Схема розташування рухомого складу під час проведення ударних випробувань вантажного вагона

1 – локомотив; 2 – вагон-бойок; 3 – вагон, який випробовується; 4, 5, 5*, 6, 6* – вагон підпору; 7 – пристрій вимірювання швидкості; 8 – тензометричний автотзепний пристрій

Неруйнівні методи контролю. Виконання неруйнівного контролю (далі – НК) властивостей і показників об'єкту контролю не повинно приводити до його руйнування чи порушенню придатності об'єкта до використання та експлуатації. В НК використовуються різноманітні фізичні явища або процеси, які при певних умовах не завдають шкоди об'єктові контролю (далі – ОК), або ж не впливають на його експлуатаційні характеристики, із повним збереженням закладених функцій у виріб.

НК підрозділяють на дев'ять основних методів: магнітний, електричний, вихрострумний, радіохвильовий, тепловий, оптичний, радіаційний, акустичний і проникаючих речовин [11]. При цьому, у кожному методі передбачається застосування певних прийомів та засобів випробувань (правил), за виконанням яких не повинна бути порушена придатність об'єкту щодо його застосування. Методи НК класифікують за наступними ознаками:

- характером взаємодії фізичних полів чи речовин з об'єктом що контролюється;
- первинними інформативними показниками;
- способами одержання первинної інформації.

Додаткова умова виконання НК це те, що оператор повинен бути сертифікований [12].

Вибір методу та засобу НК для вирішення завдань дефектоскопії, технічних вимірювань й технічної діагностики залежить від параметрів об'єкта контролю і умов його обстеження.

При дослідженні технічного стану вузлів та деталей вантажних вагонів найбільш широко застосовується лише 4 методи НК:

1. Візуальний [13] (далі – VT).

Для оцінки технічного стану несучих вузлів та деталей вантажних вагонів та виявлення можливих дефектів використовується VT метод, який оснований на дії на виріб електромагнітного випромінювання видимого спектру та наданні візуальної інформації оператору про технічний стан ОК.

2. Капілярний [14] (далі – РТ).

Метод РТ оснований на капілярному проникненні індикаторної рідини (пенетранта) в порожнини дефектів металу, що виходять на поверхню об'єкта контролю, та реєстрації наслідків цих дефектів (візуально чи за допомогою приладів), які створює індикаторна рідина, що вийшла із порожнин дефектів і надає кількісну інформацію про дефект (ширина, глибина і т.і.) та, зрештою, про небезпеку цього дефекту для безаварійної роботи вузла і механізму РС в цілому. Індикаторним пенетрантом називають капілярній дефектоскопічний матеріал, що володіє здатністю проникати в нещільності об'єкта контролю та заповнювати ці нещільності. Пенетрант містить фарбувальні речовини (кольоровий метод) або люмінесцентні добавки (люмінесцентний метод), або їх комбінацію. Добавки дозволяють відрізнити змочену пенетрантом область шару проявника над тріщиною від основного (частіше всього білого) суцільного, без дефектів матеріалу об'єкта (фон) контролю. Проявником називається дефектоскопічний матеріал, який використовується для витягнення пенетранта з нещільності на зовнішні поверхні ОК, з метою створення чіткого індикаторного рисунку та контрастного з ним фону.

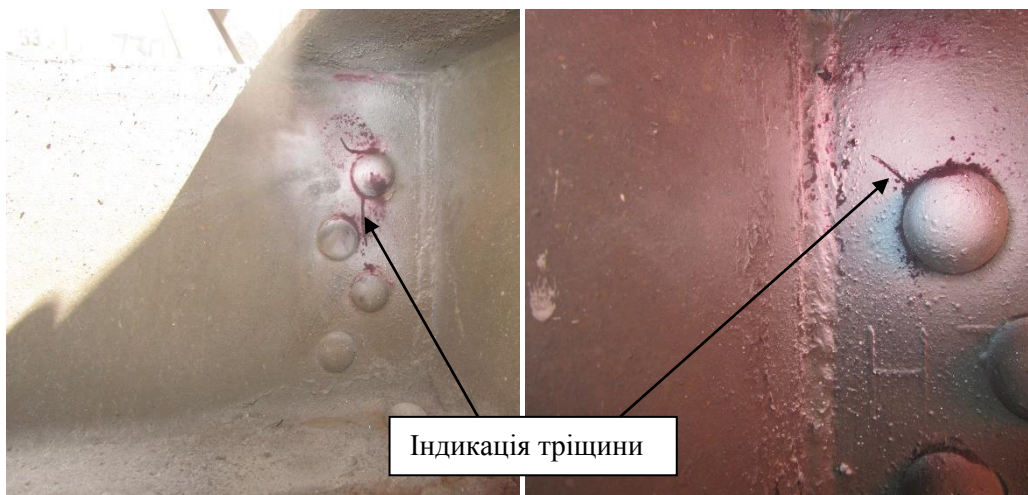


Рис. 2. Дефекти несучих металоконструкцій вантажних вагонів виявлені за допомогою РТ методу

Безперечною перевагою капілярного контролю являється те, що з його допомогою можна не тільки виявляти поверхневі дефекти, але по їх розташуванню, протяжності, формі і орієнтації по поверхні можна отримати цінну інформацію про характер дефекту і навіть визначити деякі причини їх виникнення (концентрація напруги, недотримання технології тощо). Слід дефекту представляє собою індикаторне зображення, утворене індикаторною рідиною в місці розташування дефекту і подібний формі його перетину біля виходу на поверхню ОК. Зазвичай

слід по своїй величині значно більше розкриття (ширини) дефекту на поверхні, що і дозволяє упевнено виявляти неозброєним оком його місце розташування.

Ефективність РТ методу залежить від багатьох чинників таких як:

- вид дефектоскопічних матеріалів і використаного обладнання;
- підготовка поверхні ОК;
- характер дефекту;
- дотримання встановленої технології контролю;
- кваліфікація фахівця, що виконує НК.

3. Магнітопорошковий [15] (далі – МТ).

Метод МТ базується на ефекті притягання магнітних часток (феромагнітного порошку) магнітним полем розсіювання, що створюється спеціальним пристроєм над дефектом, при намагнічуванні деталі виготовленої з феромагнітного матеріалу.

При використанні МТ виявляються поверхневі дефекти типу порушення суцільності металу, наприклад: тріщини різноманітного походження, флокени, закати, надриви, волосовини, розшарування, дефекти зварювальних з'єднань. Метод дозволяє контролювати всю поверхню деталі або окремі її ділянки.

Найбільш поширеними засобами МТ є дефектоскопи з електромагнітами змінного струму або постійними магнітами, які застосовуються для намагнічування ділянок контролю великогабаритних деталей, а також деталей складної форми, якщо визначені зони контролю та напрямки можливих дефектів. Для намагнічування ОК при використанні МТ використовуються методи створення магнітного поля: поздовжній (полусний) і циркулярний.

МТ має високу продуктивність, наочність результатів контролю і високу чутливість. При правильній технології контролю деталей, цим методом можливо виявити втомні тріщини і інші дефекти в початковій стадії їх появи.

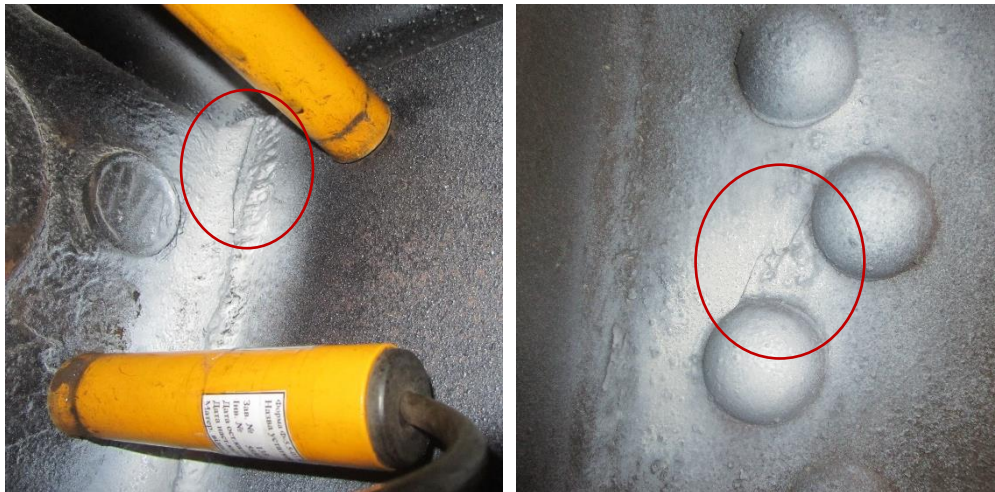


Рис. 3. Дефекти несучих металоконструкцій вантажних вагонів виявлені за допомогою МТ методу

4. Ультразвуковий [16] (ультразвукова товщинометрія) (далі – УТ).

Ультразвуковий контроль є одним з акустичних методів НК і дозволяє вимірювати геометричні параметри, наприклад товщину при односторонньому

доступі до виробу, виявляти приховані внутрішні дефекти в ОК, а також фізико-механічні властивості матеріалів без їх руйнування або розділення.

Ультразвукова дефектоскопія заснована на здатності ультразвукових коливань відбиватися від внутрішніх неоднорідних середовищ. Ультразвукові методи контролю дозволяють виявляти і визначати розташування внутрішніх дефектів типу тріщин, раковин, розшарувань, пористості і ін., в деталях, виконаних з металів і деяких неметалічних матеріалів.

Ультразвуковий метод НК поділяють на тіньовий, дзеркально-тіньовий, ехо-метод, ехо-дзеркальний, дельта-метод та інші, але для дефектоскопіювання деталей та вузлів РС застосовуються лише три:

- ехо-метод;
- тіньовий;
- дзеркально-тіньовий метод.

Ультразвукові товщиноміри вимірюють час проходження ультразвукового імпульсу від випромінювача до протилежної поверхні об'єкту контролю і назад до перетворювача. Для проведення таких вимірів доступ до протилежної поверхні об'єкту контролю не потрібен. Завдяки цьому, якщо протилежна поверхня об'єкту контролю є важкодоступною або повністю недоступною, необхідність розрізати об'єкт контролю (що потрібно при використанні мікрометра або штангенциркуля) відсутня.



Рис. 4. Приклад вимірювання товщини УТ методом металевих конструкцій вантажних вагонів

За допомогою методів НК під час технічного діагностування вантажних вагонів було виявлено безліч дефектів несучих конструкцій, що дало змогу на вагонах-хоперах для зерна та хопер-дозаторах виявити систематичні типові дефекти (на основі статистичних даних філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» акціонерного товариства «Українська залізниця»), а саме:

- тріщина хребтової балки вагона-хопера для зерна в районі клепаного з'єднання (рис. 5);

– тріщина хребтової балки хопер-дозатора ребра жорсткості в районі розвантажувального механізму (рис. 6).

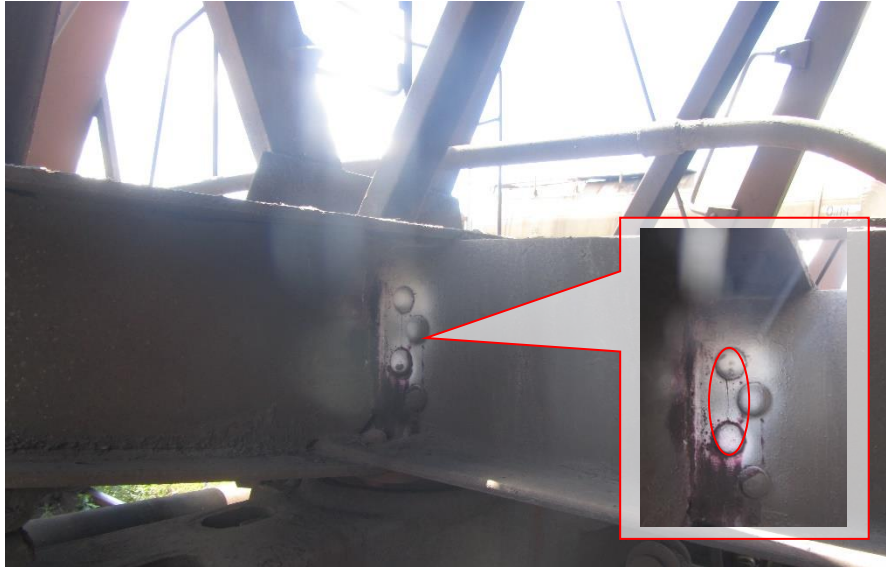


Рис. 5. Типовий дефект у вигляді тріщини хребтової балки вагона-хопера для зерна в районі клепаного з'єднання

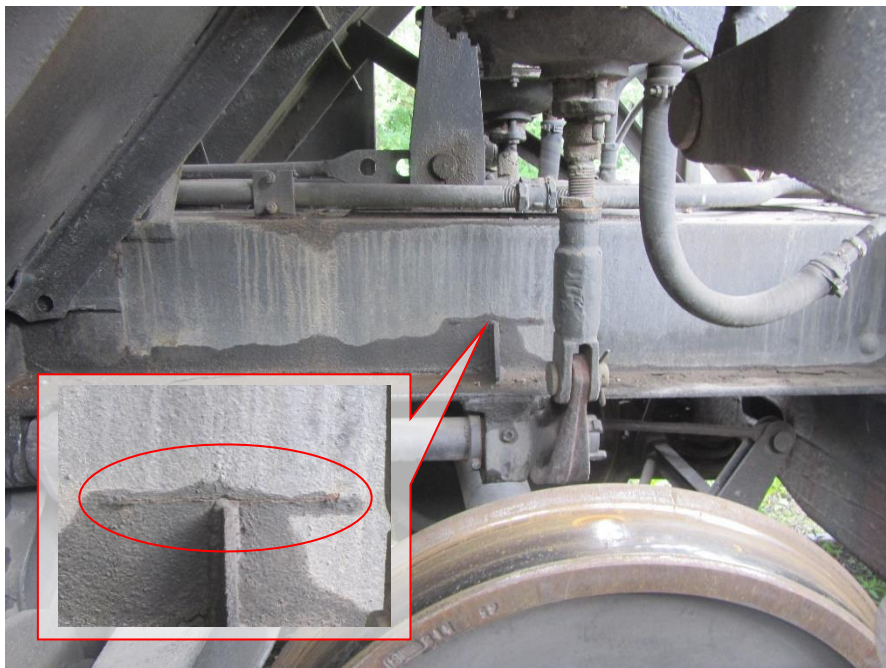


Рис. 6. Типовий дефект у вигляді тріщина хребтової балки хопер-дозатора ребра жорсткості в районі розвантажувального механізму

Результати технічного діагностування вагонів-хоперів для зерна та хопер-дозаторів за період 2016-2018 рр. наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Статистичний аналіз технічного діагностування вагонів-зерновозів та хопер-дозаторів за 2016-2018 рр.

№ з/п	Тип вантажного вагона	Кількість продіагностованих вагонів за 2016-2018 рр., од.	Кількість виявлених дефектів за 2016-2018 рр., од.	Співвідношення виявлених дефектів до продіагностованих вагонів, %
1	Вагон-хопер для зерна	3366	310	9,2
2	Хопер-дозатор	749	94	12,6

Крім цього, за 2016-2018 рр. було проведено технічне діагностування більш ніж 20 тис. вагонів інших типів (напіввагони, платформи, вагони-хопери для цементу, вагони-хопери для мінеральних добрив та ін.). Після проведеного аналізу отриманих результатів, було виявлено більш ніж 5 тис. дефектів на оглянутих вагонах. Основними дефектами були: наскрізна корозія двотавра хребтової балки (напіввагони), наскрізна корозія стоек кінцевих (напіввагони), відрив проміжних стоек від поперечних балок (напіввагони), наскрізна корозія та тріщини шкворневих балок (всі типи вагонів), тріщини кінцевих балок (всі типи вагонів), наскрізна корозія обшиви кузова (всі типи вагонів). Більшість виявлених дефектів було відремонтовано згідно з діючими нормативними документами на деповський та капітальний ремонт в АТ «Укрзалізниця».

Висновки. Використання сучасних методів продовження терміну служби та систематичний аналіз отриманих даних дає можливість підтвердити типовість вже відомих дефектів кожного типу вантажного вагона (тріщини та наскрізна корозія шкворневих балок, деформація кінцевих балок, наскрізна корозія обшиви кузова та ін.) та виявити нові (тріщина хребтової балки вагона-хопера для зерна в районі клепаного з'єднання, тріщина хребтової балки хопер-дозатора ребра жорсткості в районі розвантажувального механізму).

Згідно з проведеним у статті аналізом контрольних випробувань, можна виділити недоліки й переваги методу неруйнівного контролю. До головної переваги треба віднести можливість розповсюдження отриманих результатів на партію вагонів однієї моделі та року побудови, головний недолік – це досить тривале проведення контрольних випробування (1-2 місяці) та обробка отриманих результатів (2-3 місяці).

Провівши аналіз методів НК показано, що вони дають можливість миттєво визначити технічний стан вантажного вагона та продовжити термін служби чи виключити його з експлуатації. Найбільш ефективним та невибагливим методом НК є МТ тому, що він, на відміну від РТ методу, виявляє підповерхневі дефекти (до 2 мм від поверхні) та не має вимог до шороховатості поверхні ОК, що в свою чергу не вимагає від оператора проведення контролю визначення хибних дефектів.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1995. 33 с.
2. Леонєць В.А. Вплив тривалої експлуатації залізничного рухомого складу на працездатність його несучих конструкцій. *Залізничний транспорт України*. 2017. № 1. С. 24-31.
3. Третьяков А.В. Продление срока службы подвижного состава. Москва, 2011. 304 с.
4. Единые методические указания по техническому диагностированию грузовых и рефрижераторных вагонов государств-участников Соглашений о совместном использовании грузовых и рефрижераторных вагонов в международном сообщении. Москва, 2003.
5. РД 24.050.37-90. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. Москва, 1990. 37 с.
6. РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. Москва, 1995. 102 с.
7. Програма і методика технічного діагностування. Рф-2016 ПМ 8. Рефрижераторні вагони вилучені після закінчення строку служби. М.: ООО «НПП ИН «Азовмаштест», 2016. 36 с.
8. Програма й методика технічного діагностування. ПМ 021-2011 Напіввагони, що вилучили призначений термін служби. К.: ДП «ДНДЦ», 2011. 36 с.
9. Сапронова С.Ю., Буліч Д.І., Ткаченко В.П. Продовження терміну експлуатації вантажних вагонів. *Вісник СХУ ім. В.Даля*. Сєверодонецьк: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2017. №3[233]. С. 158–162.
10. Кошель О.О., Титорчук Р.І., Ліщинський О.В. Вдосконалення системи контролю технічного стану несучих конструкцій рухомого складу шляхом застосування неруйнівних методів контролю. *Залізничний транспорт України*. 2018. № 1. С. 47-53.
11. ДСТУ 2865-94. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1995. 52 с.
12. ISO 9712:2012. Неразрушающий контроль. Квалификация и сертификация персонала по неразрушающему контролю. Ж.: Міжнародний стандарт, 2012. 43 с.
13. ДСТУ EN 13018:2005. Неруйнівний контроль. Контроль візуальний. К.: Держстандарт України, 2007. 4 с.
14. ДСТУ EN 571-1-2001. Неруйнівний контроль. Капілярний контроль. Частина 1. Загальні вимоги. К.: Держстандарт України, 2003. 16 с.
15. ДСТУ EN ISO 9934-1:2005. Неруйнівний контроль. Контроль магнітопорошковий. Частина 1. Загальні вимоги. К.: Держстандарт України, 2004. 14 с.
16. ДСТУ EN ISO 16810:2016. Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Загальні вимоги. К.: Держстандарт України, 2016. 20 с.

REFERENCES

1. *Reliability of technology. Terms and definitions*. (1995). DSTU 2860-94 from 1 January 1996. Kyiv: Derzhstandart Ukraine. 33.
2. Leonets, V.A. (2017). Vplyv tryvaloi ekspluatatsii zaliznychnoho rukhomoho skladu na pratsezdatsnist joho nesuchykh konstruksij [Effect of Long-Term Operation of Railway Rolling Stock on Performance of Its Bearing Structures]. *Railway Transport of Ukraine*. 2017. 1. 24-31.
3. Tretyakov A.V. (2011). *Prodleniye sroka sluzhby podvizhnogo sostava* [Extension of rolling stock service life]. Moscow.
4. Uniform methodological guidelines for the technical diagnosis of freight and refrigerated wagons of the States Parties to the Agreements on the sharing of freight and refrigerated wagons in international traffic. (2003, January 16). Moskva.
5. 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 ride quality]. Moscow. 1990.
6. 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 ride quality]. Moscow. 1995.
7. Programma i metodika tekhnicheskogo diagnostirovaniya. Refrizheratornyye vagony vysluzhivshiye naznachennyy srok sluzhby Rf-2016 PM 8. [Program and methods of technical diagnosing. Refrigerated wagons that have served their intended service life]. Mariupol: ООО «NPP IN «Azovmashtest». 2016. 36.

8. Prohrama y metodyka tekhnichnoho diahnostuvannya. Napivvahony, shcho vysluzhyly pryznacheny termin sluzhby PM 021-2011 [Program and method of technical diagnostics. Semi-carriages that have served their intended service life]. Kyiv: DP «DNDTS». 2011. 36.

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

10. Koshel, O.O., Titorchuk, R.I., Lischynsky, O.V. (2018). Vdoskonalennya systemy kontrolyu tekhnichnoho stanu nesuchykh konstruktsey rukhomoho skladu shlyakhom zastosuvannya neruynivnykh metodiv kontrolyu [Improvement of the state control system for the rolling stock load-bearing constructions by applying the non-destructive testing methods]. *Railway Transport of Ukraine*. 2018. 1. 47-53.

11. *Control is non-destructive. Terms and definitions*. (1995). DSTU 2865-94 from 1 January 1996. Kyiv: Derzhstandart Ukraine. 52.

12. *Unbrakable control. Qualification and certification of personnel on non-destructive testing*. (2012). ISO 9712:2012 from 15th June 2012. Geneva: International standard. 43.

13. *Non-destructive control. The control is visual*. (2007). DSTU EN 13018:2005 from 1 January 2007. Kyiv: Derzhstandart Ukraine. 4.

14. *Non-destructive control. Capillary control. Part 1. General requirements*. (2003). DSTU EN 571-1-2001 from 1 January 2003. Kyiv: Derzhstandart Ukraine. 16.

15. *Non-destructive control. Magnetic particle control. Part 1. General requirements*. (2004). DSTU EN ISO 9934-1:2005 from 1 January 2007. Kyiv: Derzhstandart Ukraine. 14.

16. *Non-destructive control. Ultrasound control. General requirements*. (2016). DSTU EN ISO 16810:2016 from 1 August 2016. Kyiv: Derzhstandart Ukraine. 20.

**Светлана Сапронова, д.т.н., проф.,
(доктор технических наук, профессор, Государственный университет
инфраструктуры и технологий)**

**Алексей Кошель, аспирант,
(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий)**

**Виктор Ткаченко, д.т.н., проф.,
(доктор технических наук, заведующий кафедрой «Тяго́вий подвижной
состав железніх дорог», Государственный университет инфраструктуры и
технологий)**

**Дмитрий Булич, аспирант,
(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий)**

**Николай Радкевич, аспирант,
(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий)**

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В статье рассмотрены наиболее распространенные методы продления срока службы грузовых вагонов, а именно: контрольные испытания (статические испытания на прочность от действия вертикальной нагрузки, сбрасывание с клиньев и типовые испытания на прочность при столкновении) и методы неразрушающего контроля (визуально-оптический, капиллярный, магнитопорошковый и ультразвуковой). Выявлены преимущества и недостатки существующих методов. Сделан вывод о возможности подтвердить тип известных дефектов каждого типа грузового вагона и выявить новые.

Ключевые слова: *грузовые вагоны, продление срока службы, методы.*

*Svitlana Sapronova, D.T.S., Prof.,
(Doctor of Technical Science, Professor, State University of Infrastructure and Technologies)*

*Oleksiy Koshel,
(Postgraduate student, State University of Infrastructure and Technologies)*

*Victor Tkachenko, D.T.S., Prof.,
(Doctor of Technical Science, Professor, State University of Infrastructure and Technologies)*

*Dmutryy Bulich,
(Postgraduate student, State University of Infrastructure and Technologies)*

*Mykola Radkevich,
(Postgraduate student, State University of Infrastructure and Technologies)*

ANALYSIS OF METHODS FOR THE EXTENSION OF WAGON SERVICE LIFE

In the article the authors consider the most common methods of extending the service life of wagons, namely: control tests and methods of non-destructive testing. The task of control tests is an experimental verification of the conformity of the parameters of the strength of the design of the wagon to the requirements of normative documents. The control tests include: static vertical strength tests, dropping from wedges, typical collision strength tests. Performing non-destructive testing of properties and indicators of the object of control should not lead to its destruction or violation of the suitability of the object for use and operation. Methods of non-destructive testing are classified according to the following features: the nature of the interaction of physical fields or substances with the controlled object, primary informative indicators, methods of obtaining primary information. In the study of the technical condition of knots and parts of wagons, only 4 methods of non-destructive control are most widely used: visual, capillary, magnetopowder, ultrasonic (ultrasonic thickness gauging).

According to the results of the analysis in the article, one can highlight the disadvantages and advantages of control tests. The main advantage should include the possibility of distributing the results to a batch of wagons of one model and the year of construction, the main drawback - it is quite lengthy to conduct control tests (1-2 months) and decryption of the results (2-3 months).

Having analyzed the methods of non-destructive testing, it has been shown that they enable to instantly determine the technical condition of the wagon and extend the service life or eliminate it from operation. The most effective and unpretentious non-destructive control method is MT because it, unlike the PT method, detects sub surface defects (up to 2 mm from the surface) and does not have the requirements for the surface roughness of the object of control, which in turn does not require the operator Conduct control of the definition of false defects.

Keywords: wagon, life extension, methods.

УДК 629.424:[621.436:504.61]

Капіца Михайло, д. т. н.

(професор завідувач кафедри «Локомотиви» ДНУЗТ)

Мартишевський Михайло, к. т. н.

(доцент кафедри «Локомотиви» ДНУЗТ)

Зеленько Юлія, д. т. н.

(професор, завідувача кафедрою «Хімія та інженерна екологія» ДНУЗТ)

Бойченко Андрій

(завідуючий Галузевою науково-дослідною лабораторією «Охорона навколишнього середовища на залізничному транспорті» ДНУЗТ)

Джус Олег, магістр

(завідувач лабораторії залізнично-транспортних досліджень Львівського науково-дослідного інституту судових експертиз)

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ТЕПЛОВИЗНИМИ ДВИГУНАМИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Особливістю залізничної галузі є цілодобова робота рухомого складу і виробничих об'єктів (вагонних і локомотивних депо, котелень і інших об'єктів), які обслуговують перевізний процес, і є потенційними забруднювачами навколишнього середовища. Результатом такої роботи є погіршення екологічного стану, що формує значні еколого - економічні ризики на фоні посилення екологічних вимог та імплементації природоохоронних директив Європейського Союзу.

Ключові слова: *двигуни внутрішнього згорання, рухомий склад, пересувні джерела забруднень, навколишнє середовище, еколого – економічні ризики, екологічні вимоги, тепловозний парк, шкідливі викиди, довкілля, відпрацьовані газы, залізничні пересувні джерела забруднення.*

Вступ. Транспортний комплекс в цілому, в тому числі і залізничний транспорт з його інфраструктурами, здійснює негативний вплив на стан навколишнього середовища. При цьому, до основних джерел шкідливих викидів на залізничному транспорті, відносяться як стаціонарне – технологічне обладнання та енергоустановки, так і пересувні джерела – двигуни внутрішнього згорання рухомого складу. При цьому треба зазначити, що частка впливу залізничного транспорту на атмосферу, в порівнянні з автомобільним, суттєво менша, оскільки він є найбільш економічним по витраті палива на одиницю транспортної роботи [1, 2].

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-12

Особливістю залізничної галузі є цілодобова робота рухомого складу і виробничих об'єктів (вагонних і локомотивних депо, котельні і інших об'єктів), які обслуговують перевізний процес і являються потенційними забруднювачами навколишнього середовища. В даний час, незважаючи на високий рівень розвитку екологічно-безпечних технологій, триває інтенсивний вплив господарської діяльності будь-якої галузі на навколишнє середовище. Результатом цього є погіршення екологічного стану, що формує значні еколого – економічні ризики на тлі посилення екологічних вимог та імплементації природоохоронних директив Європейського Союзу.

Постановка проблеми. Компонентний склад відпрацьованих газів дизельних двигунів характеризується сумішшю газів, парів, крапель рідин і дисперсних твердих часток. Всього відпрацьовані гази двигунів внутрішнього згорання містять близько 280 з'єднань, більшість яких є нетоксичними. Токсичність відпрацьованих газів ДВЗ характеризується наявністю наступних сполук: оксиди азоту NO_x , монооксид вуглецю CO , термічно недоокиснені вуглеводні CH , дисперсні тверді частинки, основним компонентом яких є сажа, а також оксиди сірки, альдегіди, продукти конденсації і полімеризації. Крім продуктів згорання палива, у відпрацьованих газах дизелів присутні продукти згорання мастила і речовини, що утворюються з присадок до палива і мастила.

Серед всіх споживачів палива саме ДВЗ тепловозного парку локомотивного господарства, в першу чергу, в силу специфіки своєї роботи, є головними джерелами шкідливих викидів в навколишнє середовище на залізничному транспорті. На їх частку припадає 30% викидів CO , 42% викидів NO_x , близько 16% викидів SO_x і 21% частинок сажі (в перерахунку на C). Таким чином, основна кількість викидів шкідливих речовин припадає на оксиди азоту.

Отже, проблеми негативного впливу техніки на навколишнє середовище, не дивлячись на постійні намагання конструкторів, технологів та спеціалістів з експлуатації тягового рухомого складу (ТРС), нажаль, не зменшуються.

Мета: розглянути та запропонувати можливі шляхи екологізації тепловозних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ).

Матеріали та методи дослідження. Причини різні і спеціалістам відомі, але автори своєю статтею хочуть звернути увагу контролюючих органів на необхідність створення методологічного апарату для забезпечення об'єктивності оцінки негативного впливу пересувних джерел на довкілля, зокрема адекватного визначення якісних та кількісних параметрів викидів від ДВЗ локомотивів. Поки що невідомо, в яку сторону зміняться на практиці сумарні абсолютні величини «екологічних відрахувань» відповідних підприємств локомотивного господарства залізниць України, чи промислових підприємств залізничного транспорту (ППЗТ), що експлуатують тепловози. Мова буде йти виключно про об'єктивність кількісної оцінки, без можливих пропозицій активного впливу на технічний стан силових установок тепловозів.

В чому ж складність такої оцінки для тепловозів?

З однієї сторони це велика кількість режимів роботи силової установки з різним рівнем потужності, а з другої – кожний режим характерний різною інтенсивністю шкідливих викидів.

Авторами для практичної демонстрації запропонованої методики наведено інформацію по трьох типах ДВЗ магістральних тепловозів: 14Д40 (тепловози серії

M62), 1A5Д49 (2ТЭ116) і 10Д10 (2ТЕ10В) [3], де всі перелічені, в якості прикладу, тепловози сьогодні експлуатуються.

На рис. 1–4 представлені графіки залежностей величини питомої кількості викидів на одиницю виконаної роботи [г/(кВт·год)] в відпрацьованих газах дизелів магістральних тепловозів. Для дизелів маневрових тепловозів (наприклад, ЧМЭЗ, ТЭМ2 і інші) графіки будуть мати принципово такий же вигляд. Представлені графіки стосуються викидів вуглецю, окису вуглецю, окису азоту і двоокису азоту.

Кількісна розрахункова оцінка викидів може бути виконана і для інших типів ДВЗ, але отримання залежностей типу (рис. 1–4) вимагає попередніх досліджень на реостатному стенді локомотивного депо або ТРЗ (тепловозоремонтних заводів) з застосуванням відповідної контролюючої апаратури.

Оскільки остаточно інформація стосовно кількості шкідливих викидів повинна мати не питому [г/(кВт·год)], а абсолютну величину [кг], то в розрахункових математичних виразах присутність таких характерних для ДВЗ параметрів, як «потужність» і «час» має бути обов'язковою.

«Потужність» для тепловозів на графіках подається в вигляді такого аргументу як «позиція КМ» і представляє індивідуальну або усереднену інформацію про конкретний (за номером) чи усереднений (за серією) дизель.

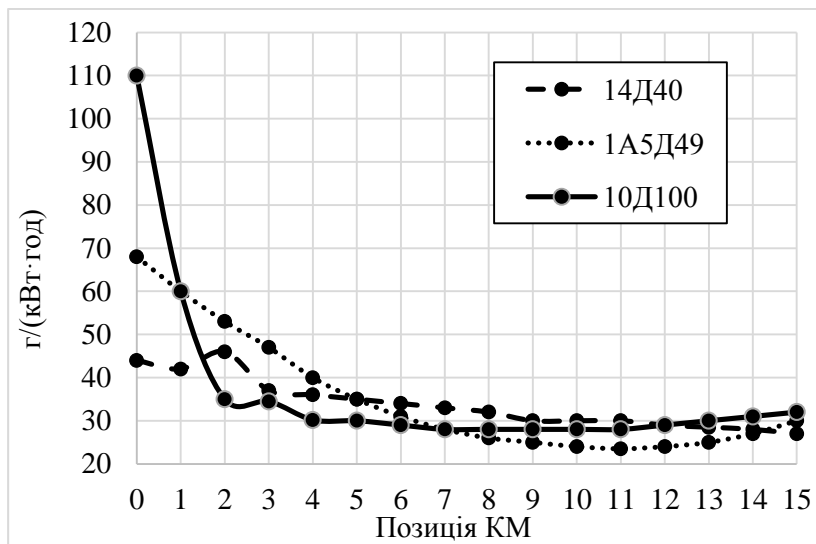


Рис. 1. Питома кількість вуглецю (С) у відпрацьованих газах

«Час» з точки зору конкретного розподілу бюджету робочого фізичного часу тепловоза має характер статистичного матеріалу стосовно конкретного (за номером) локомотива даної серії.

Специфіка характеру розподілу робочого часу тепловоза у запропонованій методиці не є принциповим параметром, а залежить від роду служби локомотива і під час аналітичної оцінки сприйматися виключно кількісно, у вигляді зафіксованих хронометражем проміжків фізичного часу, віднесених до всього бюджету.

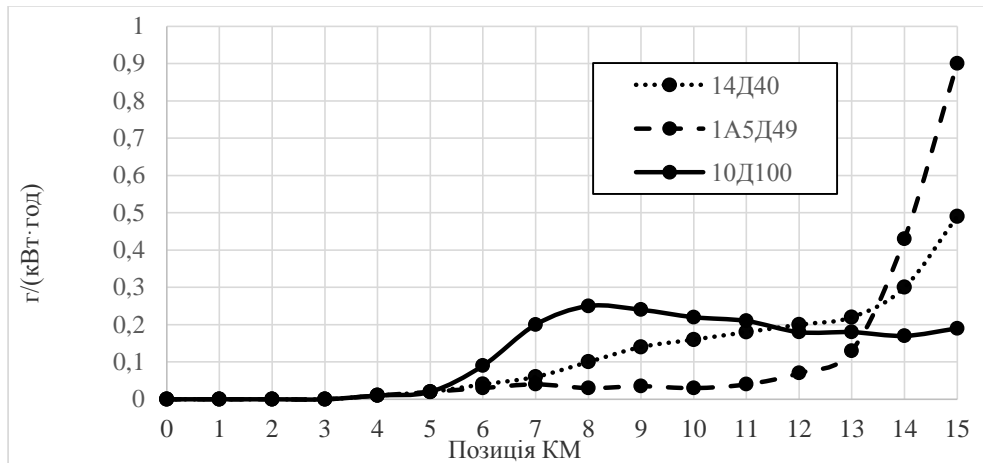


Рис. 2. Питома кількість окису вуглецю (СО) у відпрацьованих газах

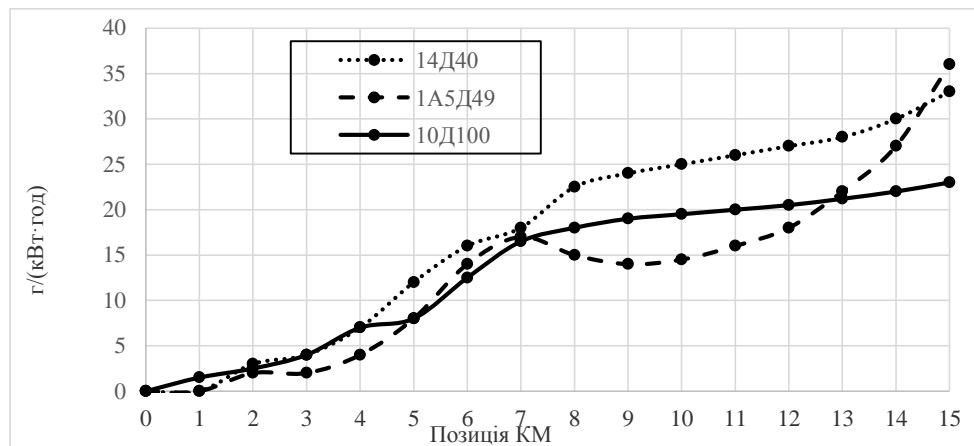


Рис. 3. Питома кількість окису азоту (NO) у відпрацьованих газах

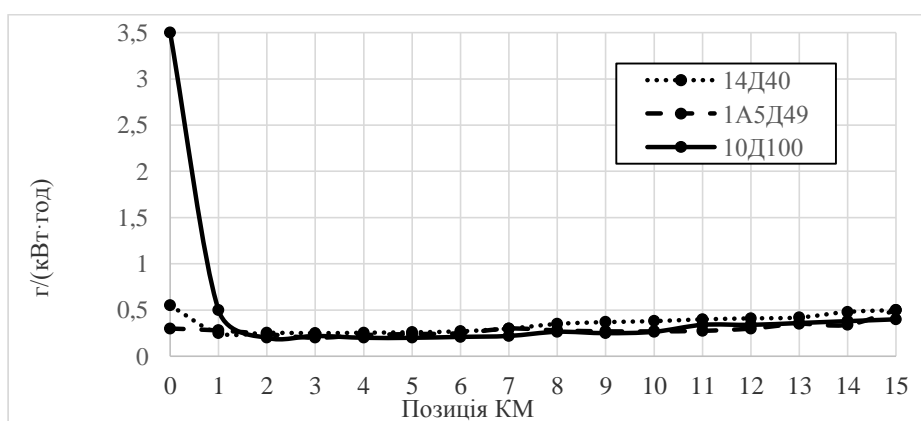


Рис. 4. Питома кількість двоокису азоту (NO₂) у відпрацьованих газах

Таким чином, сумарна маса шкідливих викидів (кг) конкретної j -ої речовини може бути визначена за формулою:

$$M_{j\Sigma} = 10^{-3} \cdot \sum_0^k m_i \cdot N_i \cdot \tau_i \quad (1)$$

де $M_{j\Sigma}$ – сумарна маса шкідливих викидів конкретної j -ї речовини за контрольований бюджет робочого часу, год.;

i – номер позиції КМ;

k – кількість позицій КМ підконтрольного тепловоза; для магістральних $k=15$; для маневрових – $k=8$; позиція «0» відповідає режиму холостого ходу;

m_i – питома кількість (інтенсивність викиду) шкідливої речовини на i -й позиції КМ, г/(кВт-год);

N_i – потужність дизель-генератора (ЛЕУ) тепловоза на i -й позиції КМ, кВт;

τ_i – фізичний час (згідно з показаннями хронометра) роботи дизеля на i -й позиції КМ, год.

Зазначимо, що в формулі 1 і в таблиці використані вихідні дані двох видів: технічні і статистичні. Вихідні дані технічного характеру можна обрати з паспортних характеристик тепловоза (N_i) конкретної серії або отримати в ході цільової паспортизації (m_i) конкретного дизеля (за номером) або дизелів тепловозного парку (за серією) в ході випробувань на реостатному стенді.

Вихідні дані статистичного характеру (τ_i) можливо отримати реально - шляхом індивідуального встановлення на тепловозах контрольних реєстраційних хронометрів на постійній чи тимчасовій основі.

Приклад демонстраційного розрахунково-експериментального визначення сумарної маси шкідливого викиду за добу (в даному випадку – вуглецю) приведено в таблиці 1.

Вихідні дані стосовно потужності ЛЕУ (кВт) і часу роботи (год.) за позиціями КМ на протязі доби (також за конкретними позиціями) наведені з літературних джерел [4]. В таблиці 1, наприклад, ці дані відносяться до магістрального тепловоза серії 2ТЭ10В.

Слід зазначити, що інтервал «доба» може бути замінено любым контрольованим інтервалом («поїздка», «місяць»).

Наведені дані (табл.1) демонструють, що добовий викид тільки вуглецю (сажі) з вихлопними газами дизеля 10Д100 (силової установки секції магістрального тепловоза 2ТЭ10В), згідно з наявними вихідними даними і результатами аналітичних розрахунків, складе 441 кг. Усереднено інтенсивність викиду вуглецю з вихлопними газами зазначеного тепловозного дизеля складе 18,4 кг/год.

Виникає питання: якого обсягу фінансів повинна вимагати держава від власника ТРС в якості екологічних податків та штрафних санкцій для «компенсації шкоди» навколишньому середовищу?

Таблиця 1. Приклад розрахунку сумарної маси викидів вуглецю дизелем 10Д100 за контрольований бюджет робочого часу (24 год.)

ПКМ	Потужність ЛЕУ, кВт	Час роботи дизеля, год.	Питома кількість (інтенсивність викидів), кг/(кВт·год)	Маса викидів (С), кг
1	2	3	4	5
0 (х.х.)	24	11,96	110	31,6
1	147	0	60	0,0
2	268	0,46	35	4,3
3	430	0,69	34,5	10,2
4	577	0,81	30,2	14,1
5	750	0,58	30	13,1
6	900	0,81	29	21,1
7	1040	0,69	28	20,1
8	1217	1,04	28	35,4
9	1386	1,15	28	44,6
10	1544	1,73	28	74,8
11	1706	1,27	28	60,7
12	1830	0,62	29	32,9
13	1934	0,46	30	26,7
14	2074	0,35	31	22,5
15	2200	0,41	32	28,9
Всього за час роботи:				441

Об'єктивної відповіді чисто економічного характеру, згідно діючого національного законодавства сьогодні не існує, так як поки не можливо формалізувати всі взаємодіючі фактори даної складної системи. Задля вирішення даної проблеми авторами застосовуються принципи системного аналізу з аналітичними та експертними оцінками.

Так, конкретна інформація стосовно викидів вуглецю дизелем 10Д100, що використовується для прикладу розрахунку (рисунок 1) – є усередненою, оскільки парк тепловозів може мати різну якість налаштування силової установки і різний ступінь зносу елементів двигуна внутрішнього згорання.

Якщо прийняти питомі величини викидів за «найкращі», тобто «заводські», то розрахункова величина добового викиду вуглецю (441 кг) при зафіксованому розподілі бюджету робочого часу ЛЕУ буде найменшою. Таке твердження буде справедливим і для інших екологічно шкідливих викидів (СО, NO, NO₂ і т.і.)

Шкідливі речовини, що виділяються при згорянні палива різного якісного складу у двигунах, залежно від механізму їх створення можна розділити на три основні групи [3]:

1) продукти повного (діоксиду вуглецю СО₂) та неповного згорання (оксид вуглецю СО, неспалені вуглеводні С_nН_m, в тому числі поліциклічні ароматичні, сажа або тверді частинки);

2) оксиди азоту NO_x, механізм створення яких безпосередньо непов'язаний (або

пов'язаний дуже мало) з процесом згоряння палива; викиди NO_x , що обумовлені, головним чином, реакціями окислення атмосферного азоту киснем при високих температурах (за термічним механізмом);

3) речовини, викиди яких пов'язані, головним чином, зі вмістом у паливі сірки, сполук свинцю, золи (що містить різні важкі метали).

Шкідливість і агресивність викидів ДВЗ в залежності від природи виникнення різна.

Так, монооксид вуглецю (CO) дуже токсичний навіть у невеликих концентраціях, оскільки цей чадний газ міцно зв'язується з гемоглобіном крові, позбавляючи його здатності переносити кисень до органів людини. Вміст CO у викидах вважається одним із найважливіших показників технічного рівня й конкурентоздатності ДВЗ (у бензинових двигунах вміст CO у викидах у 10-12 разів вищий ніж у дизельних).

Досить розповсюджені й такі сполуки азоту антропогенного походження, як його оксиди – від закису до двооксиду азоту (в цілому – NO_x), що утворюються при спалюванні палива у камерах згоряння ДВЗ. Чим вища температура робочого тіла у циліндрах двигунів, тим більше в них створюється оксидів азоту. Розчиняючись у вологому середовищі, оксиди азоту утворюють азотну й азотисту кислоти, які у значній мірі впливають на кислотність опадів, погіршуючи екологічну чистоту господарської продукції сільського господарства, призводять до некротичних явищ фітоценозу, спричиняють отруєння, ряд небезпечних захворювань дихальної та імунної системи людини.

Головна мета екологізації ДВЗ – активна спроба збереження екологічної рівноваги. З цієї точки зору, токсичність викидів ДВЗ (токсична характеристика) розглядається, як діагностичний параметр технічного характеру, без оцінки якого саме діагностування неможливе.

Застосування даних табл. 1 (колонки 1 і 5) з похідною гістограмою розподілу викидів (рис. 5), дає можливість візуалізації величини усередненого експлуатаційного впливу тепловозного ДВЗ на навколишнє середовище в частині маси викидів вуглецю. Виявляється, що режими «холостого ходу» (нульова позиція КМ) абсолютно сумарні за кількістю викидів практично з усіма режимами тяги тепловоза.

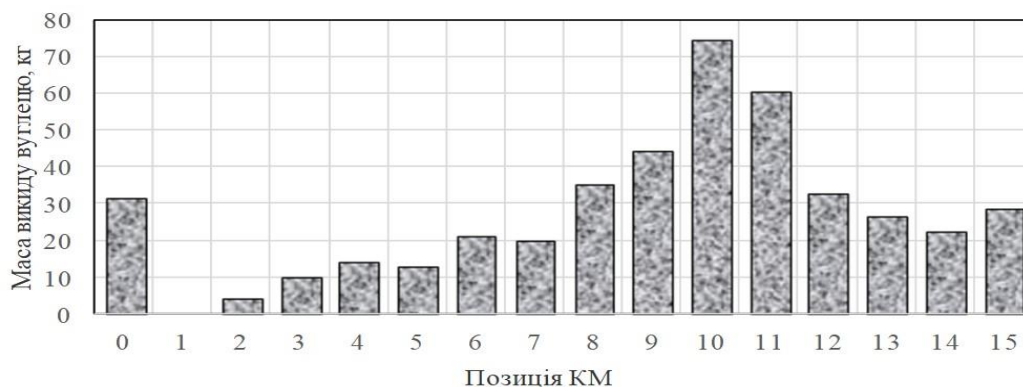


Рис. 5. Розподіл викидів вуглецю до навколишнього середовища дизелями 10Д100 тепловозів 2ТЭ10В

Одним зі методів оцінки є вимірювання контрольованого параметру з подальшим порівнянням отриманого значення з аналогічним еталонним показником. Більш інформативними є не абсолютні, а питомі значення технічних параметрів: швидкість, потужність, тиск і т. ін.

В нашому випадку, наприклад, це інтенсивність викидів тієї чи іншої шкідливої речовини на одиницю виконаної ЛЕУ роботи [г/(кВт-год)].

Як свідчить досвід провідних фірм з дизелебудування, екологізація ДВЗ виходить за межі власне захисту навколишнього середовища.

Виходячи з проблем екологізації двигунів, можна сформулювати деякі реальні напрямки їх вирішення [5]. Найбільш привабливими з них була б цільова фінансова підтримка з боку держави та залучення сторонніх інвестицій для виконання науково-дослідних та науково-виробничих робіт.

Щодо конкретних еколого-економічних важелів: з 2011 року діє загальнодержавний екологічний податок [6] взамін колишнього збору за забруднення навколишнього природного середовища [7]. Враховуючи останні тенденції в податковій політиці європейських країн щодо необхідності перенесення податкового навантаження на екологічні платежі, у Податковому кодексі збільшено ставки екологічного податку, а також запроваджено оподаткування екологічним податком викидів двоокису вуглецю (п. 243.4 ст. 243 Кодексу), джерелом утворення якого є спалювання всіх видів палива. При цьому спрощено порядок розрахунку екологічного податку шляхом уніфікації системи підвищувальних коефіцієнтів та врахування їх у базових ставках податку; здійснено перехід до стягнення податку з пересувних джерел забруднення через податкових агентів (оптових та роздрібних продавців палива) [8]. Також, до кола платників екологічного податку, окрім суб'єктів, що були платниками збору за забруднення навколишнього природного середовища (наприклад УЗ), включено всіх, хто використовує паливо для транспортних засобів (суб'єкти господарювання, громадяни України, іноземці та особи без громадянства, які користуються транспортними засобами). Податковим кодексом встановлюється сплата податку за викиди в атмосферне повітря забруднювальних речовин пересувними джерелами забруднення через податкових агентів, які здійснюють оптову та роздрібну торгівлю паливом. Отже, екологічний податок сплачується платниками податку під час придбання палива, а податковими агентами, які реалізують паливо, цей податок утримується і сплачується до бюджету.

Разом з цим виникає низка питань щодо об'єктивності методологічного забезпечення на якому базується монетизація реальних збитків довікллю. Також, слід зазначити, що платники податку у разі використання ними палива не складають звітів з цього податку.

Отже, для обраних типів ДВЗ, застосовуючи вказані вище методики розрахунків еколого-економічні показників отримано наступні результати (табл. 2 – 4).

Як сказано вище, під екологізацією двигунів [5] розуміється – розробка та впровадження ефективних заходів для суттєвого зниження токсичності викидів вихлопних газів сучасних ДВЗ. Проблема екологізації ДВЗ в Україні набула особливої гостроти, оскільки вітчизняні двигуни за еколого - економічними показниками ще суттєво поступають сучасним двигунам світового рівня.

Як розуміти поняття «суттєво»? Вираз не є технічним і не дозволяє виконати відповідне порівняння. Наскільки досконалими є вітчизняні тепловозні ДВЗ за

критеріями економічності і екологічності? Названі критерії можуть значно відрізнитися в ході їх дослідження «на стенді» і «на полігоні» - це підтверджується широким колом фахівців [9, 10].

Таблиця 2. Розрахунки питомих показників викидів від ДВЗ 14Д40 за основними параметрами

Позиція КМ	Потужність дизеля	Добовий бюджет робочого часу	Питома витрата палива	Витрата палива	Питомий викид (ВУГЛЕЦЬ)	Маса викидів	Плата за викиди	Питомий викид (ОКИС УГЛЕЦЮ)	Маса викидів	Плата за викиди	Питомий викид (ОКИС АЗОТУ)	Маса викидів	Плата за викиди	Питомий викид (ДВООКИС АЗОТУ)	Маса викидів	Плата за викиди
	кВт	год.	к (кВт- год)	кг	г/ (кВт- год)	кг	грн.	г/ (кВт- год)	кг	грн.	г (кВт- год)	кг	грн.	г (кВт- год)	кг	грн.
0 (х.х.)	26	11,96	0,251	78	43	13,4	1,24	0	0	0	0	0	0	0,5	0,16	0,38
1	147	0	0,24	0	41	0	0	0	0	0	1	0	0	0,25	0	0
2	250	0,46	0,234	27	47	5,4	0,5	0	0	0	2	0,2	0,56	0,25	0,03	0,07
3	350	0,69	0,23	56	38	9,2	0,85	0	0	0	4	1	2,37	0,25	0,06	0,15
4	450	0,81	0,227	83	37	13,5	1,25	0,01	0	0	7	2,6	6,26	0,25	0,09	0,22
5	560	0,58	0,224	73	36	11,7	1,08	0,2	0,06	0,01	12	3,9	9,56	0,25	0,08	0,20
6	650	0,81	0,222	117	35,5	18,7	1,73	0,04	0,02	0,00	16	8,4	20,65	0,25	0,13	0,32
7	760	0,69	0,22	115	35	18,4	1,7	0,08	0,04	0,00	17,5	9,2	22,50	0,26	0,14	0,33
8	850	1,04	0,218	193	33	29,2	2,69	0,1	0,09	0,01	22,5	19,9	48,77	0,27	0,24	0,59
9	950	1,15	0,217	237	30	32,8	3,03	0,15	0,16	0,02	24	26,2	64,29	0,29	0,32	0,78
10	1040	1,73	0,216	389	30	54,0	4,99	0,18	0,32	0,03	25	45,0	110,28	0,32	0,58	1,41
11	1110	1,27	0,2155	304	30	42,3	3,91	0,19	0,27	0,02	26	36,7	89,87	0,35	0,49	1,21
12	1200	0,62	0,2155	160	30	22,3	2,06	0,2	0,15	0,01	27	20,1	49,25	0,38	0,28	0,69
13	1300	0,46	0,216	129	29,5	17,6	1,63	0,22	0,13	0,01	28	16,7	41,05	0,4	0,24	0,59
14	1400	0,35	0,217	106	29	14,2	1,31	0,4	0,20	0,02	30	14,7	36,04	0,45	0,22	0,54
15	1470	0,41	0,218	131	28	16,9	1,56	0,5	0,30	0,03	33	19,9	48,76	0,5	0,3	0,74
Всього за добу: 23 год				2198		319,44	29,51		1,75	0,16		224,41	550,22		3,35	8,22
Робота дизеля, кВт-год:			10028													
Всього плата за добу (грн.):			588,11													

Таблиця 3. Розрахунок викидів за усередненими питомими показниками, згідно з методикою (наказ Держкомстату № 452)

Найменування забруднюючої речовини	Питомий викид	Витрата палива - 2,198 т/доба	
		Маса викиду	Плата за викиди
	кг/т	кг	грн.
1	2	3	4
Оксид вуглецю -	45	98,91	9,14
Неметалові леткі органічні сполуки	4,65	10,22	1,42
Метан -	0,18	0,40	0,04
Діоксид азоту -	66,5	146,17	358,38
Сажа -	4,58	10,07	0,93
Оксид азоту -	1,24	2,73	6,68
Аміак -	0,007	0,02	0,01
Вуглекислий газ -	3138	6897,32	2,83
Діоксид сірки -	1,2	2,64	6,47
Бенз(а)пірен -	0,03	0,07	205,81
Всього плата за викиди			591,69

Таблиця 4. Розрахунок викидів за методикою обчислення збору за забруднення навколишнього середовища (наказ Мінекобезпеки України № 162/379 від 19.07.99)

Найменування забруднюючої речовини	Дизель 14Д40	
	Витрата палива – 2,198 т доба	
	Маса викиду	Плата за викиди
	кг/доба	гри.
1	3	4
Вуглець (сажа) -	319,44	29,51
Окис вуглецю (оксид вуглецю) -	1,75	0,16
Окис азоту (оксид азоту) -	224,41	550,22
Двоокис азоту (діоксид азоту) -	3,35	8,21
Всього плата за викиди		588,10

Традиційно всі заводи, що виготовляють ДВЗ для тепловозів останні 50–70 років та вводили їх в експлуатацію, брали за основу отримані результати стендових випробувань. Інформація стосовно екологічності вихлопних газів, приведена на рисунках 1-4, теж відноситься, на нашу думку, до стендових. Накопичено значний досвід екологічного вдосконалення ДВЗ, оскільки провідні світові виробники (на жаль, без нас) традиційно ведуть роботи з їх екологізації [9, 10].

Сьогодні Державна екологічна інспекція при перевірці суб'єктів господарювання, власників пересувних джерел робить припис про їх перевірку посилаючись на вимоги ст. 10 Закону «Про охорону атмосферного повітря». При

цьому загально відомо, що для реалізації такого завдання відповідні підзаконні акти відсутні. Відсутні і конкретні рекомендації та методи: як перевіряти, хто має право перевіряти, з якою періодичністю, якими інструментальними засобами? На даний момент відповіді – відсутні.

При цьому, важливим аспектом є те, що підприємство, що має відповідну матеріально-технічну, і в першу чергу, інструментальну базу може самостійно проводити контроль пересувних джерел згідно з ст. 29 Закону «Про охорону атмосферного повітря», яка передбачає виробничий контроль пересувних джерел викидів.

Разом з цим, згідно Статті 3 Закону «Про метрологію і метрологічну діяльність» вимірювання в галузі охорони навколишнього природного середовища є сферою, законодавчо регульованої метрології – контроль пересувних джерел підпадає під дане визначення, необхідно проводити виключно атестовану лабораторію.

Отже, чому автори акцентують увагу на тепловозних ДВЗ?

По-перше, тепловозні ДВЗ за своєю агрегатною потужністю поступаються, мабуть, лише судновим ДВЗ, що перетворило їх в стабільне і потужне «джерело» екологічних проблем; по друге, нових вітчизняних тепловозних ДВЗ залізниці України і парк ППЗТ не отримують, тобто ще певний проміжок часу вони будуть в експлуатації; по третє, у зв'язку з подальшою імплементацією європейських директив і стандартів може настати момент, коли їх подальша експлуатація без суттєвої модернізації стане неможливою.

По-друге, враховуючи технічний і технологічний стан ремонтного господарства локомотивних депо та соціально-економічні фактори, серйозного удосконалення конструкції тепловозних ДВЗ не передбачається. Офіційні інформаційні ресурси [11] підтверджують, що в інвентарному локомотивному парку ПАТ «Укрзалізниця» 609 магістральних вантажних тепловозів різних серій (2ТЕ116, М62, 2М62в/і, 2ТЕ10в/і), зношеність 100%, а середній вік – 31 рік при нормативному терміні служби – 20 років. Необхідно зазначити, що на даний час Укрзалізницею ведеться закупівля закордонного рухомого складу [11].

По-третє, на території України існують «велетні» залізничного машинобудування та наявна база локомотиворемонтних заводів (Дніпропетровський, Запорізький, Львівський, Полтавський, Івано-Франківський, Гайворонський та Ізюмський). При певних зусиллях, ця історично сформована база з науковців і практиків може стати фундаментом відродження локомотивобудування в Україні на світовому рівні.

Висновки. Таким чином, авторами цієї статті пропонується:

1) удосконалити методику кількісної експлуатаційної оцінки тепловозних «джерел» шкідливих викидів не залежно від роду виконуваної ними транспортної роботи шляхом реалізації можливості встановлення контрольно-діагностичних паливо-екологічних комплексів (КДПЕК), поставлених в свій час в локомотивні депо;

2) провести екологічну оцінку тепловозного парку за місцем їх поточного ремонту (приписки);

3) звернути увагу на стендові паливно-вимірювальні комплекси, що мали б обов'язково бути в складі контрольно-вимірювальних комплектів деповських стендів;

4) провести порівняльні дослідження відповідності показників стендових контрольно-вимірювальних комплексів до виробничих умов експлуатації та запропонувати показник врахування таких розбіжностей;

5) започаткувати програму з моніторингу та розробки нових підходів щодо зменшення впливу залізничних пересувних джерел забруднення на навколишнє середовище;

6) виконати аналіз діючих європейських стандартів щодо нормування та контролю викидів від тепловозних ДВЗ;

7) виконати аналіз еколого – економічних ризиків для УЗ від майбутньої імплементації вказаних європейських екологічних директив і стандартів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тартаковський Е.Д., Грищенко С.Г., Калабухін Ю.Е., Фалендиш А.П. Методи оцінки життєвого циклу тягового рухомого складу залізниць: Монографія. Луганськ: Ноулідж, 2011. 174 с.
2. Фалендиш А.П., Гатченко В.О., Черняк Ю.В., Клецька О.В. Аналіз нормативних вимог, щодо визначення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних двигунів внутрішнього згоряння: зб. наук. праць ДЕГУТ, 2016. Вип. 29, 235 с.
3. Володин А.И., Зюбанов В.З., Кузьмич В.Д. и др. Локомотивные энергетические установки: Учебник для вузов ж.-д. трансп.: ИПК «Желдориздат». 2002. 718 с.
4. Хомич А. З. Топливная эффективность и вспомогательные режимы тепловозных дизелей. 2 изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1987. 271 с.
5. Марченко А.П. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 5. Екологізація ДВЗ. Підручник для студентів ВНЗ, що навчаються за напрямом “Інженерна механіка”, засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. Харків: Видавничий центр НТУ“ХПІ”, 2004.
6. Бублик М.І., Коропецька Т.О. Екологічний податок: конкурентна стратегія “зеленої” економіки України. Національний університет “Львівська політехніка”, 2011.
7. Інструкція про порядок обчислення та сплати збору за забруднення навколишнього природного середовища.
8. Наказ Держкомстату України від 13.11.2008 № 452 «Про затвердження Методики розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів»
9. Stawecki W., Marciniak Z., Pielecha I., Pielecha J.: Problems of exhaust gas emission of modernized diesel locomotives operating in Poland, Combustion Engines 1/2014, pp. 48
10. Szeląg A., Maciołek T.: Rozwiązania techniczne w układach zasilania poprawiające efektywność energetyczną transportu szynowego, Pojazdy Szynowe, 2015
11. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://info.uz.ua>. (дата звернення 04.04.2019).
12. Maciej Andrzejewski, Paweł Daszkiewicz, Jerzy Merkisz, Włodzimierz Stawecki, Dawid Gallas.: Badanie zużycia paliwa oraz emisji związków toksycznych lokomotyw na oporniku wodnym
13. Закон України про охорону атмосферного повітря.
14. Paweł Daszkiewicz, Dawid Gallas, Maciej Andrzejewski, Agnieszka Merkisz-Guranowska, Łukasz Stawecki: Ocena wpływu modernizacji lokomotyw spalinowych na emisję zanieczyszczeń. Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, 2017.
15. Agnieszka Merkisz-Guranowska, Maciej Andrzejewski, Paweł Daszkiewicz, Dawid Gallas, Hanna Stawecka: The impact of the modernization of imported diesel locomotives on pollutant emissions, Pojazdy Szynowe, 2016.

REFERENCES

1. Tartakovsky E.D., Grishchenko S.G., Kalabukhin Yu.E., & Falendish A.P. (2011). *Metodu ocinku gettevoho cuklu tjahovoho ryhomoho sklady [Methods of estimating the life cycle of traction rolling stock of railways]*. Lugansk: View “Noulig” [in Ukraine].
2. Falendish A.P., Gatchchenko V.O., Chernyak Yu.V., & Kletsk O.V. (2016) *Analiz normativnykh vumoh shchodo vuznachennja vukudiv zabrydnjyjuhuu rehovun z vidpracjovanumu hazamu teplovoznuh dvuhyniv vnytrishnjoho zhorannja [Analysis of regulatory requirements for the determination of pollutant emissions with exhaust gases of internal combustion diesel engines]*. Kyiv: Sb. sciences Works DUTUT [in Ukraine].
3. Volodin A.I., Zyubanov V.Z., Kuzmich V.D. (2002). *Lokomotivnue enerheticheskie ystanovki [Locomotive power plants]*. IPC “Zheldorizdat” [in Russian].

4. Khomich A. Z. (1987) *Toplevnaja efektivnostj i vspomahateljnue regumu teplovoznuh dizeliej* [Fuel efficiency and auxiliary modes of diesel diesel engines]. M.: Transport [in Russian].
5. Marchenko A.P. (2004) *Dvugynu vnytrishnjoho zhorannja: Ekolohizacija DVZ* [Internal combustion engines: series of textbooks in 6 volumes. T.5 Environmentalization of ICE] A.F. Shyhevcov (Ed.). Kharkiv: Publishing Center NTU "KhPI" [in Ukraine].
6. Bublik M.I., & Koropetska T.O. (2011). *Ekolohichnij podatok: konkurentna stratehija «zelenoji» ekonomiku Ukrainu* [Ecological tax: competitive strategy of the "green" economy of Ukraine]. National University "Lviv Polytechnic" [in Ukraine].
7. *Instrykcija pro porjadok obchuslennja ta splatu zbory za zabrydnennja navkolushnjoho seredovushcha.*
8. Order of the State Statistics Committee of Ukraine (2008). "On Approval of the Methodology for Calculation of Pollutants and Greenhouse Gas Emissions into the Air from Vehicles".
9. Stawecki W., Marciniak Z., Pielecha I., Pielecha J. (2014). Problems of exhaust gas emission of modernized diesel locomotives operating in Poland, Combustion Engines.
10. Szelağ A., Maciołek T. (2015): Technological rozwiązania w układach zasilania zaślania na naświadczenia energetyczną transportu żywego, Pojazdy Szynowe
11. Access mode: <https://info.uz.ua>.
12. Maciej Andrzejewski, Paweł Daszkiewicz, Jerzy Merkisz, Włodzimierz Stawecki, Dawid Gallas .: Study of fuel consumption and emission of toxic compounds of locomotives on a water resistor [in Polish].
13. Law of Ukraine on the protection of atmospheric air [in Ukraine].
14. Paweł Daszkiewicz, Dawid Gallas, Maciej Andrzejewski, Agnieszka Merkisz-Guranowska, Łukasz Stawecki (2017). Evaluation of the impact of modernization of diesel locomotives on pollutant emissions. Scientific work of the Warsaw University of Technology[in Polish].
15. Agnieszka Merkisz-Guranowska, Maciej Andrzejewski, Paweł Daszkiewicz, Dawid Gallas, Hanna Stawecka (2016). Impact of the diesel engine on the pollutant emissions [in Polish].

Капица Михаил, д.т.н.

(Профессор заведующий кафедрой «Локомотивы» ДНУЖТ)

Мартишевський Михаил, к.т.н.

(Доцент кафедри «Локомотивы» ДНУЖТ)

Зеленько Юлия, д. т. н.

(Профессор, заведующая кафедрой «Химия и инженерная экология» ДНУЖТ)

Бойченко Андрей

(Заведующий Отраслевой научно-исследовательской лабораторией «Охрана окружающей среды на железнодорожном транспорте» ДНУЖТ)

Джус Олег, магистр

(Заведующий лабораторией железнодорожно-транспортных исследований Львовского научно-исследовательского института судебных экспертиз)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ТЕПЛОВОЗНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Особенностью железнодорожной отрасли является круглосуточная работа подвижного состава и производственных объектов (вагонных и локомотивных депо, котельных и других объектов), обслуживающих перевозочный процесс, которые являются потенциальными загрязнителями окружающей среды. Результатом такой работы является ухудшение экологического состояния, формирует значительные эколого-экономические риски на фоне усиления экологических требований и имплементации природоохранных директив Европейского Союза.

Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания, подвижной состав, передвижные источники загрязнения, окружающая среда, эколого-экономические риски,

эколагічныя патрабаванні, тэплавозны парк, шкодныя выбросы, асяродкавага асяроддзя, апрацаваныя газы, жалезнадарожныя перадыжныя крыніцы забруднення.

Kapitsa Mykhailo, Dr. Sc. (professor head of the department "Locomotives" DNUZT)

Martyshevsky Mikhail, Ph.D. (associate professor of the department "Locomotives" DNUZT)

Zelenko Yuliya, Dr. Sc.(professor, head of the department "Chemistry and Engineering Ecology" DNUZT)

Boychenko Andrey(Head of the Branch Research Laboratory "Environmental Protection in Railway Transport", DNUZT)

Dzhus Oleh, Master(Head of the Laboratory of Railway Transport Research Lviv Research Institute of Forensic Expertise)

DETERMINING THE AMOUNT OF HARMFUL EMISSIONS OF DIESEL INTERNAL COMBUSTION ENGINES

The authors insist on creating a methodological apparatus to ensure an objective assessment of the negative impact of mobile sources on the environment, in particular, an adequate determination of the qualitative and quantitative parameters of emissions from internal combustion engines of locomotives. It is not yet known in what direction the absolute values of the «ecological deductions» of the corresponding enterprises of the locomotive facilities of the Ukrainian railways, or industrial railway transport enterprises operating the locomotives will change in practice. The talk is exclusively about the objectivity of the quantitative assessment, without possible proposals of an active influence on the technical condition of the power plants of diesel locomotives. The authors proposed to improve the technique of quantitative operational assessment of diesel “sources” of harmful emissions, regardless of the type of transport work they perform, by implementing the possibility of installing control and diagnostic fuel-ecological complexes (CDFEC) at the time installed in locomotive depots, to carry out an environmental assessment of the diesel locomotive fleet their maintenance (registration), pay attention to the bench fuel-measuring complexes, which must necessarily be composed with control and measuring facilities of depot stands, conduct comparative studies on the conformity of bench test and measurement complexes to the production conditions of operation and propose an indicator to take into account such differences, start a monitoring program and develop new approaches to reduce the impact of railway mobile sources of pollution on the environment; analysis of the current European standards for rationing and monitoring emissions from diesel locomotives and to perform analysis of ecologic - economic risks for in the future implementation of these EU environmental directives and standards.

Keywords: *internal combustion engines, rolling stock, mobile sources of pollution, environment, environmental and economic risks, environmental requirements, diesel locomotive facility, harmful emissions, environment, exhaust gases, railway mobile sources of pollution.*

УДК 629.463.65

*Олексій Вікторович Фомін, д.т.н., доц.,
(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний
університет інфраструктури та технологій, м. Київ)
Павло Миколайович Прокопенко,
(аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний
університет інфраструктури та технологій, м. Київ)
Світлана Юрїївна Сапронова, д.т.н., проф.,
(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний
університет інфраструктури та технологій, м. Київ)
Анна Миколаївна Фоміна,
(аспірант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та
підійомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний
університет ім. В.Даля, м. Сєверодонецьк)*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКА КОЕФІЦІЄНТА СТІЙКОСТІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Забезпечення безпеки руху є одним з найважливіших вимог до роботи залізниць. Серед аварій і катастроф на залізничному транспорті найбільшу небезпеку становить сходження з рейок, так як це може призвести до тяжких наслідків. Причини сходів вагонів з рейок пов'язані з несправностями рухомого складу, відхиленнями від норм утримання колії, незадовільна динаміка поїзда також з умовами їх експлуатації.

***Ключові слова:** легковагові вантажні вагони, ходові динамічні випробування, швидкість, коефіцієнт запасу стійкості, сход, несправність, динаміка, комп'ютерне моделювання.*

Вступ. Суттєвим недоліком роботи залізничного транспорту України є обмеження швидкості руху поїздів з вантажними вагонами в порожньому стані, які обладнані візками моделі 18-100.

У числі причин сходів коліс вагонів з рейок, пов'язаних з несправностями ходової частини вагонів, можна назвати наступні: злам бічних рам і надресорних балок візків, злам осей і коліс, несправності роликів підшипників буксового вузла, знос елементів фрикційних гасителів коливань і вузла обпирання кузова на надресорні балки, неприпустимі відхилення розмірів візків. Також важливою причиною є негативне зменшення тари вагона більш ніж як на 10% від встановленої заводом виробником.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-13

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

Серед вагонів, які частіше за все сходили порожні вагони-платформи моделей 13-4012, вагони-хопери для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01, вагони-цистерни моделі 15-1443.

За результатами аналізу обставин сходів порожніх вагонів за період 2016-2018 рр. яких сталося більше 70 випадків тільки на регіональній філії «Південно-західна залізниця» встановлено, що наслідками сходів є серйозні пошкодження рухомого складу, залізничної колії та інших елементів інфраструктури залізниці, зниження швидкості та порушення графіку руху поїздів.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Необхідно сформулювати необхідність проведення даних ходових динамічних випробувань. Проведені теоретичні та практичні дослідження з визначенням та оцінкою показників динамічних та ходових якостей вагона платформи, визначення коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок, що в свою чергу дозволить визначити безпечну швидкість руху вагонів платформ вагонів в порожньому стані. На сьогоднішній день проблемі з визначення безпечної швидкості руху та визначенню коефіцієнта запасу стійкості від сходу вагонів присвячено значну кількість наукових праць.

Сучасні дослідження, присвячені питанням зниження вартості вантажних вагонів, в основному спрямовані на поліпшення їх конструкцій за рахунок вдосконалення процедур їх проектування або впровадження нових матеріалів. Зокрема, стаття [4] присвячена висвітленню запропонованих інновацій для конструкцій піввагонів «залізничного простору 1520 мм» і особливостей їх проектування, однак в ній обмежено представлені можливості застосування таких інновацій для піввагонів-хоперів. Автори роботи [5] відображають певні ними перспективні напрямки конструювання кузовів залізничних напіввагонів з метою поліпшення техніко-економічних показників, але не розкривають економічного потенціалу ділового використання спеціального дорогого вагонного прокату немірної довжини. У роботах [8, 9] представлені нові підходи до вдосконалення динамічних розрахунків вагонних конструкцій і отримані на їх основі більш точні результати. Так, в роботі [8] описані характерні риси та результати динамічних характеристик вагонів-платформ. А робота [9] присвячена представленням запропонованих методів визначення динамічних характеристик для різних виконань несучих вагонних конструкцій. Ряд сучасних публікацій присвячені конструкціям вантажного вагонобудування нового покоління, які спроектовані з використанням передових матеріалів та технологій. Наприклад, в [6] автори відображають результати комп'ютерного моделювання прототипу вантажного вагона з основними несучими елементами, виконаними без надлишкових зв'язків. Однак представлені в роботах [5, 8, 9] підходи орієнтовані на використання цілісних профілів і не дозволяють з достатньою точністю розрахувати впровадження стикованих варіантів виконання балок в різних вузлах вантажних вагонів. В роботі [7] представлені особливості запропонованих авторами інновацій в модулі ходової частини, також відображено їх вплив на модуль кузова але без урахування варіації його виконань. У статті [8] опубліковані результати робіт з генерування перспективних конфігурацій профілів, які можуть бути використані у

виробництві різних видів рухомого складу. Але автори не пропонують даних про можливість створення перспективних профілів в стикованих по довжині виконаннях. Робота [10,12] висвітлює запропоновані методи аналізу залізничних конструкцій майбутнього і способи розширення їх функціональності, проте в ній, так само як і в статті [6], відсутні дані про підвищення ділової функціональності немірних спеціальних профілів. Також важливу роль в сучасному вагонобудуванні грають відповідні підходи в проектуванні, наприклад в статті [11] представлений розроблений методологічний апарат для прийняття оптимальних рішень. Але він так само не надає вичерпних можливостей щодо формування оптимальних по довжині і конфігурації зчленованих балок. У роботах [13, 14, 15] представлені особливості та результати проведених досліджень з визначення конструктивних складових вантажних вагонів для створення спрямованого напружено-деформованого стану (на основі принципу попередніх напружень). Роботи [15,16,17] відображають результати впровадження круглих труб в конструкцію вантажного вагона та дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі.

З урахуванням вищесказаного можна зробити висновок, що результати аналізу інформаційних джерел з досліджуваного питання свідчать про відсутність достатніх методичних і практичних матеріалів про визначення коефіцієнту стійкості колеса від сходу з рейок.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи – вирішення науково-практичного завдання зі створення теоретичних положень визначення безпечного значення коефіцієнта стійкості легковагових вантажних вагонів в складі поїзда та експериментальне їх підтвердження.

При цьому основними чинниками, які безпосередньо впливають на коефіцієнт стійкості, є вертикальні та повздожні зусилля, які відповідно залежать від власної ваги вагонів та діючої в повздожньому напрямку ваги поїзду. Тому головними напрямками з визначення коефіцієнту стійкості було обрано варіювання місцями розташування вагонів в поїзді та зменшення їх власної ваги (тари).

Для досягнення поставленої мети було визначено та вирішено наступні задачі:

- розробка теоретичних положень проведення досліджень;
- проведення ходових динамічних випробувань з визначенням показників динамічних якостей вагона при його русі та скидання з клинів з визначенням та оцінкою власних частот коливань.
- аналіз результатів та визначення рекомендацій.

Матеріали та методи дослідження. Об'єктами випробувань є вантажні вагони: вагон-платформа моделі 13-4012 (рис. 1), вагон-хопер для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01 (рис. 2) та вагон цистерна моделі 15-4443 (рис. 3).



Рис. 1. Універсальна вагон платформа моделі 13-4012



Рис. 2. Вагон-хопер для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01



Рис. 3. Вагон-цистерна моделі 15-1443

При випробуваннях скидання з клинів визначається частота коливань і напруження в надресорній балці та боковині рами візка, динамічні і статичні прогини ресорного підвішування візка.

У процесі ходових динамічних випробувань вагона вимірюються, аналізуються і оцінюються такі величини і показники:

- вертикальні і горизонтальні (поперечні) прискорення обресорних мас вагону в зоні підп'ятника вагона;
- динамічні бічні (рамні) сили, що діють на букси колісних пар;
- коефіцієнт стійкості колеса від сходу з рейок;
- коефіцієнти вертикальної динаміки обресорених та не обресорених мас;
- коефіцієнт горизонтальної динаміки (відношення бічної рамної сили до осьового навантаження);
- сили які діють на дослідний вагон;
- швидкості руху.

Вибір точок для визначення частот коливань та динамічних напружень при випробуваннях по скиданню з клинів виконується на підставі аналізу результату розрахунку напружено-деформованого стану несучої конструкції вагонів.

Місця встановлення тензодатчиків при випробуваннях скидання з клинів та ходових динамічних випробуваннях



Рис. 4. Схема установки і з'єднання тензорезисторів для визначення коефіцієнтів вертикальної динаміки в перетинах надресорної балки візка вантажного вагона

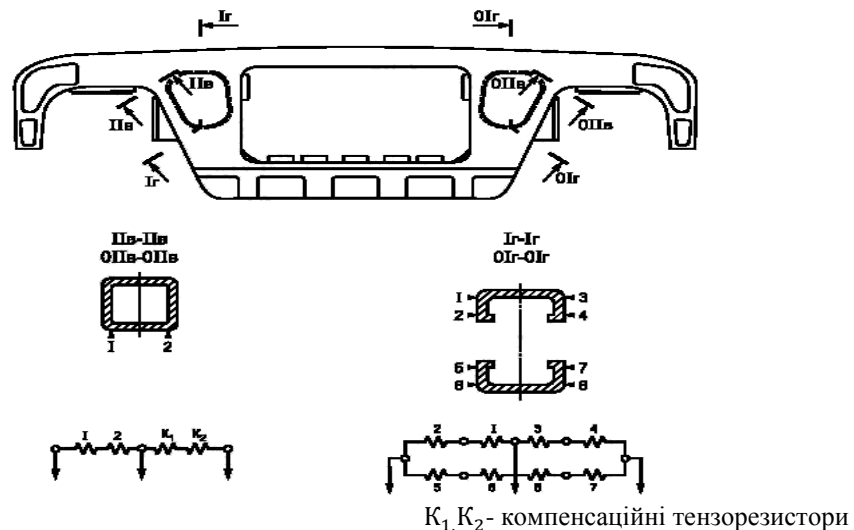


Рис. 5. Схема установки і з'єднання тензорезисторів для вимірювання горизонтальних (рамних) сил (перетину з індексом «Г») і вертикальних сил

Ходові динамічні випробування проводять методом реєстрації процесів у контрольних точках деталей візка під час дослідних поїздок у діапазоні експлуатаційних швидкостей, якщо це не загрожує безпеці руху. За результатами вимірювань виконують розрахунки, оцінюють ходові динамічні якості.

Реєстрація вимірюваних процесів ходових динамічних випробувань проводиться на прямих і кривих ділянках колії і стрілочних переводах у всьому проектному діапазоні допустимих експлуатаційних швидкостей.

Ходові динамічні випробування проводять під час дослідних поїздок у реальних умовах експлуатації з реєстрацією динамічних процесів і деформацій у контрольних точках.

Перед початком випробувань виконується зважування дослідних вагонів.

Проводять підготовку візів моделі 18-100:
 – підбір тензорезисторів;
 – підготовку місць установки тензорезисторів, на елементах конструкції візків згідно з рисунків 4, 5;
 – наклею тензорезисторів;
 – тарування візків;
 – встановлення тензометричних автозчепних пристроїв;
 – монтаж з'єднувальних кабелів до тензорезисторів і апаратури, що реєструє;
 – налагодження та перевірку роботоздатності апаратури.

Етапи проведення випробування:

I етап: дослідний зчеп: локомотив – вагон-платформа моделі 13-4012 – вагон-цистерни моделі 15-1443 – динамометричний вагон – вагон-хопер зі знятою кришею моделі 19-758-01 (рис. 7), швидкість від 30 км/год до 60-80 км/год з кроком 5-10 км/год.



Рис. 7. Схема розташування рухомого складу під час випробувань

II етап: поїзд: Варіант 1 – локомотив – 6 порожніх напіввагонів – дослідний зчеп – 30 завантажених напіввагонів; Варіант 2 локомотив – 15 завантажених напіввагонів – дослідний зчеп – 6 порожніх напіввагонів – 15 завантажених напіввагонів; Варіант 3 – локомотив – 30 завантажених напіввагонів – дослідний зчеп – 6 порожніх напіввагонів (рис. 8).

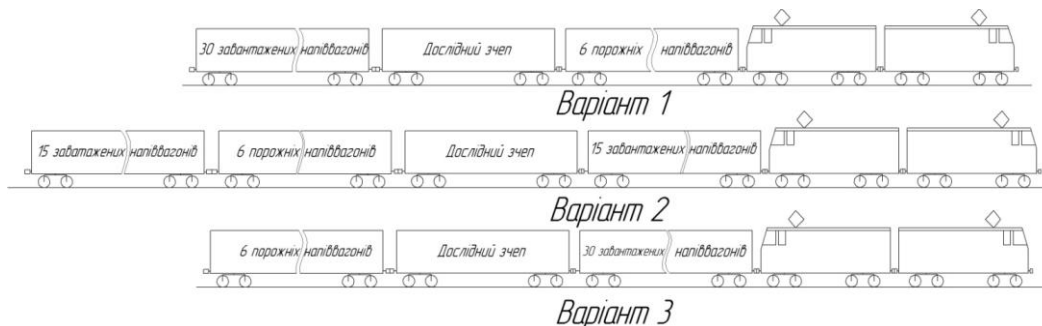


Рис. 8. Схема розташування рухомого складу під час 2 етапу

Обробка даних ходових динамічних випробувань вагонів передбачає розшифровку, ідентифікацію та систематизацію параметрів зареєстрованих динамічних процесів. При обробці враховуються показники якості ходу вагона - до 20 Гц. Частота квантування при обробці дослідних даних на ЕОМ повинна бути не менше 100 Гц.

Дослідні дані групуються за діапазонами швидкостей руху (10-20 км/год), характерних особливостей ділянок колії (пряма, крива, стрілки і ін.).

При аналізі записів процесів встановлюються характерні види коливань, оцінюються залежність характеру і інтенсивності коливань від умов руху. У зв'язку

з ймовірнісною природою показників динамічної завантаженості ходових частин вагонів (в тому числі під впливом особливостей технічного стану ходових частин і транспортної структури) застосовується відповідний апарат теорії ймовірностей.

Для оцінки ходових якостей за величинами вимірних динамічних показників вагона, з використанням співвідношень з урахуванням тарувальних даних визначаються ймовірні максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених $K_{\partial o}$ і необресорених $K_{\partial n}$ мас вагона, бічні (рамні) сили, коефіцієнт горизонтальної динаміки $K_{\partial z}$, значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок K_{yc} .

Методика розрахунку коефіцієнта запасу стійкості вагона проти сходу з рейок при вповзанні гребня колеса на рейку під дією динамічних зусиль, що виникають при русі, коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених і необресорених мас вагона наведені нижче.

Оцінка стійкості колеса проти сходу з рейки проводиться формулою,

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

де β – Кут нахилу твірної гребня колеса до горизонтальної осі;

$\beta = 60^\circ$;

μ – коефіцієнт тертя, $\mu = 0,25$;

q – сила тяжіння маси непідресорених частин, які приходять на колісну пару, Н ;

$2b$ – відстань між серединами шийок осі колісної пари, м;

a_1, a_2 – розрахунокова 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;

$K_{\partial o}^{nn}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесі; значення коефіцієнта приймається додатнім у випадку розвантаження коліс;

$K_{\partial o}^{nn}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки на небігаючому колесі; значення коефіцієнта приймається додатнім у випадку розвантаження коліс;

H_p – горизонтальна бокова рамна сила.

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

Сили на автозчепках-динамометрах під час ходових-динамічних випробувань (рис. 9).

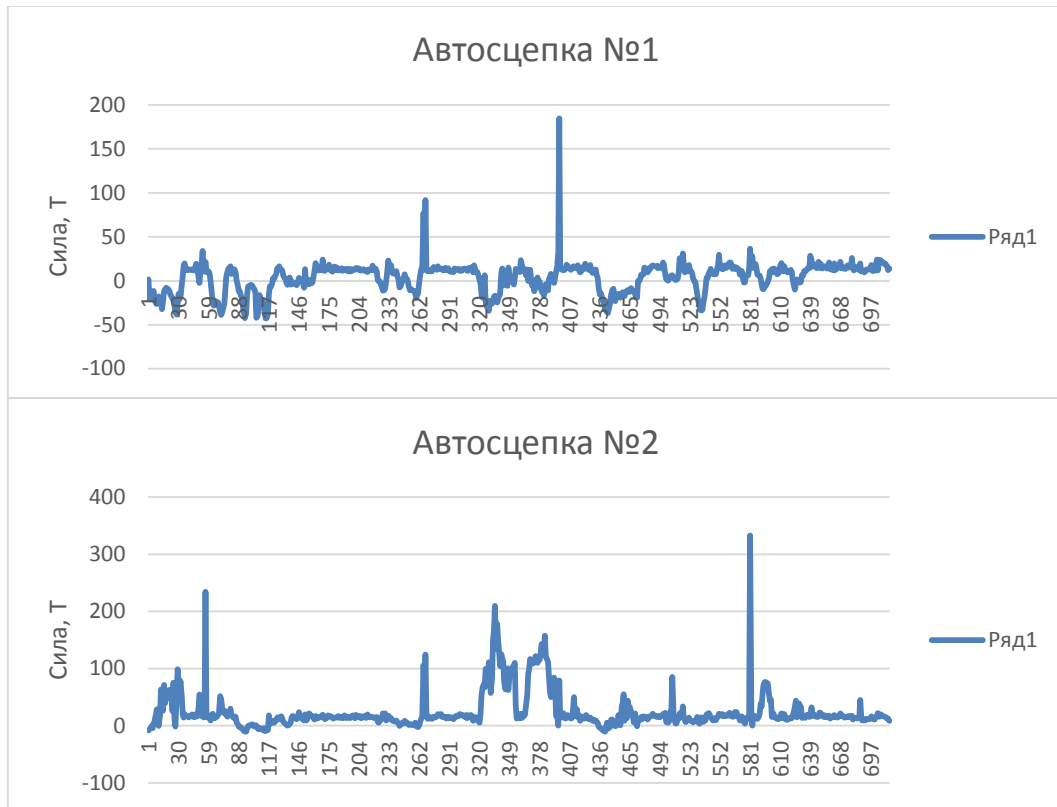


Рис. 9 Сила на автозчепному пристрої

Результати колеса проти сходу з рейок наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 Результати з визначення коефіцієнта запасу стійкості

Швидкість, км/год	Вагон-платформа моделі 13-4012	Вагон-цистерна моделі 15-1443	Вагон-хопер моделі 19-758-01
	Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейок не менше 1,3		
40±5	1,4	1,45	1,42
50±5	1,33	1,42	1,4
60±5	1,32	1,34	1,37
70±5	1,18	1,33	1,35
80±5	1,14	1,31	1,33

Висновки

У ході проведення теоретичних та практичних досліджень з визначення показника коефіцієнту запасу стійкості колеса зі сходу з рейок в залежності від місця постановки легковагових вантажних вагонів у поїзді у порожньому режимі на прямих і кривих відрізках залізничної колії у діапазоні експлуатаційних швидкостей було встановлено, що він змінюється в негативну сторону в залежності від зменшення тари більше як на 10% від нормативної, поганого технічного стану

несучих та екіпажних частин вагона та розташування вагонів у голові та середині поїзда. Таким чином отримані теоретичні результати дозволять оцінити вплив зменшення тари, поганого технічного стану та місця розташування у поїзді, на стійкість вагона від перекидання та встановити безпечну швидкість руху легковагонних вагонів у порожньому стані та місце постановки їх у поїзді.

За результатами проведених ходових динамічних випробувань вагона-платформи моделі 13-4012, вагона-цистерни моделі 15-1443, вагона-хопера для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01 у порожньому стані встановлено наступну відповідність та невідповідність вимогам ДСТУ 7598-2014 «Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних), ДСТУ ГОСТ 33211-2017 «Вагони грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам»:

- вагона-платформи моделі 13-4012 у порожньому стані відповідає по коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок на швидкості до 60 км/год;
- вагон-цистерна моделі 15-1443 у порожньому стані відповідає по коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок на швидкості до 80 км/год;
- вагон- хопер для цементу зі знятою кришею моделі 19-758-01 у порожньому стані відповідає по коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок на швидкості до 80 км/год.

Під час випробувань встановлено, що значення сил стиску, які діють на дослідні вагони в головній та середній частинах поїзда досягають, а в окремих випадках (екстремне гальмування, рух по переламному профілю) перевищують критичні для порожнього рухомого складу значення.

Отже більш суттєвий вплив на рівень показників безпеки руху порожніх вагонів є: стан колії, місце постановки порожніх вагонів у складі поїзда та технічний стан візків (п'ятник, підп'ятник та ін.).

ЛІТЕРАТУРА

1. *Фомін О.В.*, Розробка методики впровадження різних профілей в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Харків., 2012 С.29-33.
2. *Kelrykh M., Fomin O.* Perspective directions of planning carrying systems of gondolas // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014. №6, P. 64-67.
3. *N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko.* The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system // Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU, Arłamów. 2016. P. 114–126.
4. *Фомін, О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І. Сапронова С.Ю.* Поліпшення несучої здатності вагона-хопера для перевезення зерна з метою підвищення опору динамічним зусиллям // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Северодонецьк: СХУ ім. В.Далія, 2017. – № 5(235) – С. 88-99.
5. *Sapronova S, Tkachenko V., Kramar N., Voron'ko A.* Regularities of shaping of a wheel profile as a result of deterioration of the rolling surface in exploitation. Transport Problems // International Scientific Journal. 2008. №3(4), 47–57.
6. *Fomin, O.V., Gostra A.V.* Variations describe the structural designs of freight cars // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series Transport systems and technologies. 2015. №26-27. - P.137-147.
7. *Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., Shvets, A.* Spatial vibration of cargo cars in computer modelling with the account of their inertia properties // Mechanika. 2010: Proc. of 15th Internet. Conference. P. 325-328.
8. *Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., Kyryl'chuk O.* Mathematical modeling of dynamic loading of cassette bearings for freight cars. transport means // Proc. of 21st Intern. Scientific Conference – 2017. P. 973-976.

9. Мороз В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності. // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. Харків., 2009. С. 121 – 131.
10. Кельріх М. Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганськ. 2014. № 2. С. 210.
11. Макаренко М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». Київ. 2014. № 5. С. 107.
12. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. Харків. 2008. С. 72-81.
13. Kelrykh, M., O. Fomin. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014. № 6. P. 64-67.
14. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building // East European journal of advanced technologies. 2012. № 3/7(57). P. 32-35 p.
15. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». Кременчук. 2013. Вип. 6(83). С. 87-91.
16. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності // Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства». Харків. 2015. № 4/1(24). С. 83-89.
17. Ловська А. О. Моделювання навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 2018. Вип. 33. С. 28 – 32.
18. Ловська А. О. Дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі // Зб. наук. праць ДУІТ. Київ. 2018. Вип. 32, Т. 1. С. 71 – 80.

REFERENCES

1. Fomin O.V. (2012). *Rozrobka metodiki vprovadgennja riznih profiliv v jacosti skladovih elementiv nesuchih system vantazhnih vagoniv* [Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars]. *Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI»* [Bulletin of Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI»], P.29-33.
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. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. (2016). *The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system*, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU*, Arłamów, 114–126.
4. Fomin O.V., Prokopenko P.M., Horbunov M.I. Sapronova S.YU. (2017). *Polipshennya nesuchoyi zdatnosti vahona-khopera dlya perevezennya zerna z metoyu pidvyshchennya oporu dynamichnym zusyllyam* [Improvement of the carrier capacity of the hopper car to transport the grain in order to increase the resistance by dynamic effort]. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya* [Bulletin Skhidnoukrayins'koho natsional'noho University Vladimir Dal], № 5(235). P. 88-99/
5. Sapronova S, Tkachenko V., Kramar N., Voron'ko A. (2008). *Regularities of shaping of a wheel profile as a result of deterioration of the rolling surface in exploitation*. *Transport Problems*. International Scientific Journal, 3(4), 47–57.
6. Fomin, O.V. (2015) *Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv* [Variations describe the structural designs of freight cars]. *Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies"*. 26-27, P. 137-147.
7. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2010). *Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties*. *Mechanika*. Proc. of 15th Intern. Conf., 325-328.
8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). *Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars*. *Transport Means*: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
9. Moroz V.I. (2009). *Matematychnyy zapys zadachi optymizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noyi materia-loyemnosti* [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capac-ity]. *Zbirnyk naukovykh prats* [Collection of scientific papers]. № 111. P. 121-131.

10. Kelrikh M. B., Moroz V. I. (2010). *Strukturno-funktsionalne opysannia konstrukttsii modulia kuzova suchasnykh universalnykh napivvahoniv [The structural and functional design of the module body of modern universal gondola cars]*. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia [Bulletin Skhidnoukrayins'koho natsional'noho University Vladimir Dal], 2 (210). P. 94-103.
11. Makarenko M. V. (2014). Kompleksnyi analiz ekonomichnoho efektu vid zhyttievoho tsykladu suchasnoho napivvahonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola], Naukovo-praktychny zhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy». №. 5. – С. 107.
12. Moroz, V.I. (2008). *Vyznachennia perspektyvnykh napriamkiv udoskonalennia konstrukttsii napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon» [Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE" Ukrspetsvagon"]*. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu, 72-81.
13. Kelrykh M. (2014). *Perspective directions of planning carrying systems of gondolas*. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». No 6. P. 64-67
14. Fomin, A. V. (2012). *The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building*. East European journal of advanced technologies. 3/7(57), P. 32-35.
15. Fomin O.V. (2013). *Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv [Theoretical foundations of the software complex for the determination and use of mathematical models of freight wagons]*. Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'kohonatsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho». 6(83). P. 87-91.
16. Fomin, O. V. (2015). *Vprovadzhennya of cruglic pipes in NESC systems napowan W zabezpecheny razvalyny pokaznikiv mcnnet*. The journal "Technology audit and production reserves". № 4/1(24) – P. 83-89.
17. Lovs'ka A. O. (2018). *Modelyuvannya navantazhenosti konteynera-tsystemy pry perevezenni u skladi kombinovanoho poyzida na zaliznychnomu poromi [Simulation of load of tank-container during transportation in the combined train on a railway ferry]*, Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPi» [Bulletin of Nacionalnogo tekhnichnoho universitetu «KHPi»], 33. P. 28 – 32.
18. Lovs'ka A.O. (2018). *Doslidzhennya mitsnosti nesuchoyi konstrukttsiyi kuzova napivvahona pry perevezenni na zaliznychnomu poromi [Investigation of the durability of the bearing structure of the gondola body during transportation on the railway ferry]*, Zb. nauk. prats'. DUIT [Collection of scientific works DUIT].32, T. 1. P.71 – 80.

Алексей Викторович Фомин, д.т.н., проф.,

(Профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев)

Павел Николаевич Прокопенко,

(Аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев)

Светлана Юрьевна Сапронова, д.т.н., проф.,

(Профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев)

Анна Николаевна Фомина,

(Аспирант кафедры «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины», Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Северодонецк)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА УСТОЙЧИВОСТИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Обеспечение безопасности движения является одним из важнейших требований к работе железных дорог. Среди аварий и катастроф на железнодорожном транспорте наибольшую опасность представляет сход с рельсов, так как это может привести к тяжелым последствиям. Причины сходов

вагонов с рельсов связанные с неисправностями подвижного состава, отклонениями от норм содержания пути, неудовлетворительная динамика поезда также с условиями их эксплуатации.

Ключевые слова: легковесные грузовые вагоны, ходовые динамические испытания, скорость, коэффициент запаса устойчивости, лестницы, неисправность, динамика, компьютерное моделирование.

Olexiy Fomin, Ph.D., Assoc.,

(Professor of the department "Wagons and Wagon facilities", State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv).

Pavlo Prokopenko

(Postgraduate student, the department "Wagons and Wagon facilities", State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv);

Svetlana Sapronova, Doctor of Technical Sciences, Professor,

(Professor of the department "Wagons and Wagon facilities", State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv);

Anna Fomina,

(Postgraduate student of the department "Railway, road transport and lifting transport vehicles", East Ukrainian National University. V. Dahl, Severodonetsk)

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE FLAT WAGON STABILITY FACTOR IN OPERATION CONDITIONS

Ensuring traffic safety is one of the most important requirements for the operation of railways. Among accidents and disasters in railway transport the greatest danger is the derailment, as it can lead to grave consequences. The reasons of the derailment of wagons are due to malfunctions of rolling stock, deviations from the rules of the maintenance of the track, unsatisfactory dynamics of the train as well as the conditions of their operation.

These failures, in particular, related to the destruction of the elements of the chassis, directly lead to the derailment of wagons.

A significant drawback of the work of the railway transport of Ukraine is the restriction of the speed of trains with empty freight cars, which are equipped with models of wagons 18-100.

Among the reasons for the derailments of the wheels of rail cars associated with malfunctions of the running gear, the following can be called: breakage of side frames and overhead bolts of trolleys, fracture of axles and wheels, malfunctions of roller bearings of the boot knot, wear of elements of friction oscillators and oscillation knobs on the superstructure beams, unacceptable variations in the size of the trolleys. Another important reason is the negative reduction of the wagon's packaging by more than 10% of the factory installed by the manufacturer.

Keywords: *light-weight freight cars, running dynamic tests, speed, stability factor, derailments, fault, dynamics, computer simulation..*

УДК 621.311

Сергій Гулак

(старший викладач кафедри «Тяговий рухомий склад» Державного університету інфраструктури та технологій)

Едуард Єрмоленко

(аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад» Державного університету інфраструктури та технологій)

Денис Заїка

(інженер кафедри «Тяговий рухомий склад» Державного університету інфраструктури та технологій)

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТЯГОВОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Розглянуто та надано характеристику показникам якості електроенергії, які впливають на роботу тягового та допоміжного приводів електрорухомого складу. Проаналізовано, який вплив на кожен з показників якості електроенергії тягової системи електропостачання здійснюють тяговий та допоміжний приводи електрорухомого складу. Запропоновано заходи щодо зниження впливу зазначених приводів на показники якості тягової системи електропостачання.

***Ключові слова:** показники якості електроенергії, тягова система електропостачання, тяговий привод, допоміжний привод.*

Вступ. Оптимізація конкретних технологічних процесів вимагає обґрунтованого вибору для даного об'єкту методів керування. Одним з таких технологічних процесів є система тягового електропостачання (СТЕ) [1]. Крім вибору методів керування технологічним процесом слід вибрати критерії, по яким буде оптимізуватись керування технологічним процесом.

Критеріями оптимальності для побудови оптимальної системи керування такими технологічними процесами розподілу, передачі і споживання електричної енергії можуть служити показники якості електроенергії (ПЯЕ). Дотримання ПЯЕ в допустимих значеннях гарантує нормальне функціонування будь-яких електротехнічних засобів, підключених до системи тягового електроспоживання [2].

Причини погіршення якості електроенергії, пов'язані з тяговою системою, це: коливання напруги, спотворення напруги і струму, провал напруги, виникнення вищих гармонійних складових напруги і струму, реактивна потужність і, як наслідок, зниження коефіцієнту потужності. Існує невизначеність щодо прибуття і відправлення локомотивного навантаження на тягову підстанцію.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-14

Якщо припустити, що одночасно надходить багато локомотивів, то виникає перевантаження, і це викликає падіння напруги, яке, в свою чергу, погіршує форму напруги, оскільки потреба в потужності залежить від трафіку локомотива. Пуск, прискорення, гальмування також впливають на форму напруги. Завдяки цьому спрацьовує система захисту навіть при відсутності несправності. Система тягового приводу електрорухомого складу має випрямну установку, яка створює вищі гармонійні складові, що також сприяють погіршенню форми напруги і струму. Через ці проблеми тяговий двигун споживає велику кількість енергії і пускає в хід систему захисту без будь-яких несправностей в тягових системах [3].

Роботи, присвячені розробці пристроїв підвищення показників якості енергії системи тягового електропостачання [4-8], свідчать про те, що велика увага приділяється підвищенню електричної ефективності систем тягового приводу електрорухомого складу. Пристрої, в основу яких лягли розробки, наведені в зазначених роботах, дозволяють зменшити негативний вплив тягових приводів електрорухомого складу на показники якості системи тягового електропостачання. Це свідчить про те, що дослідження, присвячені виявленню негативних факторів, що впливають на показники якості електроенергії, а також методам і засобам зменшення цих факторів, є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. В дослідженні [9] дана характеристика показникам якості електричної енергії, показано, як погіршення показників якості впливає на роботу споживачів електричної енергії. Проте, залишилось відкритим питання, як спотворення, що вносять приводи електрорухомого складу (ЕРС) в систему тягового постачання, будуть впливати на показники якості електроенергії системи тягового електропостачання, що, в свою чергу, живить інші споживачі електричної енергії. Подальший розвиток поглядів на вплив приводів ЕРС на показники якості електричної енергії можна знайти в роботі [3], в якій надається характеристика складових приводів ЕРС та показаний їх вплив на ПЯЕ. Крім того, в цьому дослідженні зазначається, що на ПЯЕ істотний вплив здійснює не тільки робота електроприводів ЕРС, але і режими роботи ЕРС (запуск, режим тяги, гальмування тощо), тип електроприводів та кількість ЕРС на ділянці. Але проблеми погіршення ПЯЕ в даній роботі освітлені лише концептуально. В них не розглядається кількісний вплив того чи іншого фактору на ПЯЕ і не має рекомендацій щодо усунення негативного впливу зазначених факторів на ПЯЕ.

Ряд робіт, присвячених питанню підвищення енергетичної ефективності розглядають тільки один негативний фактор впливу на ПЯЕ та шляхи зменшення цього впливу. Так, в дослідженні [10], проаналізовано негативний вплив тягового приводу ЕРС змінного струму з асинхронним тяговим двигуном, а в роботі [11] – тягового приводу з двигуном постійного струму послідовного збудження на такий показник якості, як рівень вищих гармонійних складових струму і напруги. Тобто, вплив тягових приводів ЕРС на спотворення форми напруги і струму та на коефіцієнт потужності. В цих дослідженнях зазначено, що найбільше спотворення форми напруги і струму відбувається в момент комутації вентилів випрямної установки. Крім того, в роботі [11] зазначено, що значний вплив на виникнення вищих гармонійних складових струму має нелінійна характеристика тягового двигуна постійного струму з послідовним збудженням. В роботах [12-13] показано вплив роботи приводу допоміжних машин електровозу, де як розщиплювач фаз використовується асинхронний двигун з несиметричними обмотками, а в якості

мотор-вентиляторів та мотор-компресорів – трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, на виникнення несиметричних режимів струмів і напруг. В дослідженні [14] показано, що якість струмознімання впливає на такі ПЯЕ, як спотворення форми струму та напруги, короточасні провали та викиди напруги, виникнення короточасних імпульсів. В роботі [15] зазначається, що для компенсації таких негативних впливів на ПЯЕ, як генерації вищих гармонійних складових струму і напруги, а також для обмеження впливу відхилення і коливання напруги і частоти слід застосовувати керовані стабілізатори. Але всі ці роботи присвячені розгляду одного або, максимум, двох факторів роботи ЕРС, що негативно впливають на ПЯЕ системи тягового електропостачання.

Крім того, як показано в дослідженні [3], невизначеність щодо прибуття і відправлення локомотивного навантаження на тягову підстанцію призводить до того, що процеси, які відбуваються в системі тягового електропостачання, слід розглядати як випадкові неергодичні. До факторів, що впливають на невизначеність процесів також впливають постійні відривання та притискання струмоприймача до контактного проводу, вхід під нейтральну вставку контактної мережі та вихід з неї [14]. Тобто, при аналізі впливу того чи іншого фактору роботи ЕРС, що впливає на ПЯЕ системи тягового електропостачання, слід враховувати, що електромагнітні процеси, які відбуваються в системі тягового електропостачання носять випадковий характер.

Систематизація результатів проведених досліджень дозволяє вважати, що існуючі підходи до вирішення проблеми аналізу впливу ЕРС на ПЯЕ та розробки заходів щодо підтримання цих показників в нормованих межах носять припущення, що електромагнітні процеси, які відбуваються в системі тягового електропостачання мають стаціонарний характер. Іншими словами, припускається, що прибуття і відправлення локомотивного навантаження на тягову підстанцію та робота струмоприймача ЕРС описуються детермінованою в часі функцією. Очевидно, подібні підходи дозволяють знаходити оптимальне рішення тільки в тому випадку, якщо можна прогнозувати час прибуття і відправлення та величину тягового навантаження, кількість відривань та притискань струмоприймача до контактного проводу за період та їх дискретність. Крім того, аналіз результатів проведених досліджень показав, що методика розрахунку цих параметрів справедлива тільки для системи тягового споживання в стаціонарних режимах. З цього слідує, що випадковий характер електромагнітних процесів в системі тягового електропостачання не дасть можливості отримання ефективних рішень щодо зменшення негативного впливу ЕРС на ПЯЕ в реальних умовах експлуатації. Дана проблема може бути вирішена шляхом розробки аналізу негативного впливу ЕРС на кожен із ПЯЕ системи тягового електропостачання в реальних умовах експлуатації. Для цього при описі фізичних процесів слід вважати напругу на струмоприймачі ЕРС випадковою величиною.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є аналіз впливу приводів ЕРС на ПЯЕ системи тягового електропостачання при умові, що електромагнітні процеси, які відбуваються в системі, носять випадковий характер. Запропонований аналіз в подальшому може бути використаний для розробки заходів щодо зменшення негативного впливу ЕРС на ПЯЕ системи тягового електропостачання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

– проаналізувати природу погіршення кожного з показників якості системи тягового електропостачання;

- виконати аналіз негативного впливу ЕРС на кожен із ПЯЕ системи тягового електропостачання;

- врахувати випадковий характер зміни параметрів електроенергії при оцінці допустимості режимів роботи приводів ЕРС;

– визначити фактичний внесок в спотворення кожного з факторів, що впливають на погіршення ПЯЕ та запропонувати заходи, щодо зменшення цих факторів.

Матеріали та методи дослідження. В даній статті будуть розглядатись лише фактори, роботою ЕРС, які здійснюють негативний вплив на ПЯЕ системи тягового електропостачання. При аналізі зазначених факторів особливу увагу слід приділити врахуванню випадкового характеру зміни параметрів електроенергії при оцінці допустимості режимів роботи приводів ЕРС. В загальному випадку до ПЯЕ системи тягового електропостачання можна віднести [9]:

- відхилення і коливання напруги та частоти;
- несиметрію трифазних напруг і струмів;
- несинусоїдальність напруг і струмів;
- імпульси, короточасні провали і викиди напруги.

В зв'язку зі зміною навантажень напруга і частота в мережі не можуть підтримуватися строго рівними їх номінальним значенням в будь-який момент часу і являють собою випадкові процеси, подібні зображеним на рис. 1. Для характеристики цих процесів використовують поняття відхилень і коливань.

Відхиленнями напруги δU і частоти δf називають відмінності їх значень U і f від номінальних $U_{ном}$ і $f_{ном}$, виражені в вольтах (герцах):

$$\begin{aligned} \delta U &= U - U_{ном}; \\ \delta f &= f - f_{ном}. \end{aligned} \quad (1)$$

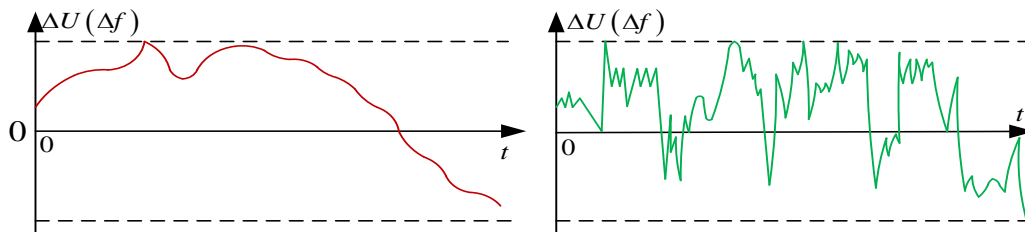


Рис. 1. Процеси зміни відхилень напруги (частоти)

Показанні на рис. 1 процеси зміни відхилень напруги (частоти) знаходяться всередині діапазону допустимих відхилень (відзначені пунктирними лініями). Однак внутрішні структури процесів різні: якщо перший являє собою величину, що порівняно повільно змінюється в часі, то для другого характерні різкі її зміни. Різний і вплив цих процесів на систему електропостачання. Обертний момент двигуна, як відомо, залежить від напруги і частоти. При їх відхиленні від номінальних значень робочі характеристики двигуна змінюються. Однак, якщо відхилення знаходяться в допустимих межах, то і його характеристики також знаходяться в допустимих межах.

Для характеристики цього явища використовують поняття коливань напруги і частоти. Коливання напруги характеризують фактично відхилення напруги в часі. На практиці до коливань напруги відносять її зміни, що відбуваються зі швидкістю більше $\frac{1\%}{c}$, а до коливань частоти – ті, що відбуваються зі швидкістю більше $\frac{0,2\text{Гц}}{c}$. Зазначені граничні значення не мають строгих обґрунтувань і встановлені, виходячи із загальних міркувань.

Коливання напруги і частоти викликаються роботою ЕС з різко змінним характером споживання потужності (тягові двигуни електрорухомого складу). В переважній більшості випадків коливання напруги і частоти супроводжують одне одного: при цьому різко змінюється характер споживання як активної, так і реактивної потужності. При зростанні навантаження кут вектору напруги збільшується, що призводить до збільшення періоду синусоїди протягом накиду (зниження частоти), а при скиданні навантаження - навпаки. Зміна частоти δf пов'язана зі зміною кута вектору напруги $\delta\varphi$, град, і тривалістю накидів навантаження t_σ , співвідношенням:

$$\delta f = \frac{\delta\varphi}{360} \cdot t_\sigma. \quad (2)$$

Зміна кута вектору напруги визначають за формулою:

$$\text{tg}(\delta\varphi) = \frac{P \cdot X - Q \cdot R}{U^2}, \quad (3)$$

де P - активна потужність, що споживається тяговим приводом ЕРС; Q - реактивна потужність, що віддає тяговий привод ЕРС в мережу; R - активний опір тягового приводу; X - реактивний опір тягового приводу; U - модуль напруги контактної мережі.

При періодичних накидах і скиданнях навантаження частота протягом часу накиду t_σ буде нижче робочого значення на δf , потім (протягом часу постійного навантаження) дорівнює робочому значенню, а протягом часу скидання навантаження - вище робочого значення на δf .

Несиметричні режими зумовлюються трьома причинами:

- неоднаковими навантаженнями фаз елементів мережі, що викликаються роботою ЕС з нестабільним навантаженням фаз і однофазних ЕС;
- неповнофазною роботою ліній, викликані короткочасним відключенням однієї з фаз лінії при коротких замиканнях або більш довготривалим відключенням при пофазних ремонтах, наявністю поперечних реакторів не у всіх фазах лінії і т. п.;
- нерівністю фазних параметрів ліній. Невелика відмінність фазних параметрів з відмінностями розташування проводів на опорі. Несиметрія напруг, зумовлена цією причиною, на порядок менше перших двох.

Найбільш частою причиною несиметрії напруг на практиці є нерівність струмових навантажень фаз. При цьому розрізняють два види несиметрії:

систематичну і ймовірну несиметрію. Характерною рисою систематичної несиметрії є постійне перевантаження однієї з фаз; в цьому випадку виконують вирівнювання навантажень фаз шляхом перемикання частини навантажень з перевантаженої на недовантажених фазу. Ймовірнісна несиметрія характеризується попереминим перевантаженням то однієї, то іншої фази (перемижна несиметрія). В мережах високих напруг несиметрія викликається наявністю у споживачів потужних однофазних навантажень і трифазних, але з неоднаковим споживанням за фазами. Потужним джерелом несиметрії є тягові підстанції залізничного транспорту, електрифікованого на змінному струмі, так як електровози є однофазними електроприймачами.

Але питання вирівнювання навантаження фаз вирішується на стороні тягової підстанції і визначення фактичного внеску спотворення ПЯЕ цим негативним фактором розглядатись не буде.

Спотворення синусоїдальності кривих напруг і струмів викликаються роботою ЕС з нелінійної вольт-амперною характеристикою і регульованих перетворювачів змінного струму в постійний. Криві струму і напруги в цих випадках набувають вигляду, відмінного від синусоїди (крива U на рис. 2). Користуючись методом гармонійних складових, можна вихідну несинусоїдальну криву розкласти на суму синусоїдальних з певними значеннями амплітуд гармонік і їх початкових кутів. На рис. 2 приведена крива напруги, що містить першу U_1 і п'яту U_5 гармоніки. Вид кривої U залежить не тільки від амплітуди гармоніки, а й від її фазового кута щодо U_1 (кут φ_5). При збільшенні φ_5 точка a буде зсуватися праворуч і вгору, а точка b - вправоруч і вниз.

Максимальне значення миттєвої напруги знизиться. Для деяких типів електронного обладнання максимальне значення миттєвої напруги істотно впливає на нормальну роботу, тому контроль тільки амплітуд гармонік може виявитися недостатнім. Вплив на режими роботи ЕС напруги U такий же, як і сумарний вплив напруг U_1 і U_5 , тому гармонійний аналіз є зручним методом аналізу несинусоїдальних режимів.

Відомо, що індуктивні $X_{L\nu}$ і ємнісні $X_{C\nu}$ опори на частоті гармоніки ν пов'язані з опорами X_L і X_C на основній частоті співвідношеннями:

$$X_{L\nu} = \nu \cdot X_L; \quad X_{C\nu} = \frac{X_C}{\nu}. \quad (4)$$

Тому при виникненні на вході обладнання ν -й гармоніки напруги її струм в ЕС індуктивного характеру (наприклад, в реакторі) буде в процентному відношенні в ν разів менше, ніж при напрузі першої гармоніки U_1 , а в ЕС ємнісного характеру (наприклад, в батареї конденсаторів) - в ν раз більше. Це викликає перегрів конденсаторів і вихід їх з ладу.

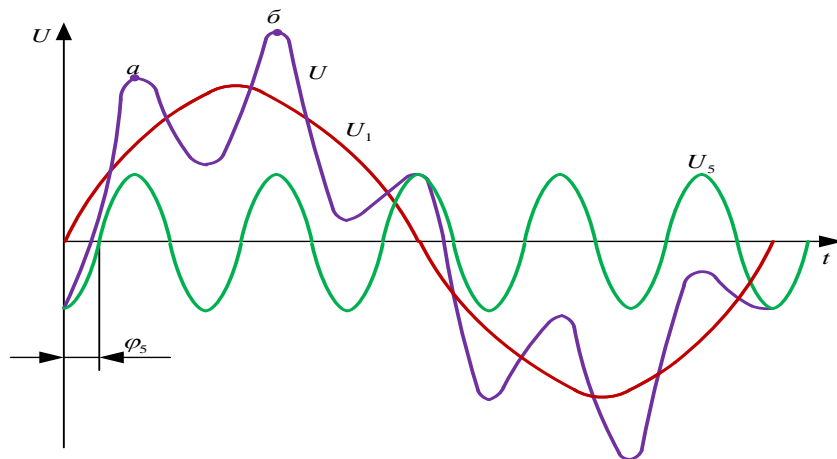


Рис. 2. Розкладання несинусоїдної кривої на синусоїдальні складові

Перетворювальні агрегати генерують в мережу гармоніки, порядок яких визначається формулою $\nu = k \cdot n \pm 1$, де k - пульсність перетворювача, а n - цілі числа від 1 до ∞ . Так, шестипульсний перетворювач генерує в мережу гармоніки 5,7,11,13,17,19 і далі. Струм ν -ї гармоніки перетворювача $I_\nu \approx \frac{I_1}{\nu}$, тому, наприклад, $I_5 \approx 0,2 \cdot I_1$, $I_{25} \approx 0,04 \cdot I_1$ і т. д.

Провали напруги зазвичай відбуваються при коротких замиканнях в мережі і тривають протягом часу, необхідного для спрацьовування пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗА). Викиди напруги відбуваються при відключеннях великих навантажень. Тривалість цих явищ в високовольтних мережах може досягати декількох секунд (рис. 3,а).

Імпульси напруги виникають при ударах блискавки в повітряних лініях електропередачі і при комутаційних перемиканнях в мережах. Вони тривають протягом мілі- і мікросекунд і характеризуються імпульсною напругою U_{imn} , напругою кидка U_k і тривалістю імпульсу, яка визначається у його основі t_{imn} і на рівні половини напруги кидка $t_{imn0,5}$ (рис. 3,б).

Для їх обмеження до значень, безпечних для електроустаткування підстанцій електричних мереж високої напруги, застосовують вентильні розрядники і вентилі перенапруг. Амплітуда імпульсів напруги, що трансформуються в мережі низької напруги, істотно знижується за рахунок опорів силових трансформаторів. Якщо залишкова амплітуда імпульсів напруги залишається небезпечною для роботи чутливих ЕСП, на їх входах необхідно застосовувати спеціальні засоби гасіння імпульсів.

В даний час в Україні не існує легітимного документа, що встановлює методику розрахунку допустимого впливу споживача на ЯЕ і процедуру оцінки дотримання ним встановлених вимог. Нижче викладається методика, розроблена [16] на основі проведених розробок Дослідницького комітету № 36 Міжнародної конференції по великим енергетичним системам (СІГРЕ). Основні положення цих розробок використовуються на практиці в ряді зарубіжних країн.

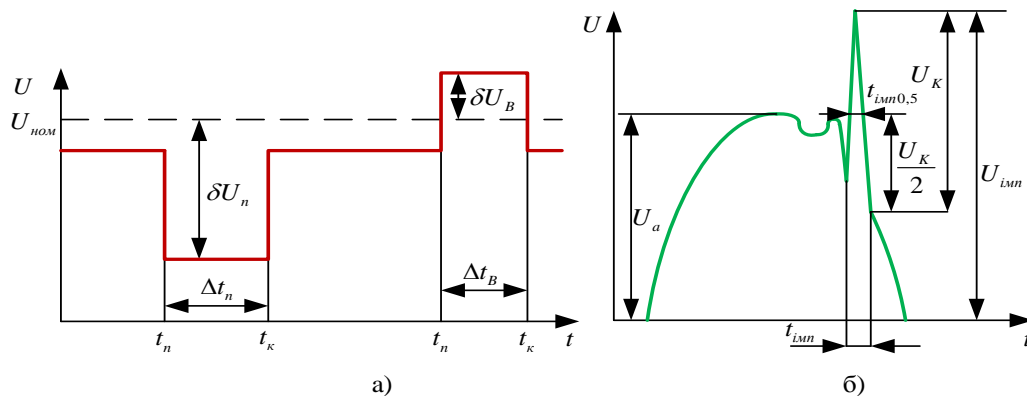


Рис. 3. Короточасний провал і викид напруги (а); імпульс напруги (б)

Вимоги до ЯЕ за показниками «коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги», «коефіцієнт n -ї гармонійної складової напруги» встановлюють у вигляді зобов'язання енергопостачальної організації підтримувати значення ПЯЕ в точці контролю ЯЕ відповідно до норм ГОСТ 13109-97 [17] за умови не перевищення ЕРС встановленого в технічних умовах або в договорі електропостачання допустимого впливу його електроустановок на значення ПЯЕ в цій точці.

Допустимий вплив ЕРС на значення ПЯЕ, перерахованих вище, вказують у вигляді допустимого вкладу споживача (ДВС) в значення ПЯЕ або у вигляді допустимих значень струму (потужності) спотворень, які відповідають цій ПЯЕ.

Допустимий вплив на ЯЕ щодо великого споживача (яким є ЕРС), відношення дозволеної потужності якого до пропускної здатності мережі в точці приєднання $d_n > 0,2$ вказують у вигляді ДВС в значення ПЯЕ.

За показником «розмах зміни напруги» вимоги формують таким чином:

«Установки споживача не повинні викликати в точці приєднання розмахи зміни напруги з параметрами, що перевищують встановлені ГОСТ 13109-97 [17]. При виконанні цієї вимоги енергопостачальна організація забезпечує значення розмаху зміни напруги відповідно до норм ГОСТ 13109-97 [17]».

За показниками «доза флікера» (відхилення і коливання напруги), «коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги», «коефіцієнти гармонійних складових напруги вимоги формують таким чином:

«Споживач повинен забезпечити режими роботи своїх електроустановок, при яких їх вплив на значення перерахованих ПЯЕ в точці приєднання не перевищує допустимого впливу. При виконанні цієї умови енергопостачальна організація повинна забезпечувати значення зазначених ПЯЕ в межах норм ГОСТ 13109-97 [17]».

Допустимий внесок споживача в нормально допустиме або гранично допустиме значення ПЯЕ в точці приєднання визначають за формулою

$$ДВС = П_H \cdot (d_n \cdot d_{ПЯЕ})^{\frac{1}{a}}, \quad (5)$$

де $П_H$ - нормально або гранично допустиме значення ПЯЕ для даної мережі;

$d_{ПЯЕ}$ - частка нормованого значення ПКЕ, яка відноситься на допустимий сумарний внесок споживачів, які живляться від даної точки;

a - показник, чисельні значення якого наведені в [9].

При розрахунку ДВС в коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги і коефіцієнт n -ї гармонійної складової напруги значення $d_{ПЯЕ}$ визначають за формулою

$$d_{ПЯЕ} = \frac{1}{1 + \frac{S_{К.Н}}{S_{К.В}}}, \quad (6)$$

де $S_{К.Н}$ - потужність трифазного короткого замикання на шинах низької напруги підстанції, від якої отримує живлення споживач;

$S_{К.В}$ - те саме, на шинах високої напруги.

Фактичні внески ЕРС як споживача (ФВС) в значення ПЯЕ (для споживача, відношення дозволеної потужності якого до пропускної здатності мережі в точці приєднання $d_n > 0.2$) визначають на основі вимірів спеціалізованими приладами [18]. При відсутності приладів ФВС з $d_n > 0.2$ в ПЯЕ в ТК може бути визначений на основі вимірів самих ПЯЕ в різних режимах роботи споживача. Для ЕРС в умовах експлуатації, коли відключення неприйнятне, ФВС визначається на основі вимірів ПЯЕ при різних навантаженнях споживача залежності ПЯЕ від навантаження і розрахунку по ній значень ПЯЕ, що відповідають нульовому і розрахунковому значенням навантаження споживача.

ФВС визначають на основі залежності ПЯЕ від обраного параметра, що характеризує навантаження споживача. Коефіцієнти залежності розраховують за результатами одночасних вимірювань значень ПЯЕ і параметра навантаження в періоди з різним складом включених ЕС. Як параметр навантаження можуть використовуватися: еквівалентна потужність ЕС, що вносять спотворення, активна, реактивна або повна потужність (струм) споживача в цілому або на окремих фідерах, до яких приєднана основна потужність ЕС, що вносять спотворення, а також інші параметри, кореляція яких з рівнем ПЯЕ передбачається виходячи з особливостей технологічного процесу.

В зв'язку з різними відносними вкладками різних типів ЕС в спотворення в якості параметра навантаження для споживачів, що мають потужні ЕС, які вносять спотворення різних типів, рекомендується приймати їх еквівалентну потужність, яка визначається за формулою (крім дози флікера):

$$S_{екв} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (k_i \cdot S_i)^2}, \quad (7)$$

де S_i - робоча потужність i -го ЕС, що вносить спотворення в розглянутому режимі;

k_i - коефіцієнт приведення потужності i -го ЕС до потужності ЕС базового типу;

m - кількість типів ЕС, що вносять спотворення.

При визначенні еквівалентної потужності навантажень, що створюють вищі гармоніки, як ЕС базового типу приймають 6-пульсної некерований випрямляч.

Коефіцієнти приведення потужності інших типів ЕС до еквівалентної потужності ЕС базового типу наведені в [9]. Еквівалентну потужність ЕП, що вносять спотворення, для визначення впливу на дозу флікера визначають як суму діапазонів можливої зміни потужностей цих ЕС.

Лінійна залежність показника Π від параметра навантаження споживача S має вигляд:

$$\Pi = b \cdot S + c. \quad (8)$$

Для визначення значень коефіцієнтів b і c розраховують допоміжні величини:

$$W = \sum_{j=1}^N \Pi_j; \quad X = \sum_{j=1}^N \Pi_j \cdot S_j; \quad Y = \sum_{j=1}^N S_j; \quad Z = \sum_{j=1}^N S_j^2. \quad (9)$$

а потім і самі коефіцієнти:

$$b = \frac{N \cdot X - W \cdot Y}{N \cdot Y - Y^2}; \quad c = \frac{W - b \cdot Y}{N}, \quad (10)$$

де N - кількість інтервалів вимірювань показника, для кожного з яких обчислено значення Π_j з відповідним йому значенням S_j .

Значення $\Pi_{\text{Виск.}}$ і $\Pi_{\text{Вкл.}}$ визначають за формулами:

$$\Pi_{\text{Виск.}} = c; \quad (11)$$

$$\Pi_{\text{Вкл.}} = c + b \cdot S_{\text{розр.}}, \quad (12)$$

де $S_{\text{розр.}}$ - розрахункове значення S .

В якості $S_{\text{розр.}}$ приймають потужність, відповідну режиму, в якому спостерігалось порушення норм стандарту, узгодженим робочого режиму з максимальною потужністю і т. п.

ФВС визначають за формулою

$$\Phi BC = \left(\Pi_{\text{вкл.}}^a - \Pi_{\text{виск.}}^a \right)^{\frac{1}{a}}, \quad (13)$$

Велике значення $\Pi_{\text{Виск.}}$ свідчить про істотний внесок обладнання суміжних споживачів, що вносять спотворення в значення ПЯЕ в ТК. При $b > 0$ вклад розглянутого споживача збільшує значення ПЯЕ в ТК (позитивний коефіцієнт кореляції спотворень, що вносяться споживачами), при $b < 0$ - зменшує (негативний коефіцієнт кореляції). В останньому випадку робота розглянутого споживача призводить до часткової компенсації спотворень, що вносяться іншими споживачами.

Ступінь випадкового впливу інших споживачів на значення ПЯЕ в ТК (коефіцієнт кореляції близький до нуля) визначають за формулою

$$B = \sqrt[4]{\frac{\sum_{j=1}^N (b \cdot S_j + c - \Pi_j)^2}{N-1}} \quad (14)$$

Величина B не є фактичним внеском інших споживачів в значення ПЯЕ в ТК даного споживача, так як відображає не різницю значень ПЯЕ при включеному і вимкненому станах інших споживачів, а діапазон відхилень вимірних значень ПЯЕ від відповідної фізики процесу лінійної залежності ПЯЕ від потужності даного споживача. Співвідношення значень B і середнього значення ПЯЕ $\Pi_c = \frac{W}{N}$ говорить про значущість випадкового впливу інших споживачів на значення ПЯЕ в ТК даного споживача. При істотних значеннях співвідношення $\frac{B}{\Pi_c}$ доцільно провести повторні вимірювання в періоди з меншим впливом інших споживачів.

Розрахуємо, який допустимий внесок та фактичний внесок за дозою флікера і спотворення синусоїдальності вносить електровоз серії ВЛ-80, що має некеровану випрямну установку та потужність $S_{ВЛ} = 7,2 \text{ МВ} \cdot \text{А}$. Результати замірів граничних значень коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги і середніх значень робочої потужності S_j на 10 інтервалах однакової тривалості при відносно стабільних складах ЕС наведені в таблиці 1. Результати занесемо до таблиці 2.

Таблиця 1. Результати замірів граничних значень коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги і середніх значень робочої потужності S_j

$\Pi_j, \%$	2	6	3	5,5	4	9	2,5	7	6	8
$S_j, \text{МВ} \cdot \text{А}$	1,2	2,4	0,6	4,2	3	5,4	1,8	6	3,6	4,8

Як видно з таблиці 2, фактичні спотворення, що вносяться в показники якості електроенергії системи тягового електропостачання перевищують допустимі. Істотний вплив на спотворення, що вносяться електровозом здійснюють інші споживачі електричної енергії. Для зменшення впливу цих спотворень на ЕРС слід застосовувати гібридні компенсатори реактивної потужності, пасивна частина якого, компенсувала фазовий зсув між напругою та струмом, активна частина видаляла б вищі гармонійні складові струму, а система активною частиною – адаптувала б параметри активного фільтру до форми напруги в контактній мережі.

Таблиця 2. Результати розрахунків допустимого та фактичного внеску спотворень ПЯЕ, що вносяться в систему тягового електропостачання електровозом серії ВЛ-80Т,К

Тип спотворень	Параметр		Значення показника, %
	Доза флікера	Допустимий внесок, ДВС	
довгостроковий			0.254

	Фактичний внесок, <i>ФВС</i>		2.124
Спотворення синусоїдальності кривої напруги	Допустимий внесок, <i>ДВС</i>		2.195
	Фактичний внесок, <i>ФВС</i>		2.736
	Вплив інших споживачів, <i>В</i>		1,782

Висновки. Виконаний аналіз впливу роботи ЕРС на ПЯЕ системи тягового електропостачання дозволить врахувати особливості взаємодії ЕРС змінного струму із системою тягового електропостачання, оцінити вплив, який він вносить на ПЯЕ. Також за допомогою запропонованого аналізу можна більш ефективно розробити схеми компенсації реактивної потужності на ЕРС змінного струму з врахуванням випадкових процесів, які відбуваються в системі тягового електропостачання.

Виконаний аналіз дозволить в подальшому глибше вивчити електромагнітну сумісність роботи ЕРС з різними способами організації тягового приводу, що живляться від однієї підстанції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сиченко В. Г. Вплив електроенергетичних процесів у системах тягового електропостачання на якість електричної енергії. Гірнична електромеханіка та автоматика, зб. наук. пр. Дніпропетровськ, 2015. Вип. 94. С. 25—30.
2. Сиченко В. Г., Саєнко Ю. Л., Босий Д. О. Якість електричної енергії у тягових мережах електрифікованих залізниць: монографія. Дніпропетровськ: Вид-во ПФ "Стандарт-Сервіс", 2015. 344 с.
3. Kale S. E., Joshi K. D. Railway Traction System: Current Status and Apportunities //Int. J. Elect. Eng. 2017. Vol. 10. №. 1. P. 47-56. ISSN 0974-2158.
4. Salah F. et al. Impact of electric vehicles on distribution substations: A Swiss case study //Applied Energy. 2015. Vol. 137. P. 88-96. doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.091.
5. Schuller A., Flath C. M., Gottwalt S. Quantifying load flexibility of electric vehicles for renewable energy integration//Applied Energy. 2015. Vol. 151. P. 335-344. doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.004.
6. Douglas H. et al. An assessment of available measures to reduce traction energy use in railway networks//Energy Conversion and Management. 2015. Vol. 106. P. 1149-1165. doi.org/10.1016/j.enconman.2015.10.053.
7. González-Gil A., Palacin R., Batty P. Optimal energy management of urban rail systems: Key performance indicators//Energy Conversion and Management. 2015. Vol. 90. P. 282-291. - doi.org/10.1016/j.enconman.2014.11.035.
8. Yang X. et al. A survey on energy-efficient train operation for urban rail transit //IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2016. Vol. 17. №. 1. P. 2-13. doi:10.1109/TITS.2015.2447507. ISSN:1558-001.
9. Железко Ю. Потери електроенергії. Реактивна потужність. Якість електроенергії: Рукводство для практичних розрахунків. Litres. 2018. 456 с. ISBN 978-5-93196-958-9.
10. Milešević B., Uglešić I., Filipović-Grčić B. Power quality analysis in electric traction system with three-phase induction motors//Electric Power Systems Research. 2016. Vol. 138. P. 172-179. doi:10.1016/j.epr.2016.02.027.
11. Гулак С. О., Єрмоленко Е. К. Модель системи Тягова підстанція–контактна мережа–тяговий привід електровоза серії ВЛ-80 Т, К//Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології. 2016. №. 28. С. 99-109.
12. Гулак С. О., Єрмоленко Е. К. Розробка математичної моделі для дослідження роботи приводу допоміжних машин електровозів серій вл-80т, к, що працюють в несинусоїдальному та несиметричному режимах //Вісник (Visnik). 2018. С. 80. ISSN 1998-7927.
13. Goolak S. Методичні рекомендації щодо застосування моделі фізичних процесів у трифазному асинхронному двигуні //Транспортні системи і технології. 2018. Т. 1. №. 32. С. 4-13. DOI: https://doi.org/10.32703/2617-9040-2018-32-1-4-13

14. Apollonskiy S. M. Problems of electromagnetic compatibility in electricity of rail system //Transportation systems and technology. 2015. Vol. 1. №. 2. P. 110-126. doi: <https://doi.org/10.17816/transsyst201512110-126>. ISSN:2413-9203.
15. Babu A., Sreejaya P. Reduced Rating Railway Power Conditioners in Co-phase Traction and Traditional traction system //2015 International Conference on Control Communication & Computing India (ICCC). IEEE, 2015. P. 291-296. doi:10.1109/ICCC.2015.7432908. ISBN:978-1-4673-7349-4.
16. Методика розрахунку технологічних втрат в пристроях електропостачання. ЦЕ 0007. Затв.: Наказ Укрзалізниці № 342 від 28.08.2003. Київ: 2003. 37 с. ГОСТ 13109-97.
17. ГОСТ 13109-97. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення.
18. Жиленков А. А. Повышение эффективности систем автоматического управления качеством энергии автономных электростанций//*Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015. №. 6 (9). С. 10-16. doi: 10.15587/1729-4061.2015.56752.

REFERENCES

1. Sychenko, V. G., & Sychenko, V. G. (2015). Influence of electric power processes in traction power supply systems on the quality of electric energy.
2. Sychenko, V. G., Sayenko, Y. L., & Bosyi, D. O. (2015). Quality of electric energy in traction networks of electrified railways: monograph.
3. Kale, S. E., & Joshi, K. D. (2017). Railway Traction System: Current Status and Apportunities. *Int. J. Elect. Eng.*, 10(1), 47-56.
4. Salah, F., Ilg, J. P., Flath, C. M., Basse, H., & Van Dinther, C. (2015). Impact of electric vehicles on distribution substations: A Swiss case study. *Applied Energy*, 137, 88-96.
5. Schuller, A., Flath, C. M., & Gottwalt, S. (2015). Quantifying load flexibility of electric vehicles for renewable energy integration. *Applied Energy*, 151, 335-344.
6. Douglas H., Roberts C., Hillmansen S., & Schmid F. (2015). An assessment of available measures to reduce traction energy use in railway networks //*Energy Conversion and Management*, 106, 1149-1165.
7. González-Gil, A., Palacin, R., & Batty, P. (2015). Optimal energy management of urban rail systems: Key performance indicators. *Energy Conversion and Management*, 90, 282-291.
8. Yang, X., Li, X., Ning, B., & Tang, T. (2016). A survey on energy-efficient train operation for urban rail transit. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(1), 2-13.
9. Zhelyezko, Y. (2018). Loss of electricity. Reactive power Electricity Quality: A Manual for Practical Calculations. Litres.
10. Milešević, B., Uglešić, I., & Filipović-Grčić, B. (2016). Power quality analysis in electric traction system with three-phase induction motors. *Electric Power Systems Research*, 138, 172-179.
11. Goolak, S. O., & Yermolenko, E. K. (2016). System model Traction substation-contact network-traction drive of the electric locomotive of series ВЛ-80 Т, К. Collection of scientific works of the State economic-technological university of transport. Series: Transport Systems and Technologies, (28), 99-109.
12. Goolak, S. O., & Yermolenko, E. K. (2018). Development of a mathematical model for investigation of the operation of supplementary machines of electric ranges of series vl-80t, k, working in non-side and nosiometric modes. *Herald visnik*, 80.
13. Goolak, S. (2018). Методичні рекомендації щодо застосування моделі фізичних процесів у трифазному асинхронному двигуні. *Транспортні системи і технології*, 1(32), 4-13.
14. Apollonskiy, S. M. (2015). Problems of electromagnetic compatibility in electricity of rail system. *Transportation systems and technology*, 1(2), 110-126.
15. Babu, A., & Sreejaya, P. (2015, November). Reduced Rating Railway Power Conditioners in Co-phase Traction and Traditional traction system. In 2015 International Conference on Control Communication & Computing India (ICCC) (pp. 291-296). IEEE.
16. Methodology for calculation of technological losses in power supply devices. CE 0007. Approved: Ukrzaliznitsa Order No. 342 dated August 28, 2003. - Kyiv, 2003. - 37.
17. GOST 13109-97. Norms of quality of electric energy in general-purpose power systems.
18. Zhilenkov, A. A. (2015). Increase of efficiency of systems of automatic control of quality of energy of autonomous power stations. *East European Magazine of Advanced Technology*, (6 (9)), 10-16.

Сергей Гулак
(старший преподаватель кафедры «Тяговый подвижной состав»
Государственного университета инфраструктуры и технологий)
Эдуард Ермоленко
(аспирант кафедры «Тяговый подвижной состав» Государственного
университета инфраструктуры и технологий)
Денис Заика
(инженер кафедры «Тяговый подвижной состав» Государственного
университета инфраструктуры и технологий)

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОПДВИЖНОГО СОСТАВА НА
ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СИСТЕМЫ
ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Рассмотрены и охарактеризованы показатели качества электроэнергии, которые влияют на работу тягового и вспомогательного приводов электроподвижного состава. Проанализировано, какое влияние на каждый из показателей качества электроэнергии тяговой системы электроснабжения осуществляют тяговый и вспомогательный приводы электроподвижного состава. Предложены мероприятия по снижению влияния указанных приводов на показатели качества тяговой системы электроснабжения.

Ключевые слова: *показатели качества электроэнергии, тяговая система электроснабжения, тяговый привод, вспомогательный привод.*

Sergey Goolak
(Senior Lecturer of the «Traction Rolling Stock Department» at the State University
of Infrastructure and Technologies)
Eduard Yermolenko
(Postgraduate of the «Traction Rolling Stock Department» at the State University of
Infrastructure and Technologies)
Zaika Denys
(Engineer of the «Traction Rolling Stock Department» at the State University of
Infrastructure and Technologies)

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF ELECTRIC COMPONENT ON THE
INDICATORS OF THE QUALITY OF TRACTION SYSTEM OF ELECTRICAL
SUPPLY**

The article describes and substantiates characteristics of electric power quality parameters that influence the work of traction and auxiliary drives of electric railroad rolling stock. It is analyzed how traction and auxiliary drives of an electromotive force influence on each of the parameters of electric power of the traction power supply system. It is shown how the work of electric drives affects the random nature of processes occurring in the traction power system of railways. The methodology of calculation of the allowable contribution of consumers for the indicators of electricity quality, as well as the actual contribution of distortions of consumers in the system of traction power supply is given. For such indicators of electric power quality as deviation of voltage and

frequency and distortion of the nonsinusoidality of the voltage curve for electric lines of the VL-80 series, allowable consumer inputs and actual consumption inputs are calculated, taking into account the distortion of these indicators by other consumers of electric power. Calculations were made taking into account the random nature of the electromagnetic processes occurring in the traction power system, and provided that the probability of output of the quality index with allowable limits is 0.95. Measures to reduce the impact of these drives on the power quality parameters of the traction power supply system are proposed.

Keywords: *indicators of electric power quality, traction system of power supply, traction drive, auxiliary drive..*

УДК 629.4.027.2

Александр Сафронов, к.т.н.

(директор Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» ГП «УкрНИИВ»),

Андрей Сулим, к.т.н.

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

Павел Хозя, к.т.н.

(заведующий лабораторией электротехнических, динамических, теплотехнических и прочностных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»),

Юрий Водяников, к.т.н., с.н.с.

(ведущий научный сотрудник лаборатории электротехнических, динамических, теплотехнических и прочностных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»),

Сергей Столетов

(заместитель заведующего лаборатории электротехнических, динамических, теплотехнических и прочностных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»).

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕЛЕЖЕК МОДЕЛЕЙ 18-4129 И 18-9817 С ОСЕВОЙ НАГРУЗКОЙ 25 ТС НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Показаны конструктивные особенности тележек. Приведены результаты исследования динамических характеристик полувагонов с осевой нагрузкой 25 тс на тележках моделей 18-100, 18-4129 и 18-9817. Приведены результаты сравнительного анализа динамических характеристик 18-4129 и 18-9817.

Ключевые слова: тележка, конструкция, динамические показатели, скорость.

Вступление. Производительность вагона напрямую связана с грузоподъемностью, которая зависит в первую очередь от допустимой осевой нагрузки. В связи с этим выбор максимально допустимой осевой нагрузки – важнейший фактор, определяющий технико-экономические характеристики проектируемых вагонов.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-15

Современный этап развития грузового подвижного состава в Украине характеризуется созданием вагонов нового поколения с осевой нагрузкой 25 тс и выше. При этом программа обновления парка грузовых вагонов с повышенными осевыми нагрузками должна быть тесно связана с общими задачами железнодорожного транспорта и, в первую очередь безопасностью движения.

Безопасность движения, плавность хода, габаритная безопасность, прочность, надежность и другие эксплуатационные качества вагона в значительной мере определяются динамическими силами, действующими на вагон вследствие возникающих колебательных процессов и ударного взаимодействия между составляющими вагон массами, а также между ходовыми частями и рельсовым путем.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопрос о величине допустимой осевой нагрузки обсуждается многие десятилетия. Известен положительный зарубежный опыт тяжеловесного движения с вагонами, имеющими осевые нагрузки, превышающие 35 тс. В ряде публикаций авторами [1- 4] на базе теоретических расчетов доказывались техническая возможность и экономическая целесообразность повышения осевых нагрузок. С другой стороны, многие ученые и специалисты в России считают, что повышение осевых нагрузок свыше 25 тс вызовет существенное увеличение расходов на содержание пути, которое превышает доходы от улучшения технико-экономических параметров вагонов. В подтверждение своих доводов они приводят результаты отрицательного опыта увеличения осевой нагрузки до 25 тс на тележках 18-100 в 80-х годах или результаты испытаний перегруженных вагонов на нагрузку, превышающую расчетную.

Вместе с тем, применение полувагонов с повышенной нагрузкой на ось является важным направлением экономии затрат и получения дополнительных доходов собственника вагонов. Для решения этой задачи необходим комплексный подход, связанный как с улучшением ходовых качеств вагонов, так и завершением подготовки пути и искусственных сооружений к обращению грузовых поездов с осевыми нагрузками 25 тс. Поэтому, в качестве одного из стратегических направлений научно-технического развития на сети железных дорог Украины должно стать создание принципиально новых вагонов с повышенной осевой нагрузкой 25–30 тс [5- 8].

В Украине были разработаны несколько тележек с допустимой осевой нагрузкой 25 тс. Одними из наиболее инновационных являются тележки модели 18-4129 и 18-9817, которые являются результатом модернизации тележки 18-100, так как сохраняют трехэлементную структуру. Тележки обладают существенными конструктивными особенностями по сравнению с типовой тележкой 18-100.

Тележка модели 18-9817 выполнена по трехэлементной конструктивной схеме и представляет собой совместную разработку американской компании ASF Keystone и украинской Промышленно-инвестиционной группы «ИнтерКарГрупп» (рис.1).

В тележке были использованы конструктивные решения и технологии, примененные в тележке модели Motion Control, которая успешно эксплуатируется на железных дорогах США и Канады (рис.2).

В буксовых проемах боковой рамы установлены адаптеры «AdapterPlus» с полимерной прокладкой, которые обеспечивают пассивное вписывание тележки в кривые и могут эксплуатироваться при температурах до -60 °С. Применение данного адаптера позволит снизить износ колес и рельсов.



Рис. 1. Тележки модели 18-9817

Основные элементы тележки 18-9817



Рис. 2. Основные элементы тележки модели 18-9817

Причиной выбора этой концепции и выбора конструктивных решений элементов тележки явились требования по увеличению межремонтных пробегов с обеспечением стабильных динамических качеств на протяжении всего жизненного цикла при обеспечении нормативного воздействия на путевую структуру и сохранения существующих технологий содержания и ремонта тележки.

Тележка модели 18-4129 разработана ООО «София Инвест» (Украина). Как и другие тележки общесетевое назначения, она имеет «трехэлементное» устройство (рис. 3), предназначена для эксплуатации с осевой нагрузкой 25 тс/ось со скоростями до 140 км/ч.

Рама тележки выполнена литой незамкнутой конструкции. Для уменьшения забегания боковых рам в конструкции тележки применены диагональные связи Шеффеля, уменьшающие угол набегания колес на рельсы и, следовательно, – интенсивность износов гребней колесных пар. Рессорное подвешивание в тележке модели 18-4129 центральное одноступенчатое с фрикционными клиновыми

гасителями коливань. Конструктивні елементи приведені на рис. 4. Нагрузка от боковой рамы передается на кассетную буксу через адаптер с упругими элементами (рис. 5).

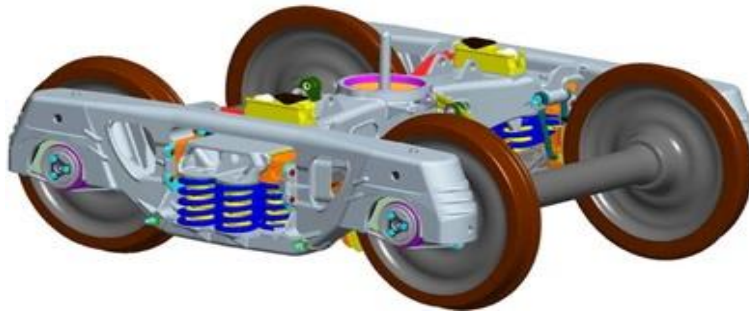


Рис. 3. Тележка модели 18-4129



Рис.4. Конструктивні елементи тележки

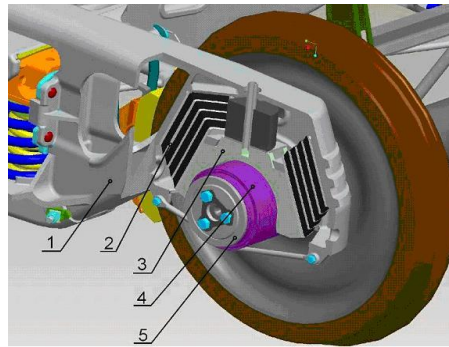


Рис. 5. Адаптер тележки модели 18-4129

1 – боковая рама тележки; 2 – резинометаллический упругий элемент; 3 – адаптер; 4 – наружное кольцо конического подшипника; 5 – торцевое крепление буксы шайбой

Цель и задачи исследования. К настоящему времени в Украине разработан и испытан ряд грузовых вагонов, специально спроектированных под осевую нагрузку 25 тс (12-7039 и 12-9745), под которыми используются вышеописанные тележки.

Данная работа посвящена сравнительному анализу технических характеристик тележек моделей 18-4129 и 18-9817 на основе экспериментальных данных полученных в ходе проведения динамических испытаний вагонов на приведенных тележках. Целью работы было выявить преимущества и недостатки тележек по оценке динамических качеств вагонов.

Материалы и методы исследования

В табл. 1 приведены технические характеристики тележек моделей 18-4129 и 18-9817.

Таблица 1. Сравнительные характеристики тележек моделей 18-4129 и 18-9817

№	Наименование характеристик	Нормативное значение			Модель тележки	
		ГОСТ 9246-2004	Технические условия		18-4129 под полувагоном 12-9745-01	18-9817 под полувагоном 12-9791
			18-4129	18-9817		
1	2	3	4	5	6	7
1	Масса тележки, кг	не более 5300	не более 5350	не более 5000	5316-5364	4902-4924
2	База, мм	не более 1900	1900 ⁺⁷ ₋₅	не более 1900	1895-1906,6	1846,4-1851
3	Коэффициент относительного трения фрикционных гасителей колебаний под тарой	0,10-0,14	0,10-0,14	0,10-0,14	-	0,102-0,127

Продолжение табл. 1

4	Коэффициент относительного трения фрикционных гасителей колебаний в рессорном подвешивании под массой брутто вагона	0,08-0,14	0,08-0,14	0,08-0,14	0,089-0,117	0,093-0,116
5	Коэффициент конструктивного запаса прогиба пружин рессорного подвешивания	не менее 1,75	не менее 1,75	не менее 1,75	1,75-1,85	1,784
6	Статический прогиб рессорного подвешивания под тарой, мм	не менее 17	не менее 17	не менее 17	20,1-21,7	29,4-32,2
7	Статический прогиб рессорного подвешивания под массой брутто, мм	не более 65	не менее 70	не менее 65	75,1-80,7	69,4-75,8
8	Разность статических прогибов под брутто и тарой вагона	не более 55	не более 60	-	53,4-59,0	39,0-43,6
9	Коэффициент запаса сопротивления усталости *: (норма – 1,8 в Украине; 1,6 в России) - надрессорная балка - боковина				1,97 1,87	2,2 1,8

Для оценки динамических качеств тележек были проведены динамические ходовые испытания в соответствии методикам изложенных в [9, 10, 11]. Исследования проводились на действующих линиях железных дорог Украины на участках: Новомосковск-Днепровский – Баловка – Днепродзержинск-Левобережный и Встречный – Сухачевка Приднепровской ж.д. [12, 13]. Нормативные значения показателей качества хода вагонов были взяты из [14, 15].

Сравнительный анализ результатов исследования показал (рис. 6 - 12):

- динамические характеристики вагона на тележках 18-4129 и 18-9817 в основном выше динамических показателей по сравнению с тележкой 18-100;
- наилучшие показатели коэффициент вертикальной динамики кузова и необрессоренных частей вагона у тележки 18-9817;
- наилучший показатель коэффициента горизонтальной динамики кузова, а также рамные силы у тележки 18-4129;

- ускорение кузова вагона в вертикальной плоскости у тележек 18-9817 и 18-4129 приблизительно одинаковые, а в горизонтальной – меньше у тележки 18-4129 за исключением скоростей более 100 км/ч;

- наилучший показатель коэффициента запаса устойчивости колеса от схода с рельс для груженого режима у тележки 18-4129 во всем диапазоне скоростей движения, а в порожнем состоянии для скоростей менее 90 км/ч.

На рис. 13 и 14 приведены абсолютные динамические показатели грузовых вагонов соответственно в груженом и порожнем состояниях на исследуемых тележках при скорости 90 км/ч, а на рисунках 15 и 16 - при скорости 100 км/ч.

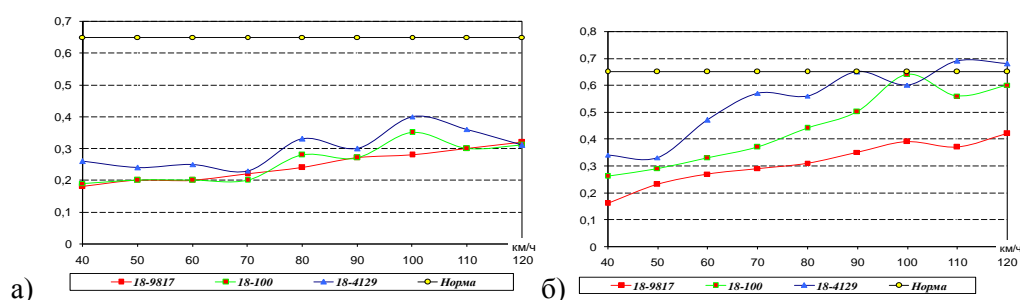


Рис. 6. Коэффициент вертикальной динамики кузова (а) – груженный режим, б) – порожний режим)

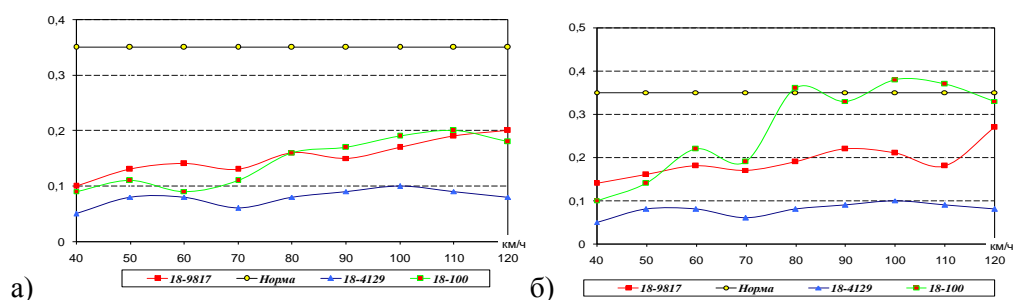


Рис. 7. Коэффициент горизонтальной динамики кузова (а) – груженный режим, б) – порожний режим)

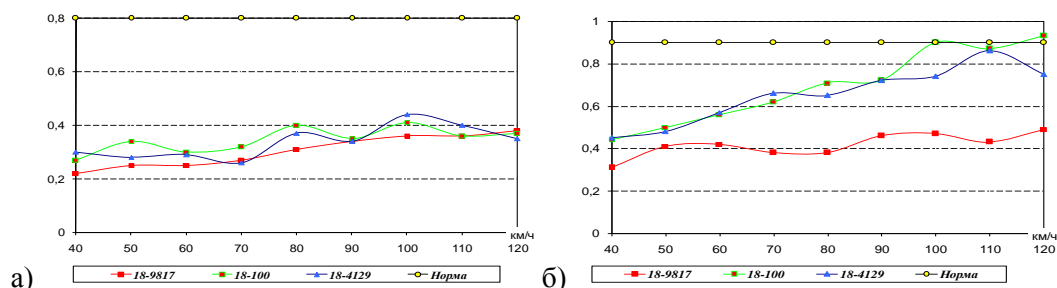


Рис. 8. Коэффициент вертикальной динамики необрессоренных элементов рамы тележек (а) – груженный режим, б) – порожний режим)

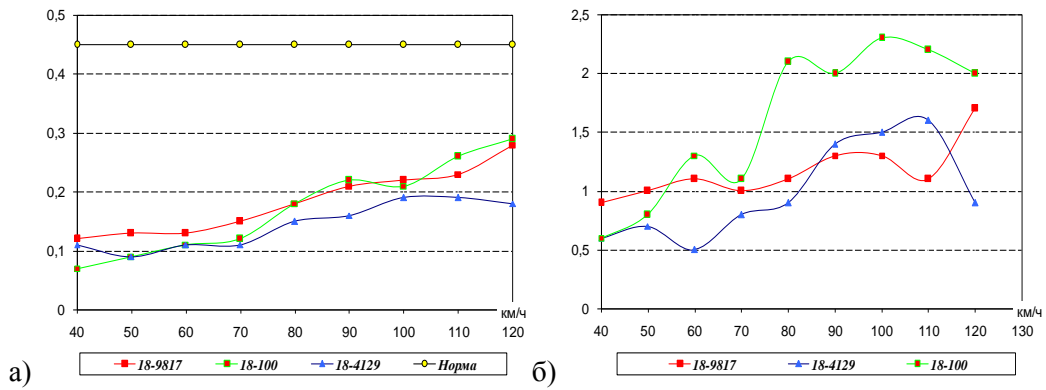


Рис. 9. Рамная сила (а) – грузеный режим, б) – порожний режим)

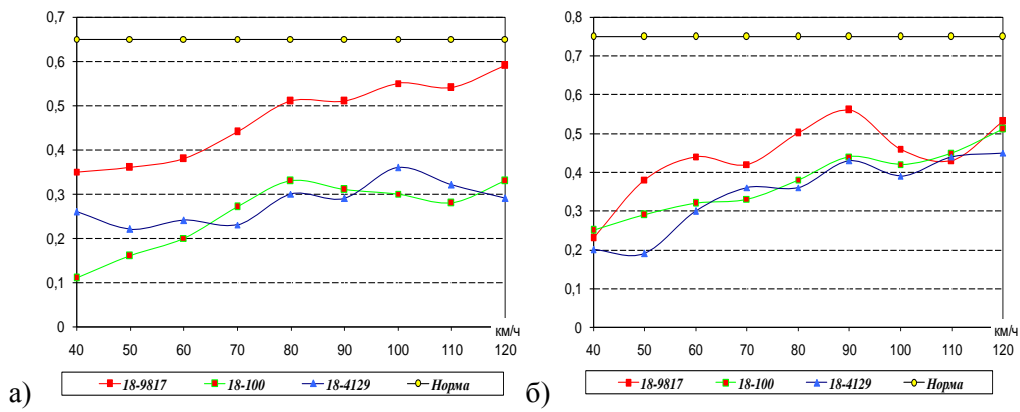


Рис. 10. Ускорення кузова вагона в вертикальній площині, долей g (а) – грузеный режим, б) – порожний режим)

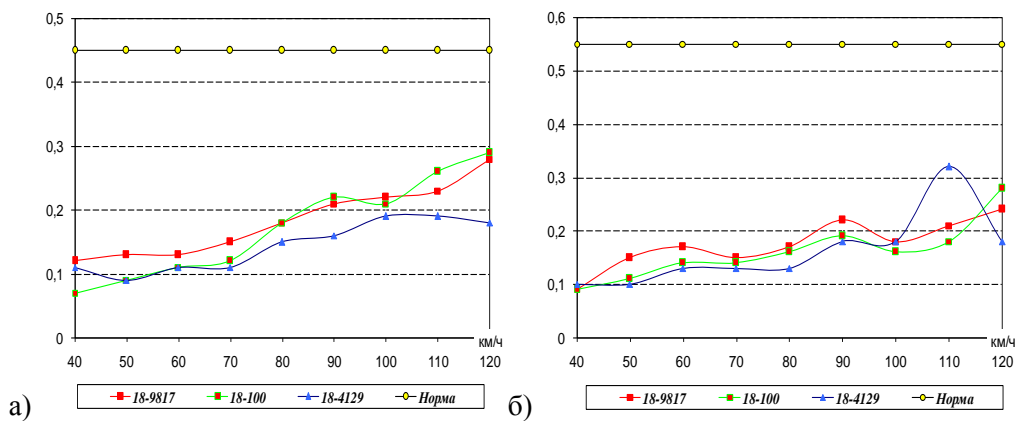


Рис. 11. Ускорення кузова вагона в горизонтальній площині, долей g (а) – грузеный режим, б) – порожний режим)

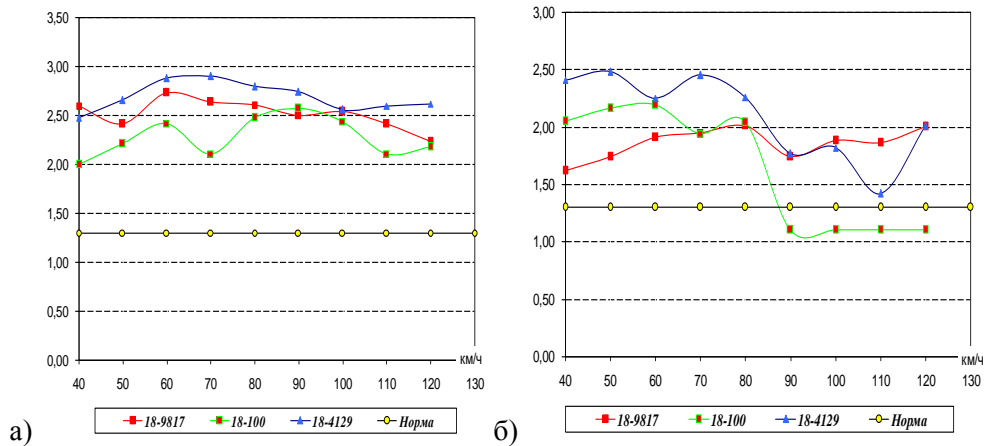


Рис. 12. Коэффициент запаса устойчивости колеса от схода с рельсов (а) – груженный режим, б) – порожний режим)

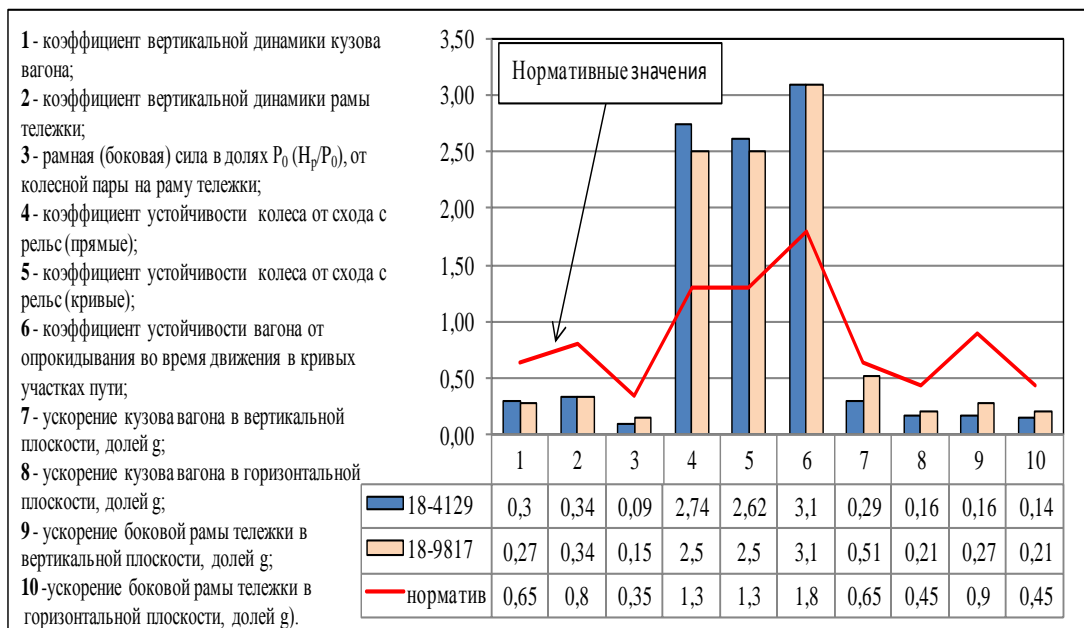


Рис. 13. Динамические характеристики грузовых вагонов на тележках 18-4129 и 18-9817 при скорости 90 км/ч в груженом состоянии

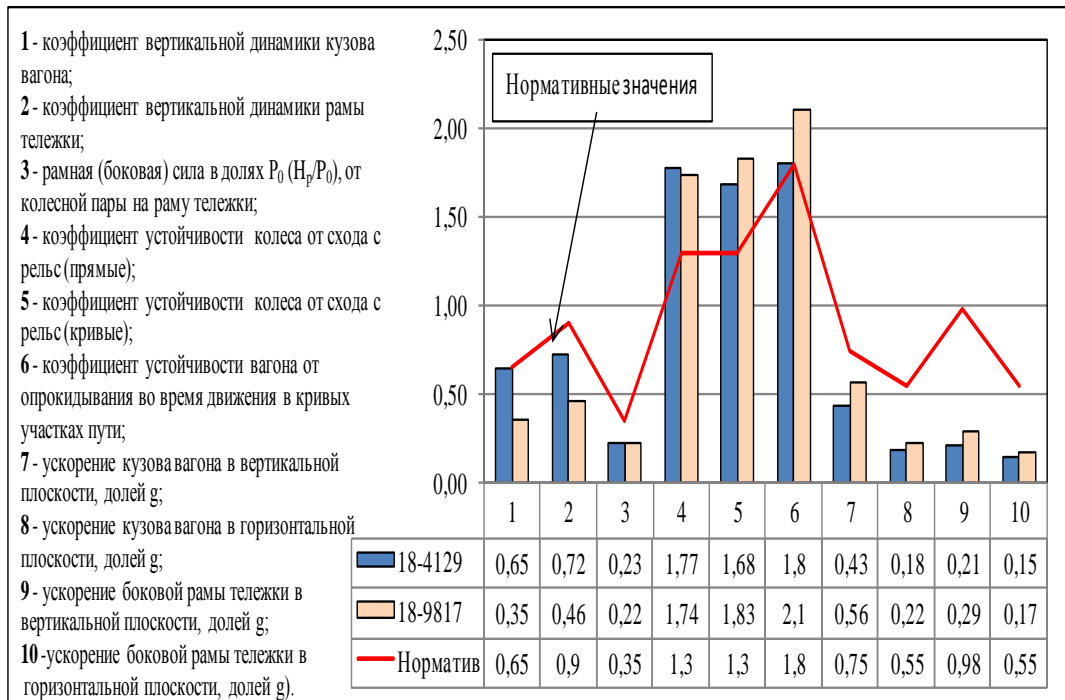


Рис. 14. Динамические характеристики грузовых вагонов на тележках 18-4129 и 18-9817 при скорости 90 км/ч в порожнем состоянии

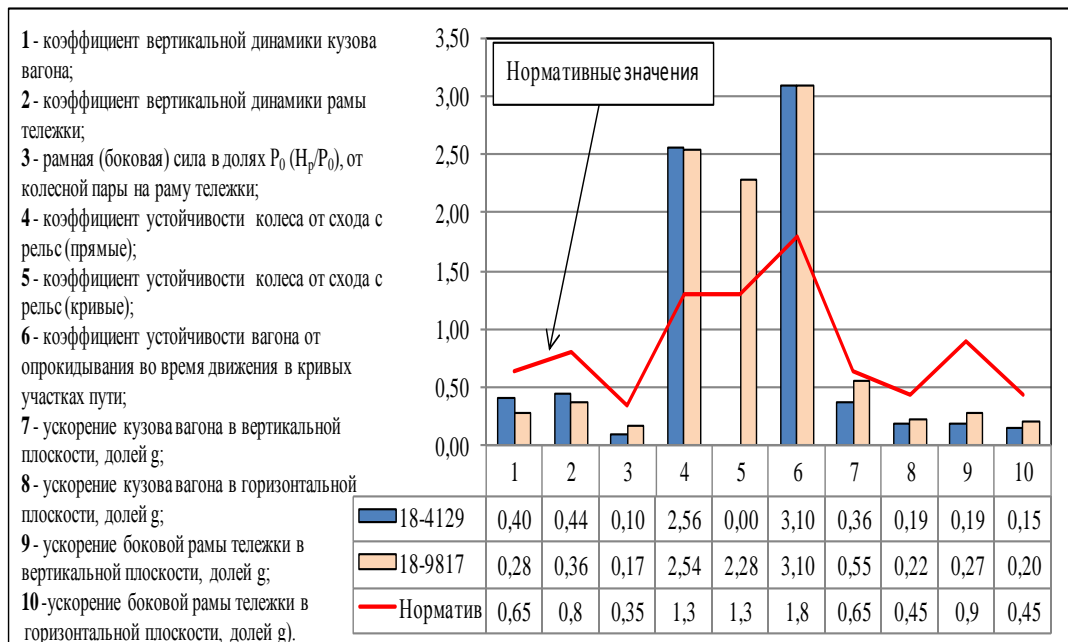


Рис. 15. Динамические характеристики грузовых вагонов на тележках 18-4129 и 18-9817 при скорости 100 км/ч в груженом состоянии

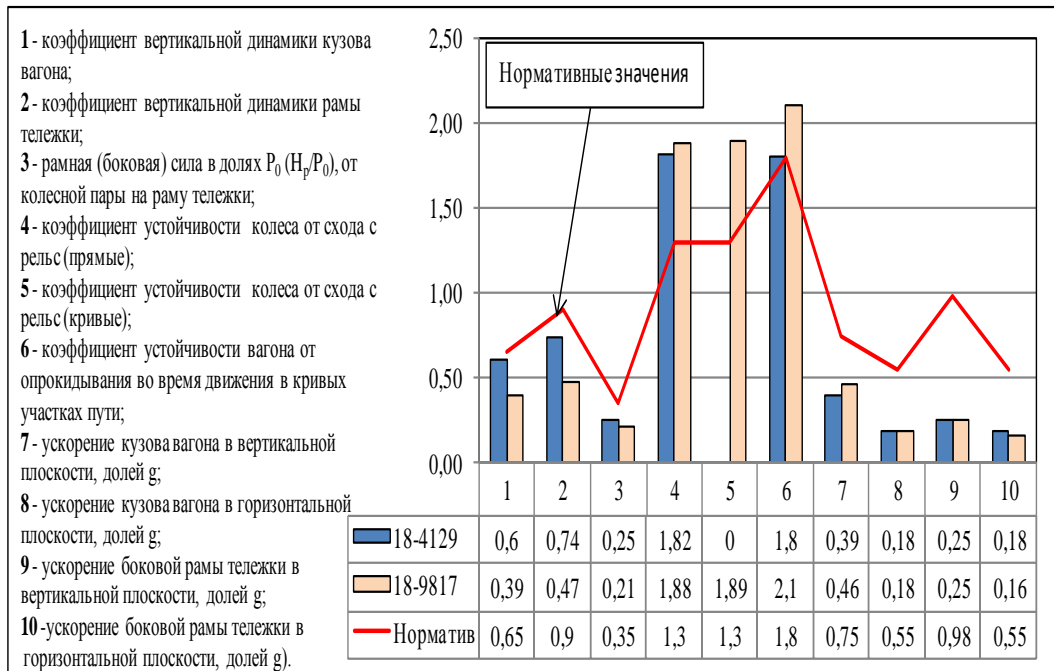


Рис. 16. Динамические характеристики грузовых вагонов на тележках 18-4129 и 18-9817 при скорости 100 км/ч в порожнем состоянии

Сравнительный анализ диаграмм (рис. 13-16) показал:

1 При груженом режиме динамические показатели полувагона на тележках 18-4129 превосходят аналогичные показатели тележки 18-9817- так в груженом состоянии при скорости движения 90 км/ч из десяти показателей девять являются лучшими или равными (рис. 17), а при скорости 100 км/ч такими являются восемь показателей (рис. 18);

2 Для порожнего режима при скорости 90 км/ч лучшие динамические характеристики полувагона на тележках 18-9817 по пяти показателям (рис. 19), а при скорости 100 км/ч – по шести (рис. 20);

3 Динамические показатели полувагона на тележках модели 18-4129 являются лучшими по сравнению с тележкой 18-9817 при груженом режиме движения, а на тележках модели 18-9817 – при порожнем.

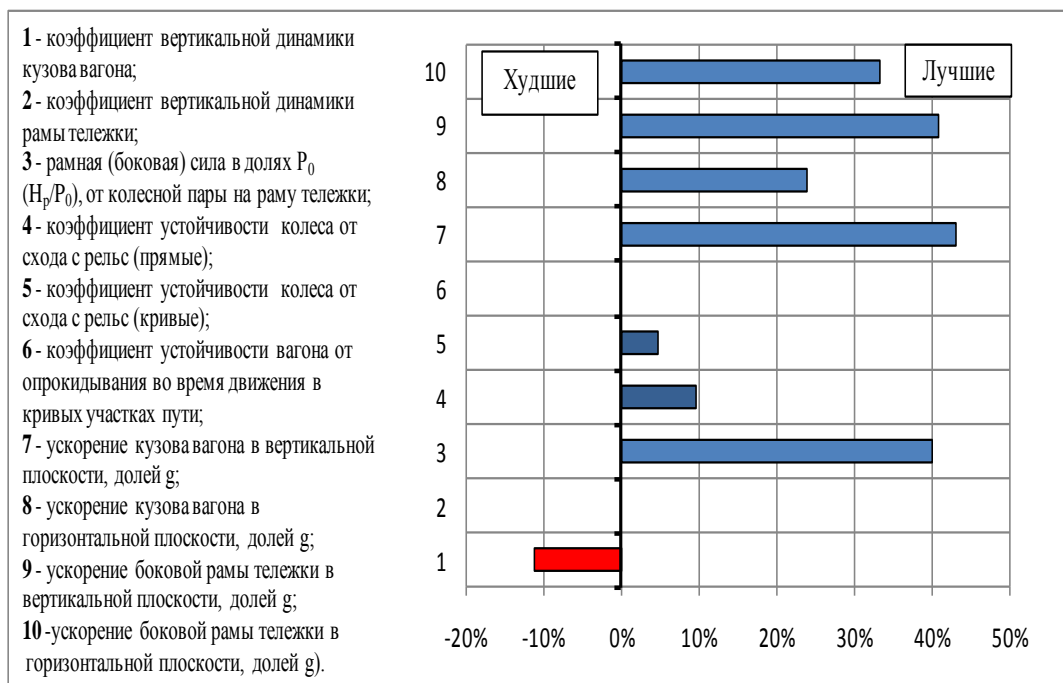


Рис. 17. Процентное соотношение динамических характеристик грузовых вагонов на тележках 18-4129 по сравнению с тележкой 18-9817 при скорости 90 км/ч в груженом состоянии

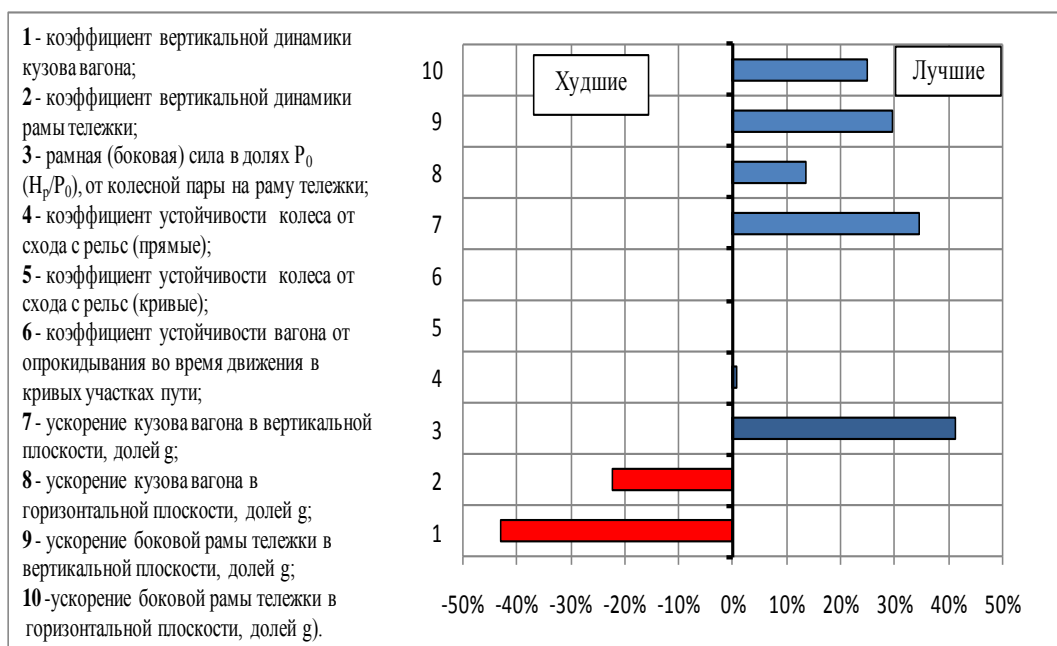


Рис. 18. Процентное соотношение динамических характеристик грузовых вагонов на тележках 18-4129 по сравнению с тележкой 18-9817 при скорости 100 км/ч в груженом состоянии

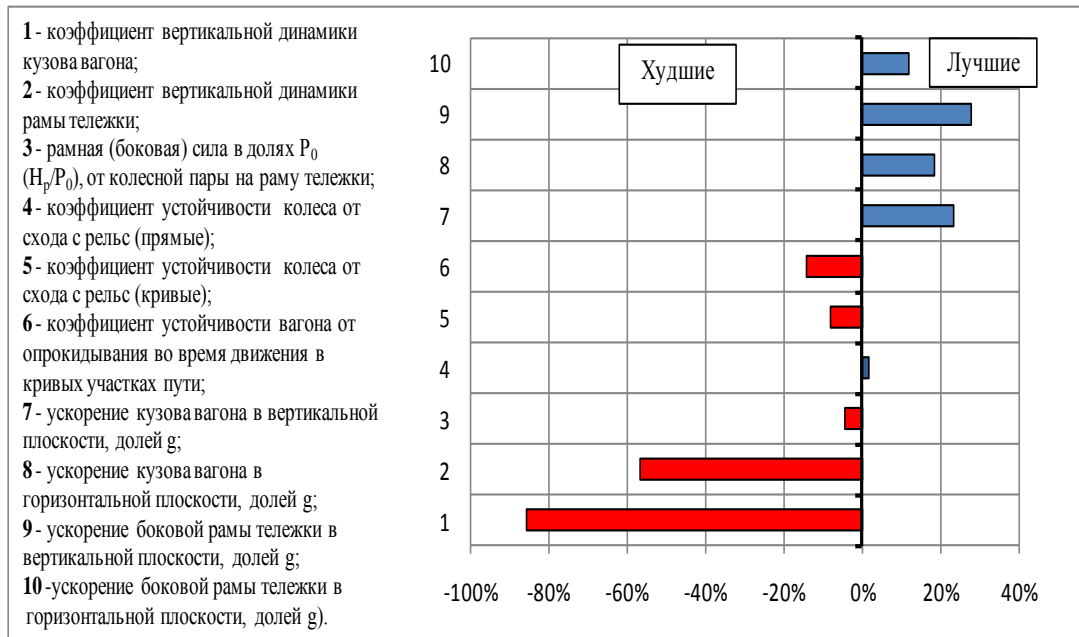


Рис. 19. Процентное соотношение динамических характеристик грузовых вагонов на тележках 18-4129 по сравнению с тележкой 18-9817 при скорости 90 км/ч в порожнем состоянии

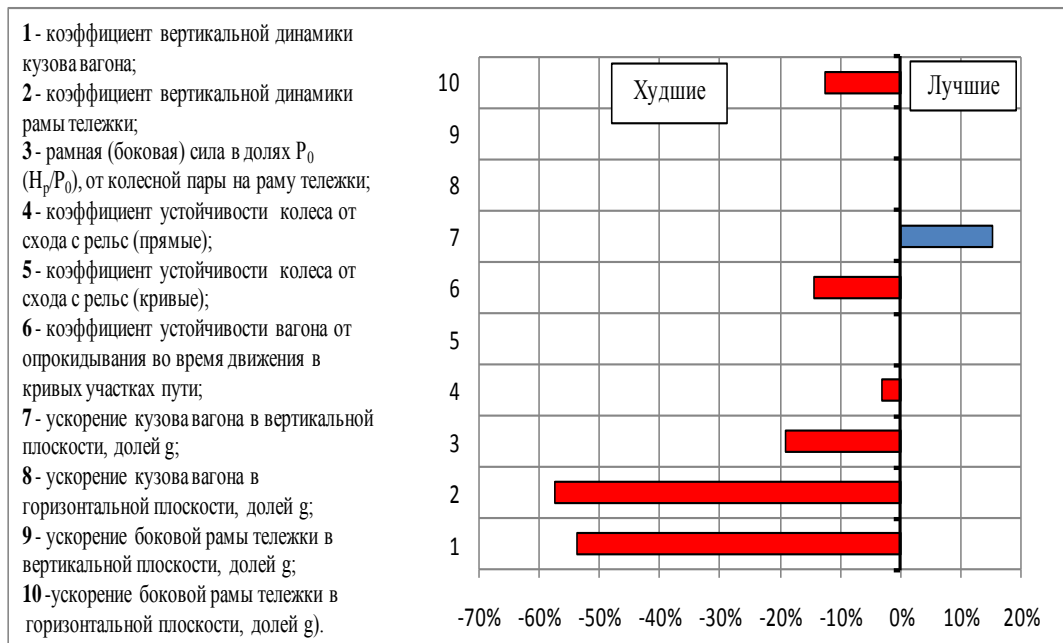


Рис. 20. Процентное соотношение динамических характеристик грузовых вагонов на тележках 18-4129 по сравнению с тележкой 18-9817 при скорости 90 км/ч в порожнем состоянии

Выводы. На динамические показатели грузовых вагонов на тележках 18-9817 и 18-4129 оказывают влияние их конструктивные особенности:

1 Для типовой тележки 18-100 продольные, поперечные и угловые взаимные перемещения наддресорной балки и боковых рам передаются через фрикционные клинья и пружинный комплект, что является существенным недостатком этой тележки. Наиболее остро этот недостаток проявляется при большом износе пар трения и неправильном подборе размеров конструктивных элементов, что приводит к увеличению забегания боковых рам, перекосу наддресорной балки и изменению кинематики тележки с вытекающими отсюда неблагоприятными последствиями для динамической нагруженности как тележки, так и путевой структуры;

2 В тележке модели 18-9817 клин разгружен от восприятия чрезмерных поперечных и угловых нагрузок, так как передача этих нагрузок происходит непосредственно от наддресорной балки на вертикальные стойки боковой рамы. Наклонные контактные поверхности клина установленного на тележке модели 18-9817 разнесены и имеют сложный угол контакта с криволинейной поверхностью, что улучшает работу фрикционного клина при гашении поперечных колебаний, улучшает связанность боковой рамы с наддресорной балкой и уменьшает износ трущихся поверхностей. Кроме того между боковой рамой тележки и адаптером установлены упругие прокладки, которые уменьшают динамические силы в вертикальной плоскости;

3 В конструкции тележки 18-4129 для функции направления колесных пар между межосевыми связями и рамой тележки, боковины устанавливаются на адаптеры колесных пар через горизонтально-упругие очень мягкие (в плане неметаллические) амортизаторы. Эффективное влияние на горизонтальную динамику вагона оказывают диагональные связи Шеффеля, а также наличие у тележки одноточечного контакта фрикционного клина при движении в кривых участках железнодорожного пути;

4 Использование на тележках скользунов постоянного контакта между кузовом и наддресорной балкой тележки стабилизирует устойчивость движения вагона благодаря демпфированию автоколебаний виляния.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бороненко Ю. П.* Инновационный грузовой подвижной состав железных дорог и его высокотехнологичное производство. *Наука и транспорт.* № 3. 2012. С. 18-20.
2. *Н.А.Бочкарев.* Тележка грузового вагона, переход к новому поколению. «Железнодорожный транспорт» №7. 2006. С. 53-55.
3. *Ю.П. Бороненко.* Тележка с повышенной осевой нагрузкой. «Железнодорожный транспорт» №10. 2008. С. 50-53.
4. *Бороненко Ю. П., Третьяков А. В., Зимакова М. В.* Оценка возможности и эффективности повышения осевых нагрузок грузовых вагонов. Вестник института проблем естественных монополий: техника железных дорог. 2017. Номер 1 (37). С. 32-37.
5. *Фомін О.В.* Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту* : Серія «Транспортні системи і технології». Київ: ДЕТУТ, 2015. Вип. 26-27. С. 137-147.
6. *Фомін О.В.* Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. Харків. 26. 2012. С. 29-33.
7. *Кельріх М. Б.* Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганськ: СНУ ім. В. Даля.* № 2. 2014. С. 210.
8. *Макаренко М. В.* Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону. «Залізничний транспорт України». К.: ДНДЦ УЗ. №. 5. 2014. С. 107.

- 9 . *РД 24.050.37-90* Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний напрочность и ходовые качества. М., ВНИИВ, 1990.
- 10 . *РД 24.050.37-95* Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний напрочность и ходовые качества. М., ГосНИИВ, 1995.
- 11 . *Анисимов П.С.* Испытания вагонов: Монография. М.: Маршрут, 2004. 197 с.
- 12 . *Протокол № 743* від «28» січня 2008 р. Попередніх випробувань (ходові динамічні та ходові міцнісні випробування) дослідних зразків двовісного візка моделі 18-4129 та 18-4129-01 з вагоном моделі 12-9745-01. ДП «УкрНДІВ».
- 13 . *Протокол № 812* від 06 жовтня 2008 р. Попередніх випробувань (на міцність і порівняльні ходові динамічні) напіввагона моделі 12-9791 (Тележка модели 18-9817 это совместная разработка американской компании ASF Keystone и украинской Промышленно-инвестиционной группы «ИнтерКарГрупп»). ДП «УкрНДІВ»
- 14 . *Нормы* для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ВНИИВ-ВНИИЖТ. М., 1983 с изм. и доп.
- 15 . *Нормы* для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ГосНИИВ-ВНИИЖТ. М., 1996 с изм. и доп.

REFERENCES

1. *Boronenko Yu.P.* (2012) Innovative freight rolling stock of railways and its high-tech production. Science and Transport № 3. p. 18-20.
2. *N.A.Bochkarev.* (2006) Truck freight car, the transition to a new generation. "Railway transport" №7. pp. 53-55.
3. *Yu.P. Boronenko.* (2008) Trolley with increased axial load. "Railway transport" №10. p. 50-53.
4. *Boronenko Yu. P., Tretyakov A.V., Zimakova M.V.* (2017) Assessment of the possibility and effectiveness of increasing axial loads of freight cars. Bulletin of the Institute of Problems of Natural Monopolies: Railway Engineering. Number 1 (37). Pp. 32-37.
5. *Fomin, O.V.* (2015) Variational description of constructive performances of freight cars Collection of scientific works of the State Economic-Technological University of Transport of the Ministry of Education and Science of Ukraine: Series "Transport Systems and Technologies". Kyiv: DETUUT. 26-27. Pp. 137-147.
6. *Fomin O.V.* (2012) Development of the method of introduction of various profiles as components of load bearing systems of freight cars. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Kharkiv 26. Pp. 29-33.
7. *Kelrich M. B.* (2014) Structural-functional description of the body module design of modern universal gondola. Bulletin of the East-Ukrainian National University. V. Dahl Lugansk: SNU them. V. Dahl № 2. P. 210.
8. *Makarenko M.V.* (2014) Complex analysis of the economic effect of the life cycle of modern semigo. Scientific and Practical Journal "Railway Transport of Ukraine". K. : DNDC UZ. No. 5. P. 107.
9. *RD 24.050.37-90* (1990) Freight and passenger wagons. Test methods for strength and ride quality. М., VNIIV.
10. *RD 24.050.37-95* (1995) Freight and passenger wagons. Test methods for strength and ride quality. М., GosNIIV.
11. *Anisimov P.S.* (2004) Tests of cars: Monograph. М. : Route, 197 p.
12. *TEST REPORT №743* dated January 28, 2008, on preliminary tests (running dynamic and strength running tests) of two-axle bogie prototype models 18-4129 and 18-4129-01 of train model 12-9745-01.
13. *TEST REPORT № 812* dated October, 06, 2008 on preliminary tests (strength and comparative dynamic running parameters) of open wagon model 12-9791 (bogie model 18-9817 is joint development of the American company ASF Keystone and the Ukrainian Industrial-investment group InterKarGroup).
14. *Norms* for the calculation and design of new and modernized cars of 1520 mm gauge railways of the railways of the Ministry of Railways (non-self-propelled). VNIIV-VNIIZhT. М., 1983, rev. and add.
15. *Norms* for calculating and designing railroad cars of 1520 mm MPS railways (non-self-driving). GosNIIV-VNIIZhT. М., 1996 rev. and add.

Олександр Сафронов, к.т.н.
(директор Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» ДП «УкрНДІВ»),

Андрій Сулим, к.т.н.

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

Павло Хозя, к.т.н.

(завідувач лабораторією електротехнічних, динамічних, теплотехнічних і міцносних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»),

Юрій Водяников, к.т.н., с.н.с.

(провідний науковий співробітник лабораторії електротехнічних, динамічних, теплотехнічних і міцносних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»),

Сергій Столетов

(заступник завідувача лабораторії електротехнічних, динамічних, теплотехнічних і міцносних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»).

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕЛЕЖЕК МОДЕЛЕЙ 18-4129 І 18-9817 З ОСЬОВИЙ НАВАНТАЖЕННЯМ 25 ТС НА ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Продуктивність вагона безпосередньо пов'язана з вантажопідйомністю, яка залежить в першу чергу від допустимої осьової навантаження. У зв'язку з цим вибір максимально допустимої осьової навантаження – найважливіший фактор, що визначає техніко-економічні характеристики проєктованих вагонів. Питання про величину допустимої осьової навантаження обговорюється багато десятиліть. Для вирішення цього завдання необхідний комплексний підхід, пов'язаний як з поліпшенням ходових якостей вагонів, так і завершенням підготовки колії та штучних споруд до звернення вантажних поїздів з осьовими навантаженнями 25 тс.

Найбільш інноваційними є візки моделі 18-4129 і 18-9817, які є результатом модернізації візка 18-100. Візок моделі 18-9817 являє собою спільну розробку американської компанії ASF Keystone і української Промислово-інвестиційної групи «ІнтерКарГруп». У візку були використані конструктивні рішення і технології, застосовані в візку моделі Motion Control, яка успішно експлуатується на залізницях США і Канади. У буксових отворах бічної рами встановлені адаптери «AdapterPlus» з полімерної прокладанням. Застосування даного адаптера дозволить знизити знос коліс і рейок. Візок моделі 18-4129 розроблена ТОВ «Софія Інвест» (Україна). Рама візка виконана литий незамкненою конструкції. Для зменшення забігання бічних рам в конструкції візка застосовані діагональні зв'язку Шеффеля, що зменшують кут набігання коліс на рейки і, отже, - інтенсивність зносів гребенів колісних пар. Ресорне підвішування в візку моделі 18-4129 центральне одноступенчатое з фрикційними клиновими гасителями коливань. Порівняльний аналіз результатів дослідження показав: динамічні характеристики вагона на візках 18-4129 і 18-9817 в основному вище динамічних показників в порівнянні з візком 18-100; найкращі показники коефіцієнт вертикальної динаміки кузова і необрессорених частин вагона у візків 18-

9817; найкращий показник коефіцієнта горизонтальної динаміки кузова, а також рамні сили у візків 18-4129; прискорення кузова вагона у вертикальній площині у візків 18-9817 і 18-4129 приблизно однакові, а в горизонтальній - менше у візків 18-4129 за винятком швидкостей понад 100 км/год; найкращий показник коефіцієнта запасу стійкості колеса від сходу з рейок для навантаженого режиму у візків 18-4129 у всьому діапазоні швидкостей руху, а в порожньому стані для швидкостей менше 90 км/год.

Ключові слова: візок, конструкція, динамічні показники, швидкість.

Oleksandr Safronov, Ph.D in Engineering

(Director of the State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute DP "UkrNDIV").

Andrii Sulym, Ph.D in Engineering

(Deputy Director of science of the State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute")

Pavlo Khozia, Ph.D in Engineering.

(Head of the Research Laboratory for electrotechnical, dynamic, heat engineering and strength studies of railway equipment of the State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute "),

Yurii Vodanykov, Ph.D.in Engineering

(leading researcher of the Research Laboratory for electrotechnical, dynamical, heat engineering and strength research of railway equipment of the State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Building Research Institute "),

Sergii Stoletov

(Deputy Head of the Research Laboratory for electrotechnical, dynamic, heat engineering and strength research of railway equipment of the State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute ").

EFFECT OF DESIGN FEATURES OF BOGIES MODELS 18-4129 AND 18-9817 WITH AXLE LOAD OF 25 TF ON DYNAMIC PARAMETERS OF WAGONS

The performance of the wagons is directly related to the carrying capacity, which depends primarily on the permissible axial load. In this regard, the choice of the maximum permissible axial load is the most important factor determining the technical and economic characteristics of the wagons being designed. The issue of the permissible axial load has been discussed for many decades. To solve this task, an integrated approach is needed, associated both with improved riding quality of wagons and completion of track preparation and fixed track structures for handling freight trains with axial loads of 25 ton-force.

The most innovative are the bogies of models 18-4129 and 18-9817, resulting from the modification of bogie 18-100. Bogie model 18-9817 is a joint development of the American company ASF Keystone and the Ukrainian Industrial and Investment Group InterCarGroup. Bogie design took advantages of structural solutions and technologies used in Motion Control bogie model, which is successfully in service on the railways of the United States and Canada. AdapterPlus adapters with a polymeric gasket are installed in the axlebox of the side frame. The use of this adapter will reduce wheel and rail wear. Bogie model 18-4129 was constructed by Sophia Invest LLC (Ukraine). The frame of the bogie is made of an open cast

structure. Scheffel diagonal braces are used to reduce the lozengeing of bogie side frames, reducing the wheel run-up angle on the rails and, consequently, the wear intensity of wheelset flange. Air-spring suspension in a bogie model 18-4129 is a central single-stage with friction wedge-type vibration dampers. The comparative analysis of the study results showed that the dynamic characteristics of the car on bogies 18-4129 and 18-9817 are generally higher than the dynamic parameters of the bogie 18-100; the best values are the coefficient of the vertical body dynamics and unsprung parts of the car in the bogie 18-9817; bogies 18-4129 showed the best value of the coefficient of horizontal dynamics of the body, as well as the frame forces; the acceleration of the car body in the vertical plane is approximately the same for bogies 18-9817 and 18-4129, and the acceleration in the horizontal plane is less in the bogie 18-4129 with the exception of speeds over 100 km/h; the best value of the stability factor of the wheel against derailment in the loaded mode is for the bogie 18-4129 in the entire range of speeds, and in the empty state for speeds less than 90 km/h.

Keywords: *bogie, design, dynamic parameters, speed.*

УДК 629.423.2:592.52

Александр Сафронов, к.т.н.
(директор Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» ГП «УкрНИИВ»).

ТОРМОЗНЫЕ ПУТИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ЭКР1 ПРИ СКОРОСТИ 200 КМ/Ч И НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ ТОРМОЖЕНИЯ

Представлены результаты исследования тормозной эффективности электропоезда при низком коэффициенте сцепления колеса с рельсом (юзовая ситуация) в диапазоне скоростей в начале торможения (40-200) км/ч. Исследования выполнены с применением математического и компьютерного моделирования. Результаты показали, что тормозной путь электропоезда при скорости 200 км/ч и непрерывном срабатывании противоюзного устройства в течении 37,4 с (44 % от общего времени торможения) и юзовой ситуации на 50 % колесных парах составил 1933 м, что меньше нормативного значения 1940 м. Приведены диаграммы и характеристики тормозного процесса при торможении в диапазоне скоростей (40-200) км/ч в условиях срабатывания противоюзного устройства.

***Ключевые слова.** Электропоезд, юз, скорость, тормозной путь, удельная тормозная сила, противоюзное устройство.*

Вступление. Тормоза скоростного подвижного состава характеризуются высокой эффективностью действия с максимальным использованием при торможении силы сцепления колеса с рельсом, которая с ростом скорости движения, несколько снижается. Повышение тормозной эффективности пассажирских вагонов увеличивает вероятность появления юза[1] (заклинивания колесных пар) при торможении, поэтому для устранения предотвращения полной блокировки (заклинивания) колесных пар на вагоне используется противоюзное устройство с микропроцессорными блоками-анализаторами, безконтактными импульсными сенсорными датчиками и регулятором давления[2].

Противоюзное устройство отслеживает линейную скорость вагона и линейную скорость вращения каждой колесной пары. При входе колесной пары в юзовую ситуацию, линейная скорость вращения колесной пары уменьшается, при этом анализатор дает команду электромагнитному клапану для быстрого выпуска воздуха из тормозного цилиндра в атмосферу[3], в результате линейная скорость вращения колеса увеличивается и при достижении скорости равной скорости движения вагона происходит наполнение тормозного цилиндра сжатым воздухом до первоначального давления (рис. 1).

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-19

Анализ диаграмм изменения давлений показывает:

- 1 Время снижения давления в тормозном цилиндре от 4,15 кг/см² до 0 составляет 0,95 с;
- 2 Время наполнения тормозного цилиндра от 0 до первоначального (4,15 кг/см²) составляет 0,6 с;
- 3 Время от начала снижения давления в тормозном цилиндре до восстановления его до номинального составляет 2,75 с;
- 4 Порционное снижение давления в питательном резервуаре составляет в среднем 0,1 кг/см²;
- 5 Давление в главной тормозной магистрали и уравнительном резервуаре остаются постоянными;

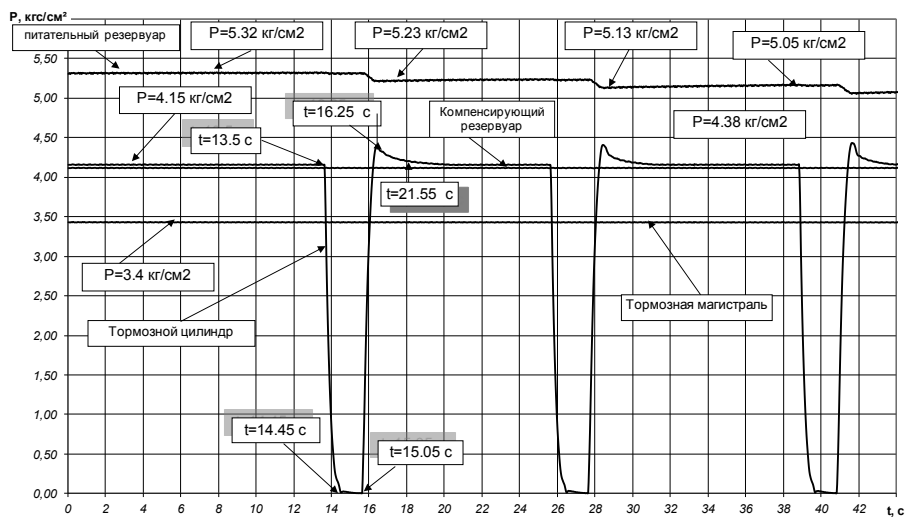


Рис. 1. Изменение давления в тормозном цилиндре вагона при срабатывании противоюзного устройства

Основное требование к противоюзному устройству состоит в надежном функционировании в диапазоне скоростей движения вагона от 10 км/ч до 200 км/ч и выше[4], в том числе при использовании дополнительных тормозов, принцип действия которых не зависит от сцепления колеса с рельсом, при этом скорость скольжения колесных пар по рельсам не должно превышать 10-15 % от линейной скорости движения вагона. Снижение давления в тормозных цилиндрах обуславливает снижение удельной тормозной силы и, следовательно, увеличение тормозного пути пассажирского поезда[5-7]. В этой связи, в одну из актуальных выдвигаются задачи определения тормозного пути пассажирского поезда в условиях низкого коэффициента сцепления колеса с рельсом, сопровождаемое срабатыванием противоюзного устройства. Следует отметить, что нормы Евросоюза устанавливают для высокоскоростного подвижного состава тормозные расстояния как при благоприятных, так и при неблагоприятных погодных условиях при входе в юз колесных пар и срабатывании противоюзных устройств (табл. 1).

Таблиця 1. Международные стандарты в области эксплуатации высокоскоростного подвижного состава

Эксплуатационная скорость, км/ч	Технические требования	
	Технические требования Евросоюза TSI (благоприятные условия)	Технические требования Евросоюза TSI (неблагоприятные условия)
350	5360	-
300	3650	4690
250	2430	3130
200	1500	1940

Анализ последних исследований постановка проблемы. В работе [8,9] приводятся особенности кинематики вращения колесной пары при срабатывании противоюзного устройства – при безюзовом торможении частота вращения колесной пары изменяется равномерно (рис. 3), а при срабатывании противоюзного устройства характеризуется изменением частоты вращения колесной пары (рис. 4) и углового ускорения (рис. 5) [1].

Особенности кинематики вращения колесной пары при срабатывании противоюзного устройства для различных скоростей в начале торможения приведены на рис.6 – 9.

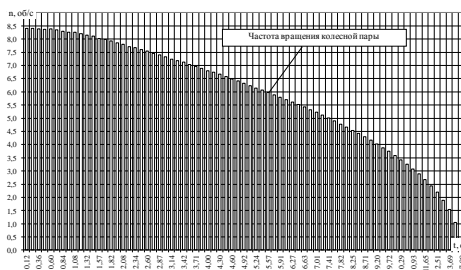


Рис. 3. Кинематика вращения колесной пары при отсутствии юзовой ситуации

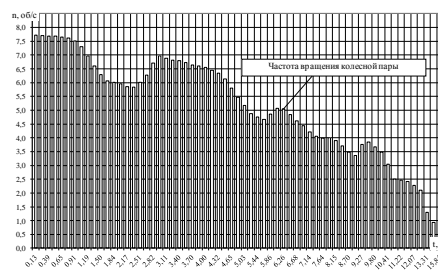


Рис. 4. Кинематика вращения колесной пары при юзовой ситуации

В работе [7,10] приведена методика экспериментальных исследований эффективности противоюзного устройства по критерию увеличения тормозных путей вагона при срабатывании противоюзного устройства. Эффективность противоюзного устройства оценивается посредством серии экстренных торможений отдельного вагона на прямом участке пути с уклоном не более 1 ‰, при этом рельсы должны быть сухими и чистыми, а колеса полностью очищенными путем прохождения отрезка пути длиной не менее 20 км/ч.

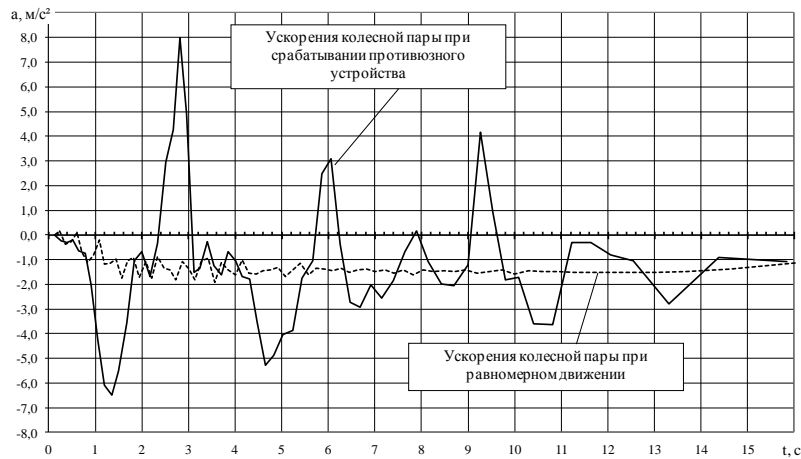


Рис. 5. Ускорення колесной пары

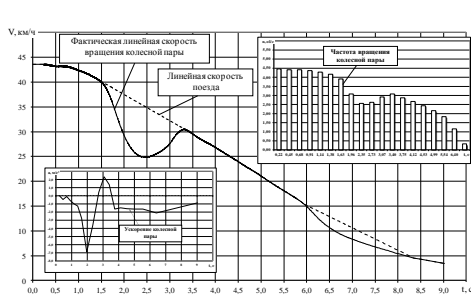


Рис. 6. Кинематика вращения колесной пары при скорости при в начале торможения 43 км/ч

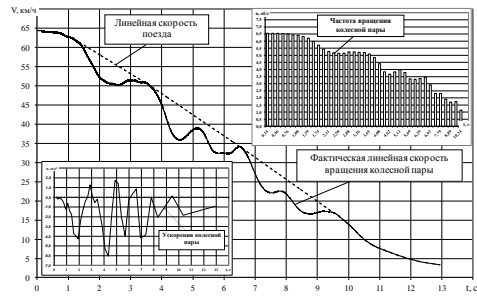


Рис. 7. Кинематика вращения колесной пары при скорости в начале торможения 65 км/ч

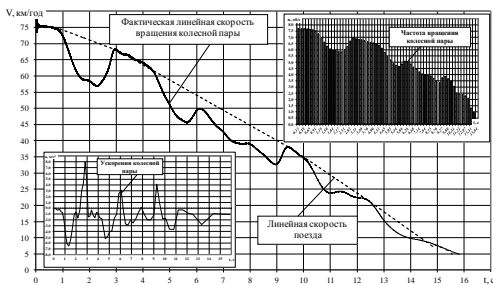


Рис. 8. Кинематика вращения колесной пары при скорости при в начале торможения 75 км/ч

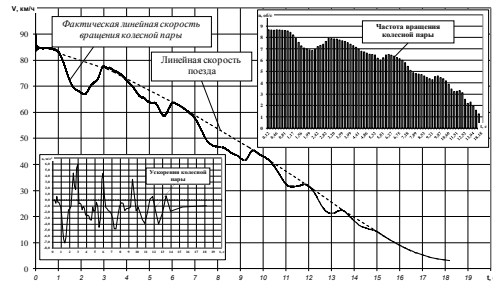


Рис. 9. Кинематика вращения колесной пары при скорости в начале торможения 84 км/ч

В процессе торможения, с целью уменьшения коэффициента сцепления колеса и рельса, перед каждым колесом первой колесной пары вагона наносится

специальный раствор. Раствор, при движении вагона, подается на продольную поверхность рельса в нескольких сантиметрах от рельса и колеса под давлением от 0,1 бар до 0,2 бар через сопла диаметром 8 мм. Критериями условия проведения испытаний по определению тормозного пути при работе противоюзного устройства в процессе торможения являются:

- начальная скорость 120 км/ч;
- в юзовой ситуации (проскальзывании) должны находиться на менее 50% колесных пар;
- суммарное время проскальзывания колесных пар при торможении должно составлять не менее 35 % от времени торможения вагона.

Цель и задачи исследования. Проведение экспериментальных исследований по оценке эффективности противоюзного устройства связано со значительными материальными затратами и техническими трудностями [8]. Поэтому на первом этапе рационально использовать методы компьютерного моделирования для конкретного вагона (поезда), прошедшего полный цикл тормозных испытаний и для которого получены фактические значения удельной тормозной силы в заданном диапазоне скоростей в начале торможения.

Целью исследования является определение тормозных путей электропоезда при скорости в начале торможения 200 км/ч при неблагоприятных условиях, сопровождаемых низким коэффициентом сцепления колеса с рельсом.

Материалы и методы исследования. Моделирование юзовой ситуации осуществлялось путем задания функциональной зависимости изменения удельной тормозной силы в процессе торможения.

За основу математического моделирования тормозного процесса принимается дифференциальное уравнение, описывающее торможение вагона как единой массы [11, 12, 16]:

$$\frac{dv}{dt} = -\zeta \cdot \{1000 \cdot b_{уд}(t) + w_{ox}(v) + i_c\}, \quad (1)$$

где ζ - замедление поезда при действии удельной замедляющей силы, принимается равным 120 км/ч² [14];

$b_{уд}(t)$ - удельная тормозная сила, зависящая от времени торможения;

i_c - величина уклона рельсового пути, ‰.

w_{ox} - основное удельное сопротивление движению поезда, определяется по формуле [13]:

на звеньевом пути:

$$w_{ox} = 0,7 + \frac{8 + 0,18 \cdot V + 0,003 \cdot V^2}{q_0}, \quad (2)$$

на безстыковом пути:

$$w_{ox} = 0,7 + \frac{8 + 0,16 \cdot V + 0,0023 \cdot V^2}{q_0}, \quad (3)$$

где q_0 - осевая нагрузка, тс/ось.

Характеристики тормозного процесу електропоезда при екстремному електропневматическому і безьюзовому торможенні в діапазоні швидкостей (40-200) км/чприведены в таблиці 2 [14].

Таблиця 2. Характеристики тормозного процесу електропоезда при безьюзовому торможенні в діапазоні швидкостей (40-200) км/ч

Скорость в начале торможения, м	Время торможения, с	Тормозной путь, м	Удельная тормозная сила	Среднее замедление вагона, м/с ²	Замедление в момент остановки вагона, м/с ²
1	2	3	4	5	6
40	8,0	49	0,1562	-1,364	-1,533
50	10,9	82	0,1397	-1,262	-1,370
60	13,8	122	0,1302	-1,200	-1,277
70	16,7	170	0,1241	-1,158	-1,217
80	19,6	227	0,1197	-1,128	-1,174
90	22,5	291	0,1163	-1,106	-1,142
100	25,4	364	0,1137	-1,088	-1,117
110	28,4	444	0,1116	-1,074	-1,096
120	31,3	533	0,1101	-1,062	-1,078
130	34,2	630	0,1084	-1,052	-1,063
/140	37,2	735	0,1069	-1,043	-1,050
150	40,2	848	0,1056	-1,035	-1,038
160	43,1	969	0,1046	-1,028	-1,027
170	46,5	1108	0,1025	-1,012	-1,007
180	49,8	1252	0,1011	-1,002	-0,992
190	53,2	1408	0,0990	-0,991	-0,978
200	56,6	1574	0,0979	-0,979	-0,963

При моделюванні тормозного процесу використовувалась методологія [14-16], в відповідності з якою математическа модель торможения електропоезда представляється в виде:

$$\frac{d^2S}{dt^2} = -\zeta \cdot \left\{ 1000 \cdot b_{TF}(V_i) \cdot f(b_{Tj}(t_j) / b_{TF}(V_i)) + w_{ox}(v) + i_c \right\}, \quad (4)$$

где $b_{TF}(V_i)$ фактическая удельная тормозная сила, соответствующая скорости V_i в начале торможения при безьюзовому торможении;

$b_{Tj}(t_j)$ удельная тормозная сила, соответствующая текущему времени торможения t_j ;

$f(b_{Tj}(t_j) / b_{TF}(V_i))$ – функция изменения относительной удельной тормозной силы в процессе торможения.

Параметры функциональной зависимости принимались исходя из целей исследования:

- срабатывание противоюзного устройства происходит непрерывно;
- в юзовую ситуацию попадает 50 % колесных пар электропоезда;
- суммарное время срабатывания противоюзных устройств составляет не менее 40 % от времени торможения.

Зависимость изменения удельной тормозной силы от времени торможения представляет непрерывную функцию, вид которой приведен на рис. 10.

Характеристики тормозного процесса электропоезда при экстренном электропневматическом торможении в диапазоне скоростей (40-200) км/ч для заданной функциональной зависимости изменения удельной тормозной силы приведены в табл. 3.

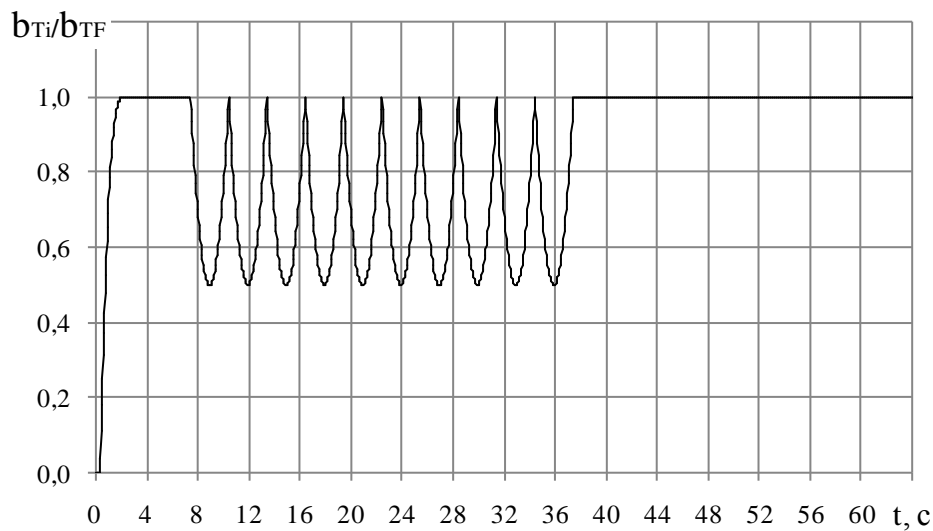


Рис. 10. Диаграмма задания удельной тормозной силы для моделирования юза

Результаты компьютерного моделирования показаны в таблице 3, в которой приведены характеристики тормозного процесса электропоезда при юзовом торможении в диапазоне скоростей (40-200) км/ч.

Полученные, в результате компьютерного моделирования, динамика изменения тормозных путей (рис. 11), скорости (рис. 12) и удельной тормозной силы (рис. 13) от времени торможения, а также особенность ее реализации от скорости в начале торможения (рис. 14), свидетельствует, что указанные характеристики в значительной степени отличаются от торможении электропоезда при отсутствии юзовой ситуации.

Сравнительный анализа показал, что при непрерывном срабатывании противоюзного устройства тормозной путь электропоезда при скорости 200 км/ч увеличивается на 22,8 %, а время торможения на 16,8 %. Суммарное время срабатывания противоюзного устройства составило 37,4 с или 44 % от общего времени торможения.

Таблица 3. Характеристики тормозного процесса электропоезда при юзовом торможении в диапазоне скоростей (40-200) км/ч

Скорость в начале торможения, м	Время торможения, с	Тормозной путь, м	Удельная тормозная сила	Среднее замедление вагона, м/с ²	Замедление в момент остановки вагона, м/с ²
1	2	3	4	5	6
40	8,2	49,5	0,1007	-1,3428	-0,9885
50	12,8	85,8	0,0901	-1,0803	-0,8840
60	16,8	134,8	0,1069	-0,9856	-1,0493
70	21,3	196,1	0,0651	-0,9083	-0,6381
80	25,5	269,6	0,1183	-0,8662	-1,1612
90	29,9	355,0	0,0592	-0,8343	-0,5790
100	34,3	452,4	0,0999	-0,8076	-0,9791
110	38,2	561,4	0,1116	-0,7977	-1,0958
120	41,1	679,0	0,1097	-0,8088	-1,0783
130	44,0	804,0	0,1084	-0,8183	-1,0632
/140	46,9	936,4	0,1071	-0,8264	-1,0498
150	49,9	1076,5	0,1048	-0,8339	-1,0378
160	52,8	1224,1	0,1044	-0,8399	-1,0267
170	56,1	1390,1	0,1026	-0,8391	-1,0072
180	59,4	1561,0	0,1007	-0,8405	-0,9924
190	62,7	1741,8	0,0996	-0,8405	-0,9776
200	66,1	1932,9	0,0972	-0,8396	-0,9627

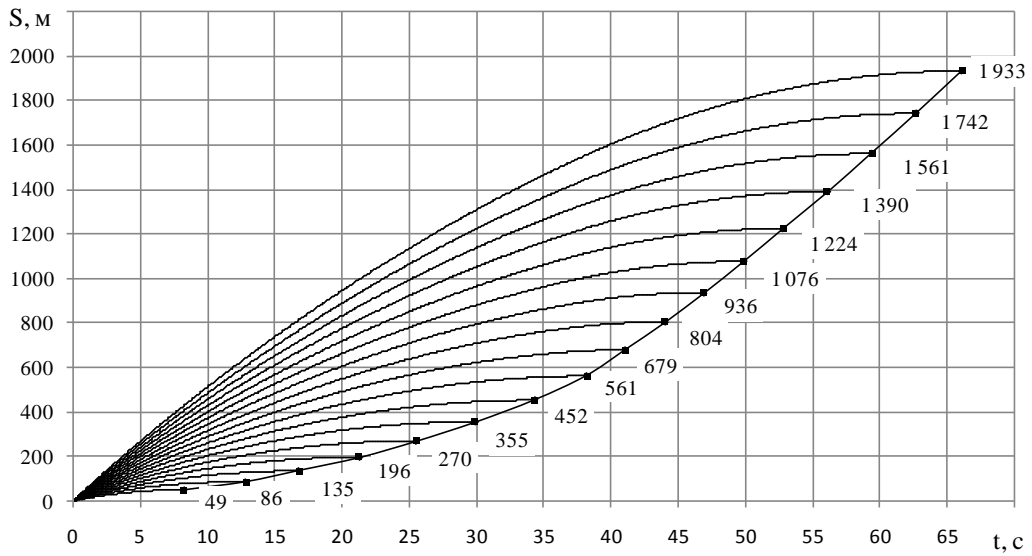


Рис. 11. Диаграммы тормозных путей электропоезда в диапазоне (40-200) км/ч

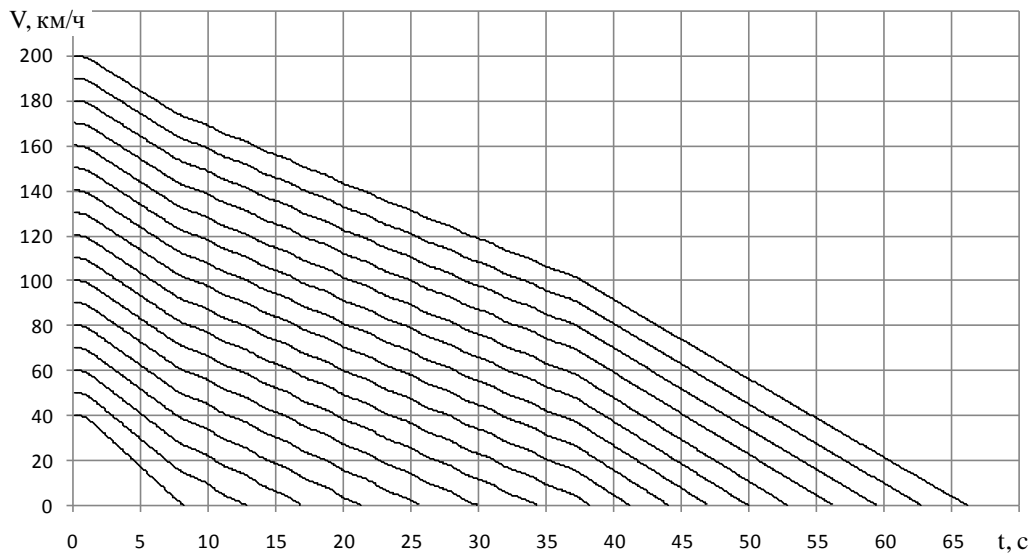


Рис. 12. Диаграммы скоростей электропоезда в диапазоне скоростей в начале торможения (40-200) км/ч

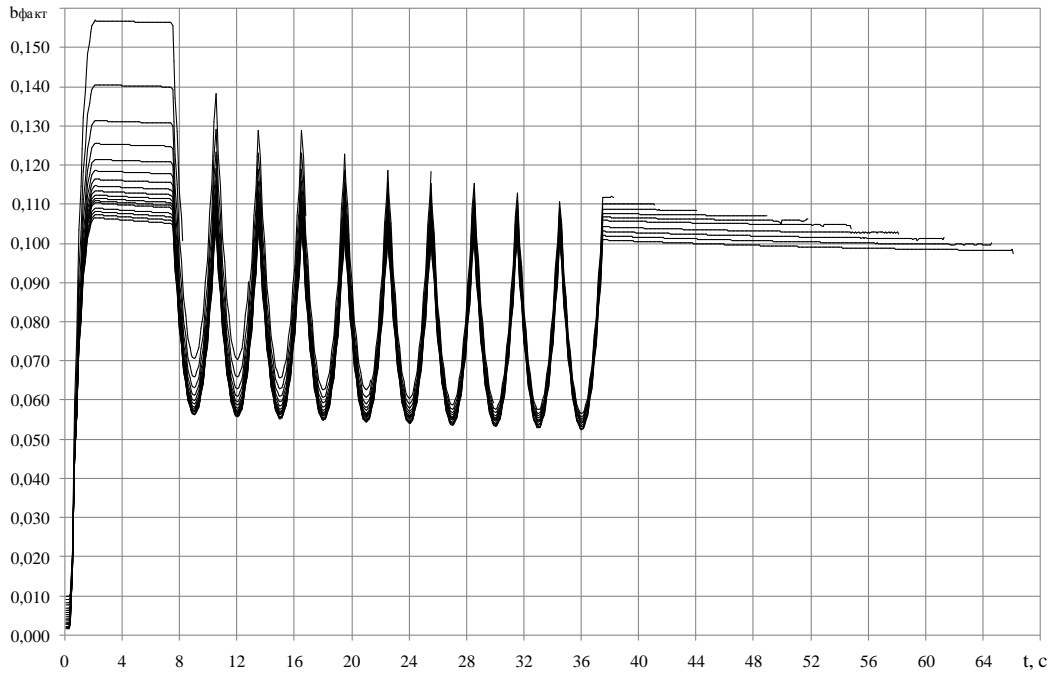


Рис. 13. Диаграммы изменения удельных тормозных сил электропоезда от времени торможения в диапазоне скоростей в начале торможения (40-200) км/ч

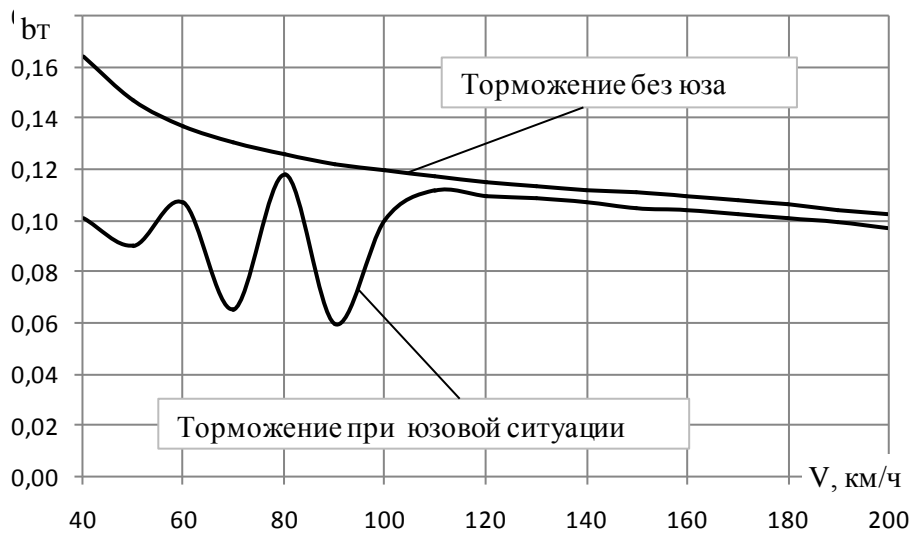


Рис. 14. Коэффициенты сцепления, реализуемые тормозной системой, при торможении электропоезда в диапазоне скоростей в начале торможения (40-200) км/ч

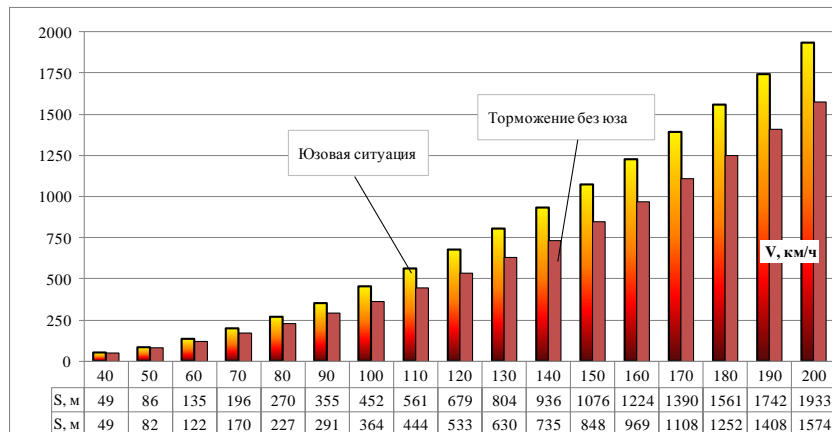


Рис.15. Диаграммы тормозных путей электропоезда в диапазоне скоростей в начале торможения (40-200) км/ч

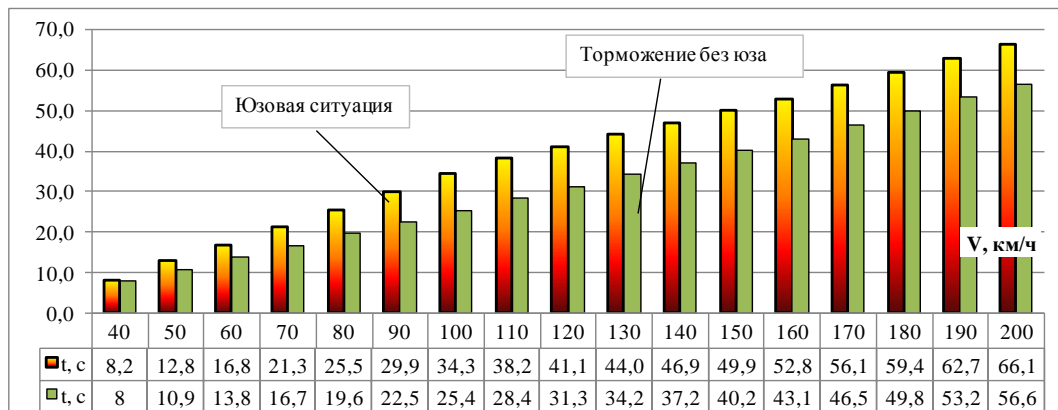


Рис. 16. Сравнительные диаграммы времени торможения электропоезда в диапазоне скоростей в начале торможения (40-200) км/ч

Выводы. Тормозной путь электропоезда при непрерывном срабатывании противоюзного устройства в течении 37,4 с (44 % от общего времени торможения) и юзовой ситуации на 50 % колесных парах составил 1933 м, что меньше значения 1940 м (см. табл. 1). Тормозной путь электропоезда при скорости 200 км/ч и неблагоприятных условиях отвечает Техническим требованиям Евросоюза TSI.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Водяніков Ю. Я. Дослідження причин появи повзунів на поверхні кочення коліс пасажирського вагона/М. І. Яланський, О. М. Сафонов., А. І.Шведов // Збірник наукових праць „ДП „УкрНДІВ” Рейковий рухомий склад”. Кременчук, 2009. Вип. 1. С. 49-54.
- 2 Водяніков Ю. Я. Дисковые тормозные системы пассажирских вагонов и их особенности / С.В.Кукин, А. Е. Нищенко, С. А. Павлов // Вагонный парк. 2013. № 9(78). С 27-29.

- 3 Пятаков О.О. Особенности тормозной системы электропоезда / Ю. Я. Водяников, А. В. Гречко, С. М. Свистун // Збірник наукових праць ДП „УкрНДІВ” «Рейковий рухомий склад”. Кременчук., 2012. Вип. 7. С. 59-70.
- 4 Водяников Ю. Я. Выбор и оптимизация тормозных характеристик пассажирского вагона для скоростей движения 200 км/ч и более / А. И. Шведов, Н. И. Мусиенко // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту, серія „Транспортні системи і технології”. Київ, 2006. Вип. 9. С. 21-25.
- 5 Водяников Ю. Я. Методология пересчета тормозной эффективности одиночного вагона на тормозную эффективность поезда/ С. М. Свистун, Е. Г. Макеева // Залізничний транспорт України. 2014. Вип. 2. С. 27-37.
- 6 Водяников Ю. Я. Оценка фрикционных свойств накладок дискового тормоза пассажирского вагона по результатам поездных тормозных испытаний / А. В. Гречко, А. М. Сафронов// Вагонный парк. 2010. №5. С. 12–13.
- 7 Водяников Ю. Я. Оценка тормозной эффективности пассажирского поезда с дисковыми тормозами на соответствие нормативным требованиям с использованием номограмм / О. М. Сафронов, С. М. Свистун, К. Л. Жихарцев // Збірник наукових праць ДП „УкрНДІВ” «Рейковий рухомий склад”. Кременчук., 2012. Вип. 7. С. 44-53.
- 8 Пятаков О. О. Результаты исследования тормозной эффективности опытного электропоездаЭКр1 / Ю. Я. Водяников, С. М. Свистун, К. Л. Жихарцев // Вагонный парк. 2013. № 9(78). С. 19-26.
- 9 Водяников Ю. Я. Методика определения тормозного пути пассажирского поезда при недостаточном коэффициенте сцепления колеса с рельсом / Т. В. Шелейко, О. М. Сафронов // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, присвячений 60-ти річчю кафедри «Вагони». Харків, 2013. Вип. 139. С. 182-187.
- 10 Ольгард Л. С. Основные методические положения исследования функциональных свойств противоюзного устройства пассажирских вагонов / Ю. Я. Водяников, Е. Г. Макеева // Збірник наукових праць ДП „УкрНДІВ” «Рейковий рухомий склад”. Кременчук, 2011. Вип. 4-5. С.17-20.
- 11 Гребенюк П. Правила тормозных расчетов. Москва: «Интекст», 2004 – 112 с.
- 12 Осипов С. И., Осипов С.С. Основы тяги поездов: учебник для студентов техникумов и колледжей ж/д тр-та. Москва: УМК МПС, 2000. 592 с.
- 13 Слепцов М. А. Основы электрического транспорта: учебник для студ. высш. учебн. заведений. Москва: Издательский центр «Академия», 2006. 464 с.
- 14 Методология расчетных и экспериментальных исследований тормозной эффективности пассажирских вагонов с применением математических моделей и компьютерного моделирования: монография / Водяников Ю. Я. та ін. Кременчук, 2017. 287с.
- 15 Водяников Ю. Я., Сафронов О. М., Шелейко Т. В., Свистун С. М., Анализ тормозных испытаний электропоезда с применением математических моделей / А. М. Сафронов, Т. В. Шелейко, С. М. Свистун // Залізничний транспорт. 2013 № 5/6. С. 29-39.
- 16 Сафронов О. М. Підвищення гальмівної ефективності пасажирських вагонів шляхом удосконалення процесів функціонування дискових гальм: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / О. М. Сафронов – К.: ДЕТУТ, 2010. – 203 с.

REFERENCES

- 1 Vodyannikov Yu. Ya., Yalanskiy M. I., Shvedov A. I. & Safronov O. M. (2009). Doslidzhennya reasons emerged povzuniv on the surface of the wheel train carriag [Investigation of reasons for appearance of slid flats on the wheel treads of a passenger car]. Zbirnyk naukovykh prats „Reikovii ruhomii sklad” [Collection of scientific works "Railboundrollingstock"] Kremenchuk: DP „UkrNDIV”, 1, 49-54. [in Ukrainian].
- 2 Vodyannikov Yu. Ya., Kulin S.V., Nischenko A.E., & Pavlov S.A. (2013). Diskovyye tormoznyye sistemy passazhirskikh vagonov i ikh osobennosti [Disk braking systems of passenger cars and their distinctive features]. Kharkov: Vagonnyy park - Rolling stock , 9 (78), 27-29. [in Russian].
- 3 Pyatakov O.O., Vodyannikov Yu. Ya., Grechko A.V., & Svistun S.M. (2012). Osobennosti tormoznoy sistemy elektropoyezda [Features of the brake system of the electric train]. Zbirnyk naukovykh

prats «Reykovyi ruhomyi sklad» [Collection of scientific works "Railboundrollingstock"], Kremenчук: DP „UkrNDIV”, 7, 59-70. [in Russian].

4 Vodyannikov Yu. Ya., & Shvedov A. I., Musienko N. I. (2006). Vybor i optimizatsiya tormoznykh kharakteristik passazhirskogo vagona dlya skorostey dvizheniya 200 km/h i boleye [Selection and optimization of the brake characteristics of a passenger car for speeds of 200 km/h and more] Zbirnyk naukovykh prats Kiivskogo universytetu ekonomiki i tehnologii transportu, seria „Transportnisystemy i tehnologii”, Kyiv, KUETT, 9, 21-25. [in Russian].

5 Vodyannikov Yu. Ya., Svistun S. M., & Makeeva E. G. (2014). Metodologiya perescheta tormoznoy effektivnosti odinochnogo vagona na tormoznuyu effektivnost poezda. [Methodology of recalculation of the brake efficiency of a single car on the brake efficiency of a train]. Zalizn. transp. Ukrainy – Railway transport of Ukraine, 2, 27-37. [in Russian].

6 Vodyannikov Yu. Ya., Grechko A. V., & Safronov A. M. (2010). Otsenka friktsionnykh svoystv nakladok diskovogo tormoza passazhirskogo vagona po rezul'tatam poyezdnykh tormoznykh ispytaniy [Estimation of the frictional properties of the disk brake pads of the passenger car by the results of the train braking tests]. Zh. Vagonnyipark – Rolling stock, 5, 12-13. [in Russian].

7 Vodyannikov Yu. Ya., Safronov O. M., & Svistun S. M., Zhihartsev K. L. (2012). Otsenka tormoznoy effektivnosti passazhirskogo poyezda s diskovymi tormozami na sootvetstviye normativnym trebovaniyam s ispol'zovaniyem nomogramm [Evaluation of the brake performance of a passenger train with disc brakes for compliance with regulatory requirements using nomograms] Zbirnyk naukovykh prats «Reykovyi ruhomyi sklad» [Collection of scientific works "Railboundrollingstock"], Kremenчук: DP „UkrNDIV”, 7, 44-53. [in Russian].

8 Pyatak O. O., Vodyannikov Yu. Ya., Svistun S. M., & Zhihartsev K. L. (2013). Rezul'taty issledovaniya tormoznoy effektivnosti opytного elektropoyezda EKr1 [Results of the study of the brake efficiency of the experimental electric train EKr1]. Zhurnal "Vagonnyipark" [Journal "Rolling stock"], 9(78), 19-26. [in Russian].

9 Vodyannikov Yu. Ya., Sheleyko T. V., & Safronov O. M. (2013). Metodika opredeleniya tormoznogo puti passazhirskogo poyezda pri nedostatochnom koeffitsiyente stsepleniya koleasa s rel'som [Method for determining the stopping distance of a passenger train with an insufficient ratio of wheel-rail adhesion] Zbirnyk naukovykh prats of the Ukrainian state power academy of transport, the assignment of 60 rychny department "Vagoni" [Collection Of Scientific Work of the Ukrainian State Academy of Railway Transport, devoted to the 60-th anniversary of the department "Cars", no 139, (pp. 182-187) Kharkiv. [in Russian].

10 Ol'gard L. S., Vodyannikov Yu. Ya., & Makeeva E. G. (2011). Osnovnyye metodicheskiye polozheniya issledovaniya funktsional'nykh svoystv protivoyuznogo ustroystva passazhirskikh vagonov [The main methodological provisions of the study of the functional properties of the anti-harnessed device of passenger cars] Zbirnyk naukovykh prats «Reykovyi ruhomyi sklad» [Collection of scientific works "Railboundrollingstock"], Kremenчук: DP „UkrNDIV”, 4-5, 17-20. [in Russian].

11 Grebenyuk P. (2004). Pravilatormoznyhraschetov [Rules of Brake Calculation]. Moscow: Intekst, p. 112. [in Russian].

12 Osipov, S. I., & Osipov, S. S., (2000). Osnovy tyagi poyezdov. Uchebnik dlya studentov tekhnikumov i kolledzhey zh/d transporta [A textbook for students of colleges and colleges of railway transport]. Osnovy tyagi poezdov. [Fundamentals of train] (p. 592). Moscow: UMK Ministry of Railways of Russia. [in Russian].

13 Sleptsov, M. A., Dolaberidze, G. P., Prokopovich, A. V., Savina, T. I., Tulupov, V. D. (2006). Osnovy elektricheskogo transporta: uchebnik dlya studentov vysshih uchebnykh zavedeniy [The basics of electric transport: a textbook for students of higher education institutions] (p. 464). Moscow: Akademiya Publishing Center [in Russian].

14 Vodyannikov Yu. Ya., Safronov A. M., & Makeeva E. G. (2017). Metodologiya raschetnykh i eksperimental'nykh issledovaniy tormoznoy effektivnosti pas-sazhirskikh vagonov s primeneniyyem matematicheskikh modeley i komp'yuternogo modelirovaniya [Methodology of computational and experimental studies of the braking efficiency of passenger cars using mathematical models and computer simulation]. Kremenчук [in Russian].

15 Vodyannikov Yu. Ya., Safronov A. M., Shelejko T. V., & Svistun S. M. (2013). Analiz tormoznykh ispytaniy elektropoyezda s primeneniyyem matematicheskikh modeley [Analysis of brake tests of electric trains using mathematical models]. "Zaliznichnij transport", 5/6, 23-39 [in Russian].

16 Safronov O. M. (2010) Padvyschenskaya hal'mivniya efs sameknosti pasazhyrskykh vahonov u vorot udobno podderzhyvaet-sya protsessamy funktsyyi dyskovoho hal'ma [The Padimusha brake of the same degree of passenger carriages at the gate is conveniently supported by the processes of the disk brake functions]. Candidate's thesis. Kyiv. [in Ukrainian].

Олександр Сафронов, к.т.н.
(директор Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» ДП «УкрНДІВ»).

ГАЛЬМІВНІ ШЛЯХИ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОПОЇЗДА ЕКР1 ПРИ ШВИДКОСТІ 200 КМ/ГОД ТА НЕСПРИЯТЛИВИХ УМОВАХ

Представлені результати дослідження гальмівної ефективності електропоїзда при низькому коефіцієнті зчеплення колеса з рейкою (юзова ситуація) в діапазоні швидкостей на початку гальмування (40-200) км/год. Дослідження виконані із застосуванням математичного та комп'ютерного моделювання. Результати показали, що гальмівний шлях електропоїзди при швидкості 200 км/год і безперервному спрацьовуванні протіюзного пристрою протягом 37,4 с (44% від загального часу гальмування) і юзової ситуації на 50% колісних парах склав 1933 м, що менше нормативного значення 1940 м. Наведено діаграми і характеристики гальмівного процесу при гальмуванні в діапазоні швидкостей (40-200) км/год в умовах спрацьовування протіюзного пристрою.

Ключові слова. Електропоїзд, юз, швидкість, гальмівний шлях, питома гальмівна сила, протіюзний пристрій.

Oleksandr Safronov, Ph.D. in Engineering,
(Director of the State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute " DP "UkrNDIV").

BRAKING DISTANCES FOR HIGH-SPEED ELECTRIC TRAIN EKR1 AT A SPEED OF 200 KM/H UNDER ADVERSE CONDITIONS

The paper shows the study results of the braking efficiency of an electric train with a low coefficient of wheel adhesion to the rail (wheel sliding) in the speed range with the braking starting at 40–200 km/h. The studies were performed using mathematical and computer modeling. The results showed that the braking distance of the electric train at a speed of 200 km/h and continuous actuation of the wheel slide protection within 37.4 s (44% of the total braking time) and the wheel sliding on 50% of wheelsets is equal to 1933 m, which is less than the reference value of 1940 m. The diagrams and characteristics of the braking in the speed range of 40–200 km/h have been shown with the wheel slide protection in action.

Keywords. Electric train, wheel sliding, speed, braking distance, specific braking force, wheel slide protection.

УДК 629.423.2:629.4.027.3

Александр Сафронов, к.т.н.

(директор Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» ГП «УкрНИИВ»),

Павел Хозя, к.т.н.

(заведующий лабораторией электротехнических, динамических, теплотехнических и прочностных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»),

Юрий Водяников, к.т.н., с.н.с.

(ведущий научный сотрудник лаборатории электротехнических, динамических, теплотехнических и прочностных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»),

Сергей Столетов

(заместитель заведующего лабораторией электротехнических, динамических, теплотехнических и прочностных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»).

ПЛАВНОСТЬ ХОДА СКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ЭКР-1 «ТАРПАН» С ПНЕВМОПОДВЕШИВАНИЕМ КУЗОВА ПРИ СКОРОСТИ 200 КМ/Ч

Представлено описание устройства и принцип действия рессорного подвешивания. Показаны, на основании экспериментальных исследований, особенности изменения давлений в пневмобаллонах рессорного подвешивания при различных режимах движения в прямых и кривых участках рельсового пути. Результаты ходовых динамических испытаний свидетельствуют, что плавность хода электропоезда не превышает нормативных значений при скоростях 200 км/ч включительно.

***Ключевые слова:** электропоезд, рессорное пневмоподвешивание, давление, амплитуда, плавность хода.*

Введение. Для моторвагонного подвижного состава большое значение имеет показатель плавности хода, по которому оценивают как динамические качества вагона так и комфортность пассажиров, исходя из условий физиологического воздействия ускорений и частот на организм человека. Крюковским вагоностроительным заводом совместно с отечественными и зарубежными компаниями был создан и изготовлен электропоезд ЭКр-1 (рис. 1)

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-16

с конструктивной скоростью 200 км/ч, который предназначен для одновременной перевозки 609 пассажиров на расстояние 700 км со скоростью до 200 км/ч и может эксплуатироваться на электрифицированных участках железнодорожного пути как с постоянным, так и с переменным напряжением сети [1, 2]. Поэтому динамические качества и плавность хода, приобретают особое значение для высокоскоростного подвижного состава.



Рис. 1. Внешний вид электропоезда

Анализ последних исследований и публикаций. На основании материалов, изложенных в [3] было установлено, что организм человека по-разному воспринимает колебания с различными частотами. Так, колебания с частотами от 0,5 до 2 Гц человек переносит легко, испытывая при этом лишь укачивание. При колебаниях испытательной виброплатформы с частотами 5...8 Гц ускорения колебаний тела человека превышают ускорения колебаний платформы в 3 раза.

Это связано с резонансом для человека как механической системы. При этом частота собственных колебаний позвоночника человека составляет (4-8) Гц, внутренних органов (6-10) Гц, сердца (15-16) Гц и головы (20-30) Гц. Необходимо также отметить, что организм человека чувствителен к ускорениям и к скорости изменения этих ускорений.

Из работ [4, 5, 6] становится понятно, что динамические качества вагона и комфортность пассажиров, а в частности плавность хода, имеют особое значение для высокоскоростных составов, предназначенных для перевозки пассажиров, и в большей части зависят от применяемой тележки и систем гашения колебаний.

Вопросам выбора рациональных параметров рессорного подвешивания в тележках, применяемых для пассажирских вагонов посвящены работы [7, 8, 9].

На основе математической модели, выполнены теоретические исследования динамических показателей электропоезда для скоростей более 200 км/ч, результаты которых представлены в работах [10, 11].

Цель и задачи исследования. По результатам исследования [11] было установлено, что на прямом участке пути основные динамические показатели головного и промежуточного вагонов электропоезда не выходят за допустимые пределы при скоростях вплоть до 220 км/ч и выше. На кривых среднего радиуса величины динамических показателей не превышают допустимые значения при скоростях до 100 км/ч, а на кривых малого радиуса - до 80 км/ч, при этом имеется большой запас по всем величинам динамических показателей. Таким образом, было получено теоретическое подтверждение конструкционной скорости движения 200 км/ч для прямолинейных участков пути, на существующей инфраструктуре железных дорог Украины. Однако полученные теоретические исследования требовали экспериментального подтверждения, чему и была посвящена эта работа.

Материалы и методы исследования. Важнейшей составной частью рельсовых экипажей являются устройства демпфирования и гашения колебаний кузова при движении по неровностям рельсового пути, призванные обеспечивать требуемые динамические характеристики вагона. Из всего разнообразия технических устройств систем гашения колебаний следует выделить системы пневмоподвешивания (рис. 2), которые отличаются простотой и надежностью. Пневматическая рессора представляет собой резинокордовую оболочку, заполненную сжатым воздухом, который поступает из питательной магистрали.

Давление воздуха в пневморессоре определяется положением рычага регулятора, один конец которого шарнирно соединен с кузовом вагона, а другой - с рамой тележки (рис. 3).

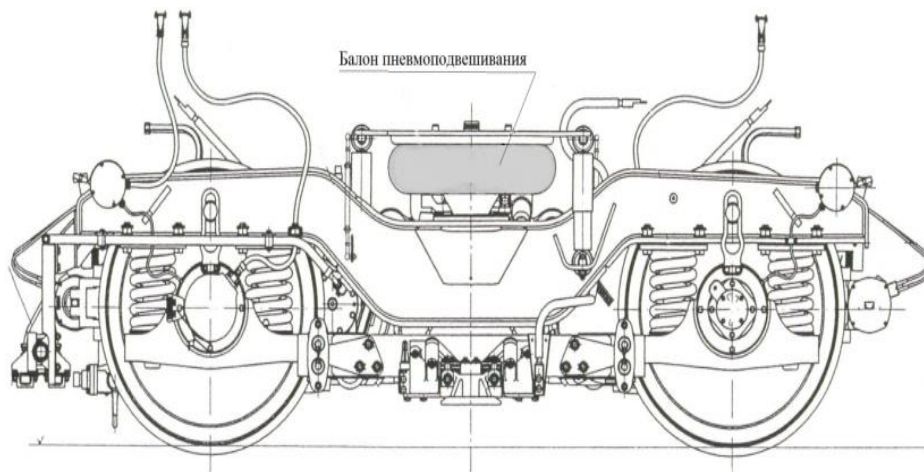


Рис. 2. Тележка пассажирского вагона с пневмоподвешиванием

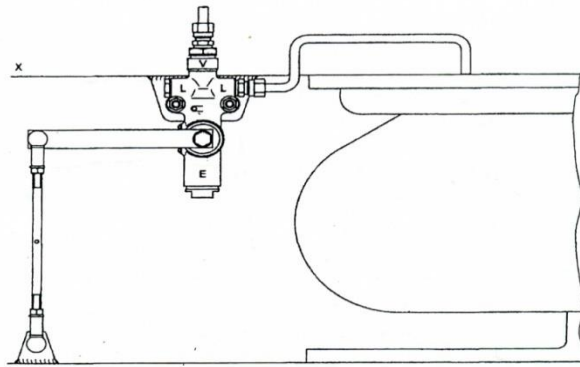


Рис. 3. Схема регулятора давления в пневморессоре

Если рычаг занимает горизонтальное положение, то регулятор перекрывает доступ воздуха в рессору. Если угол поворота рычага оказывается больше некоторого порогового значения ($\sim 2^\circ$), регулятор впускает или выпускает воздух из пневморессоры в зависимости от того, вниз или вверх сместился кузов. При небольших ($< 8^\circ$) углах поворота рычага воздух проходит через дроссельное отверстие, поэтому его расход, а вместе с ним и скорость изменения давления в рессоре, небольшие. При повороте рычага на больший угол ($> 8^\circ$) выпуск (впуск) сжатого воздуха происходит в обход дроссельного отверстия, которое приводит к существенному увеличению расхода воздуха.

Рессоры одной тележки связаны перепускным клапаном, который срабатывает, открывая путь воздуху из одной рессоры в другую, когда разница давления в них оказывается большей некоторого порогового значения.

Приведенная на рис. 4 зависимость расхода воздуха от угла поворота рычага имеет три характерных области: область А отвечает перекрытию воздуха в рессоре, В - выпуск воздуха через дроссельное отверстие и С - выпуск воздуха в обход дроссельного отверстия. Ветви а) и в) отвечают регуляторам соответственно с одним или двумя пропускными отверстиями.

При движении пассажирского вагона с пневмоподвешиванием давления в пневморессорах изменяются в соответствии с колебательным процессом кузова вагона, обусловленного неровностями рельсового пути. При экстренном торможении на вагон действуют дополнительные силы, вызванные тормозными процессами.

реализуемых в пневморессорах в процессе движения поезда, свидетельствует, что на динамику изменения давлений оказывает влияние не только динамическое воздействие обусловленное неровностями рельсового пути, но и профиль пути (прямые и кривые).

На прямом участке давление в пневморессорах изменяется по гармоническому закону относительно статистического равновесия, а максимальная амплитуда составляет $\pm 0,3$ кгс/см² при частоте 0,74 Гц (рис. 6). На рисунке 7 приведена диаграмма колебательного процесса при переходе в кривые противоположных направлений, при этом наибольшие амплитуды давлений (0,4 кгс/см² и частоте 0,47 Гц) соответствуют кривой меньшего радиуса. Динамика колебательного процесса изменения амплитуд давлений при движении по волнообразной кривой приведена на рис. 8. При торможении колебательный процесс характеризуется максимальными амплитудами давления в начале и конце торможения (рис. 9).

Анализ результатов показал, что пневморессоры обладают высокими демпфирующими свойствами.

Результаты анализа ходовых испытаний [14] показали, что коэффициенты плавности хода электропоезда, как в порожнем, так и в груженом состояниях значительно ниже нормативных значений установленных в [15], а также ниже значений установленных [2] на (рис. 10 и 11). С использованием статистических методов были получены коэффициенты плавности хода для скоростей до 200 км/ч включительно (рис. 12 и 13), которые показали, что при скорости 200 км/ч плавность хода удовлетворяет нормативным требованиям.

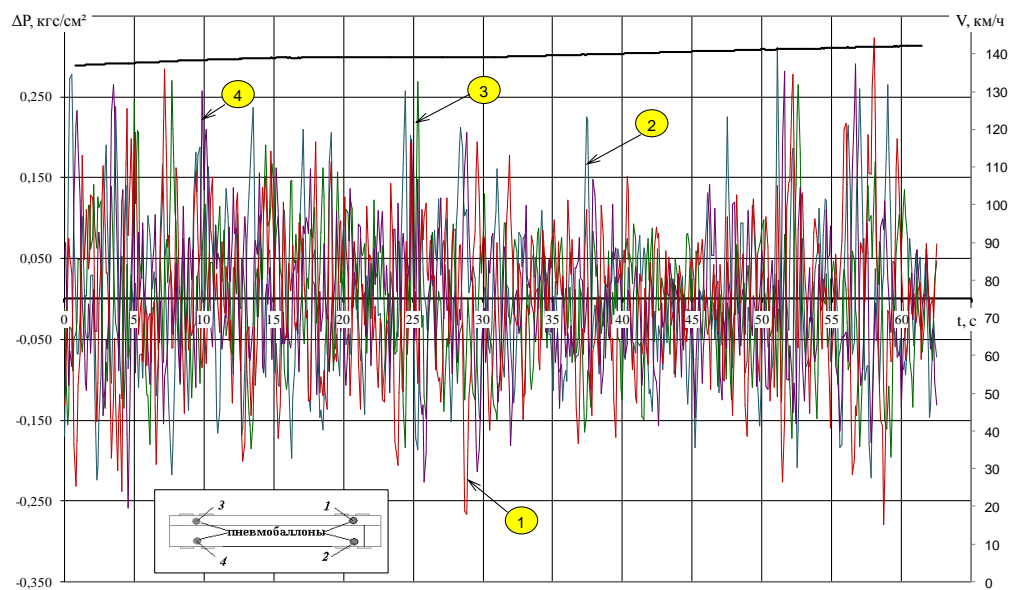


Рис. 6. Динамика изменения амплитуд давлений в пневморессорах при движении по прямому участку пути с постоянной скоростью

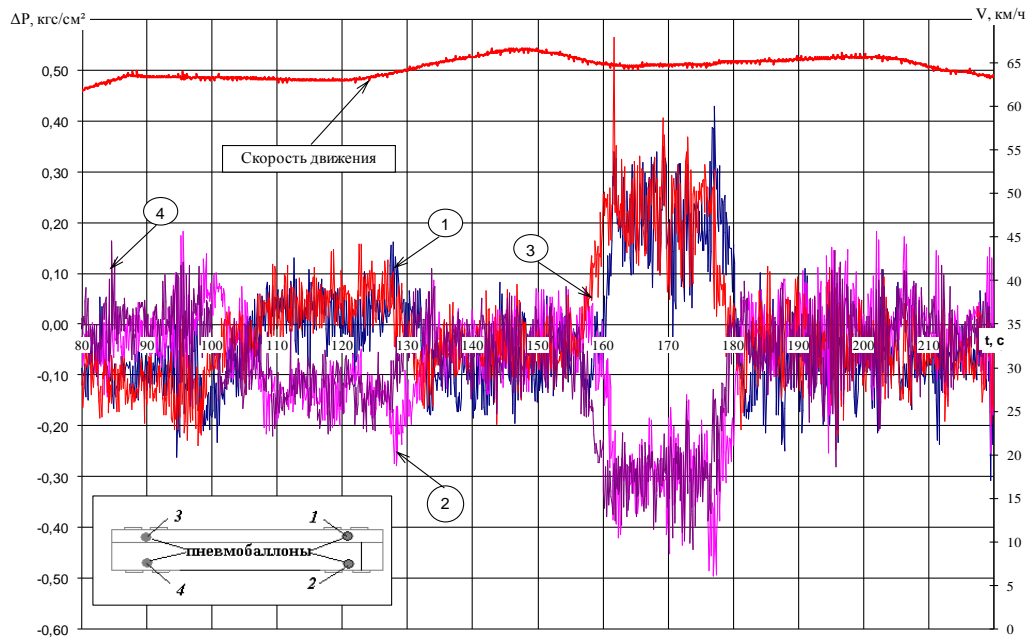


Рис. 7. Динамика изменения амплитуд давлений в пневморессорах при движении в кривых различного радиуса и направления

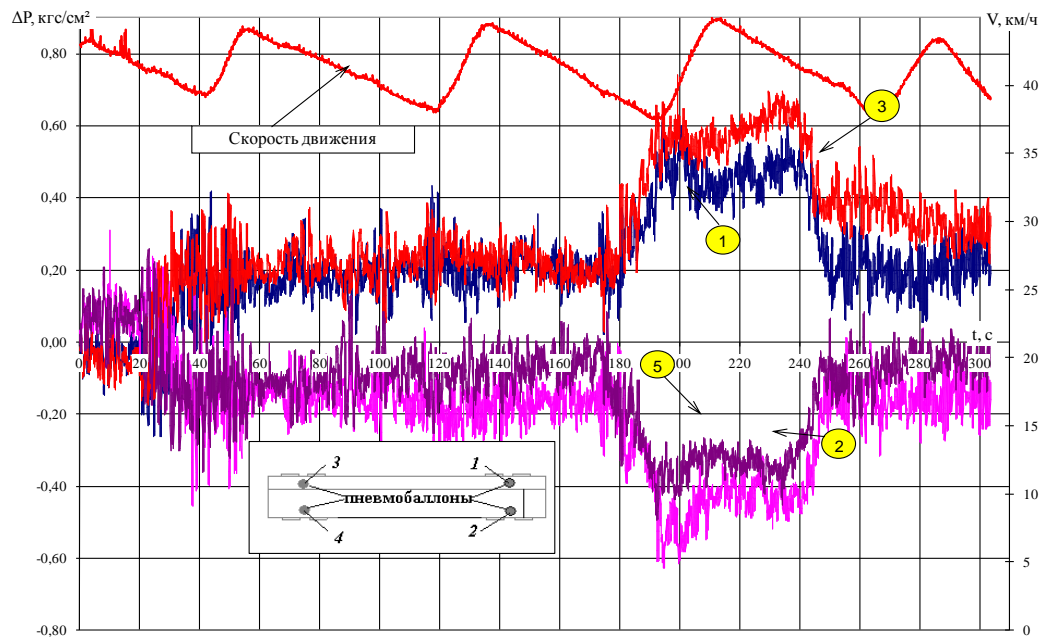


Рис. 8. Динамика изменения амплитуд давлений в пневморессорах при движении по волнообразной кривой

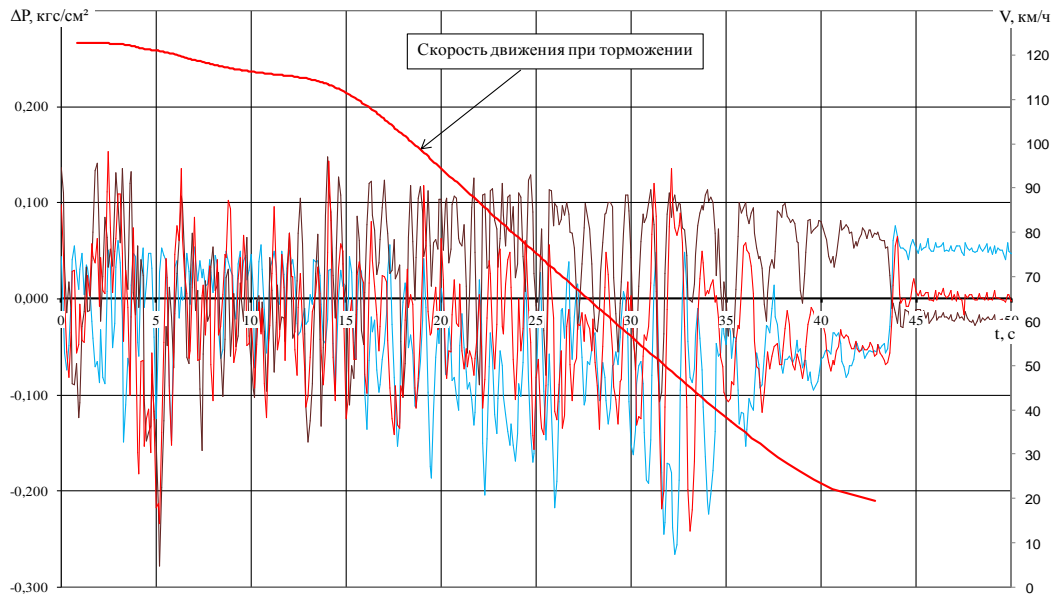


Рис. 9. Динамика изменения амплитуд давлений в пневморессорах при торможении

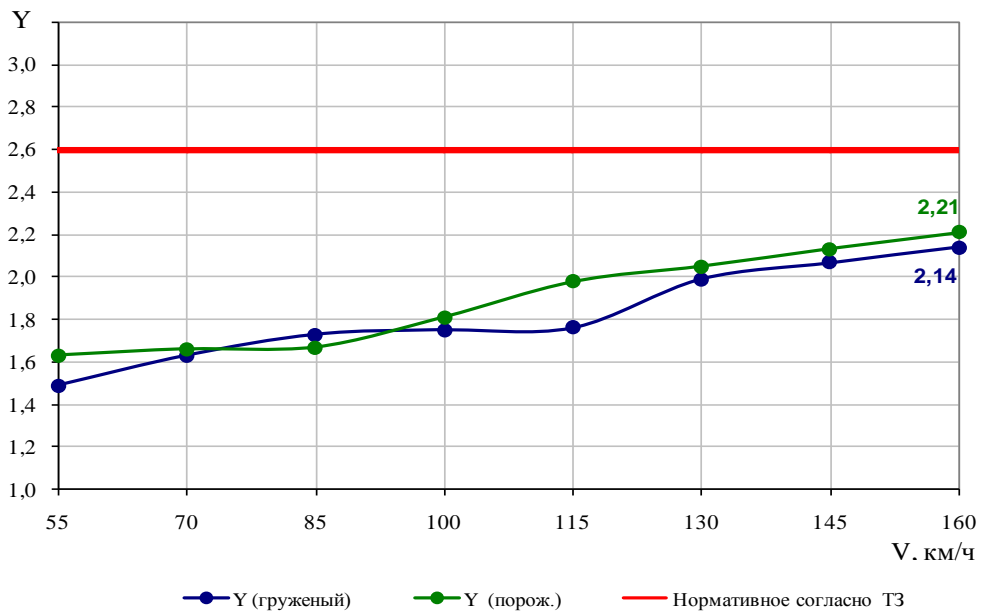


Рис. 10. Плавность хода пассажирского вагона модели 61-7062 (в горизонтальном направлении при порожнем и груженом режимах)

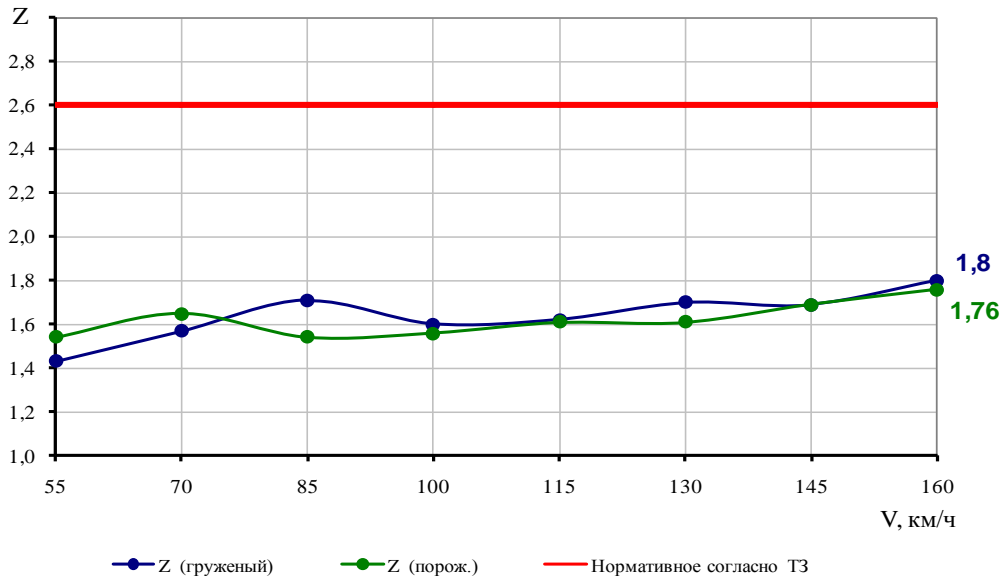


Рис. 11. Плавность хода пассажирского вагона модели 61-7062 (в вертикальном направлении при порожнем и груженом режимах)

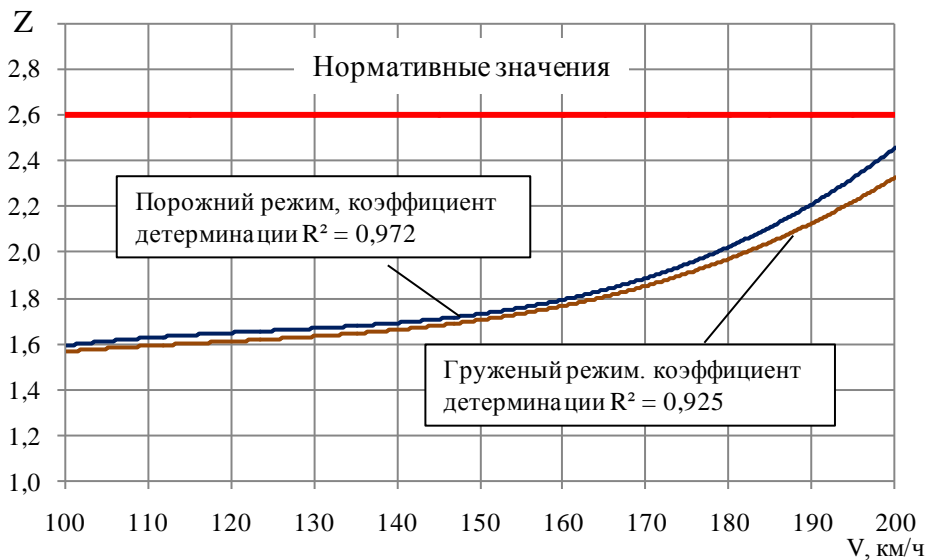


Рис. 12. Плавность хода пассажирского вагона модели 61-7062 (в вертикальном направлении при порожнем и груженом режимах), полученная статистическим моделированием

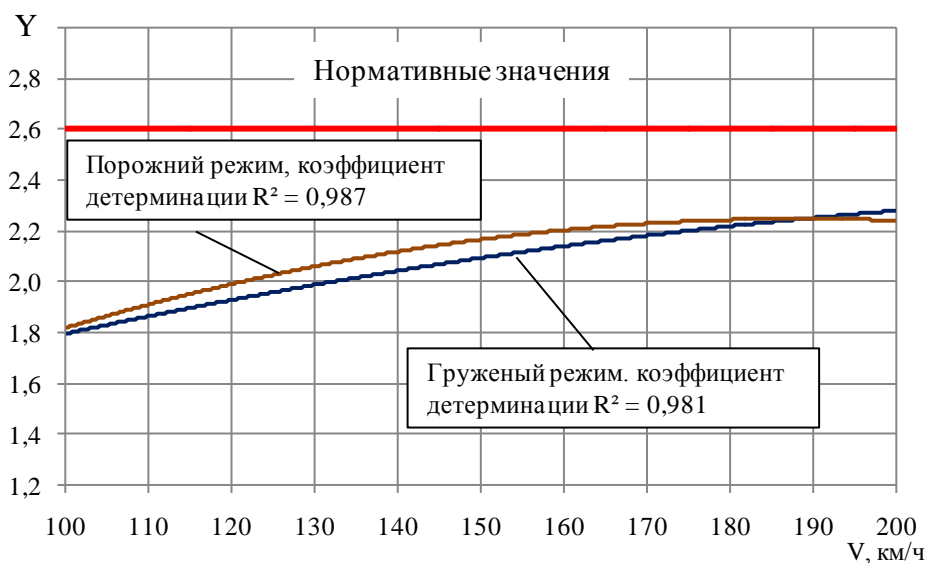


Рис. 13. Плавність ходу пасажирського вагона моделі 61-7062 (в горизонтальному напрямку при порожньому та груженому режимах), отримана статистичним моделюванням

Висновки. Результати дослідження показали: ресорне пневмопідвішуваче має високими демпфуючими властивостями; плавність ходу електропоезда, як в вертикальному, так і в горизонтальному напрямках задовольняє нормативні вимоги в усьому діапазоні швидкостей руху до 200 км/ч включительно.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 *Техническое задание 62.7066.ТЗ. «Электропоезд двухсистемный для межрегионального сообщения со скоростью 160 км/ч».* ПАО «КВСЗ». 2010, С. 88.
- 2 *Приходько, В. И.* Оптимальные параметры буксового и центрального подвешивания пассажирского вагона модели 61-779 на тележках КВЗ-ЦНИИ. *Залізничний транспорт України.* 2007. №6. С. 42-48.
- 3 *Нафиков, Г.-А. М.* Н 34 Динамика ЭПС : учеб.-метод. пособие. Екатеринбург :УрГУПС. 2010. С. 88.
- 4 *Манашикін Л.А., Мямлін С. В., Приходько В. І.* Гасителі коливачів і амортизатори ударів рейкових екіпажів (математичні моделі). Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна Д.: 2007. – 196 с
- 5 *Приходько В.И., Хворост Е. Ф., Лутонин С. В., Шкабров О. А., Коваленко Ю. Н., Пишнько А. Н., Мямлин С. В., Донченко А. В.* Создание отечественной пассажирской тележки – весомый вклад отечественных вагоностроителей и отраслевой науки в развитие железных дорог Украины. *Вагонный парк № 7.* 2011. С. 19-22.
- 6 *Воронович В. П., Радзиховский А. А., Демин Ю. В.* Создание тележек для скоростных пассажирских вагонов отечественного производства. *Залізнич. трансп. України.* 2002. № 5. С. 12-15.
- 7 *Мямлин, С. В.* Оптимизация параметров ресорного подвешивания рельсовых экипажей. *Вісник Східноукраїнського нац. Університету ім . В. Даля і Луганськ,* 2003. № 9 (67). С. 79-85.
- 8 *Жижко, В. В.* Совершенствование конструкций систем гашения колебаний рельсовых экипажей. *Зб. наук. пр. Вип. № 17.* Донецьк: ДонІЗТ, 2008. С. 77-86.;
- 9 *Мямлин, С. В., Пишнько А. Н.* Оптимизация параметров ресорных комплектов тележек пассажирского вагона. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.* Вип. 7. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2005. С. 108.

- 10 А. Н. Пшынко. Теоретические исследования динамических качеств вагонов отечественного межрегионального двухсистемного электропоезда ЭКр-1 «Тарпан». Вагонный парк № 3-4. 2017. С 120-121.
- 11 Мямлин С. В. Оценка динамических показателей головного и промежуточного вагонов межрегионального двухсистемного электропоезда производства ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» Залізн. трансп. України. 2012. NE 5. С. 48-56.
- 12 Водяников Ю. Я. Определение расхода воздуха из системы пневмоподвешивания при движении пассажирского вагона по рельсовому пути с неровностями. Журнал "Залізничний транспорт України" № 2/2011. С 52-54.
- 13 Водяников Ю. Я. Определение расхода воздуха из пневморессор при экстренном торможении пассажирского вагона с пневмоподвешиванием. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад», вип. 6, видавник ДП „УкрНДІВ”, м. Кременчук 2012, С. 57-63.
- 14 Протокол № 1281 від 08 жовтня 2012 р. «приймальних випробувань вагона міжрегіонального двосистемного електропоїзда моделі 62-7066 (ходових динамічних, ходових міцносних, визначення показників вібрації, плавності руху та власної частоти вигинних коливань кузова)». ДП «УкрНДІВ», м. Кременчук 2012. С. 20.
- 15 СОУ МПП 45.060-204:2007 «Вагони пасажирські. Плавність руху. Методи визначення». Міністерство промислової політики України. 2007. С. 12.

REFERENCES

- 1 Technical task 62.7066.TZ. "Two-system electric train for interregional communication at a speed of 160 km/h". PJSC "KVSZ". 2010. P. 88.
- 2 Prykhodko, V.I. Optimal parameters of the axle box and bolster suspension of a passenger car model B1-779 on KVZ-TsNII trolleys. Railway Transport of Ukraine. 2007. Issue 6. P. 42-48.
- 3 Nafikov, G.-A. M. N 34 Dynamics of EPS: teaching aid. Ekaterinburg: UrGUPS, 2010. 88 p.
- 4 Manashkin L.A., Mihailin S.V., Prikhodko V.I. Gas vapors and shock absorbers of rail crews (mathematical models). Dnipropetrovsk nats un ton of iron trans them acad. V. Lazaryan D.: 2007. P. 196.
- 5 Prikhodko V.I., Khvorost E.F., Lutonin S.V., Shkabrov O.A., Kovalenko Yu.N., Pshinko A.N., Myamlin S.V., Donchenko A.V. The creation of a domestic passenger trolley is a significant contribution of domestic railcar builders and industry science to the development of Ukraine's railways. Car park number 7. 2011. P. 19-22.
- 6 Voronovich V.P., Radzikhovskiy A.A., DeminYu.V. Creation of carts for high-speed passenger cars of domestic production. Zaliznich. trans. Ukraine. 2002. № 5. P. 12-15.
- 7 Myamlin, S. V. Optimization of parameters of spring suspension of rail vehicles. Lugansk. 2003. No. 9 (67). P. 79-85.
- 8 Zhizhko, V.V. Improvement of Structures of Oscillation Absorption Systems of Rail Rails. Zb. sciences. pr. No. 17. Donetsk: DonIZT. 2008. P. 77-86.
- 9 Myamlin, S. V., Pshinko A. N. Optimization of parameters of spring sets of carriages of a passenger car. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Social Transport Transport Academician V. Lazaryan. № 7. Dnipropetr. nat un-tuzalozn. trans. im. Acad. V. Lazaryan. 2005. P. 108 p.
- 10 A. N. Pshinko. Theoretical studies of the dynamic qualities of cars of the domestic interregional two-system electric train EKR-1 "Tarpan". Rolling stock fleet № 3-4. 2017. P. 120-121.
- 11 Myamlin S.V. Assessment of dynamic parameters of the head and intermediate cars of inter-regional two-system electric trains produced by PJSC Kryukovsky Car Building Plant. Railway Transport of Ukraine - 2012. NE 5. P. 48-56.
- 12 Vodianykov Yu. Ya. Determination of air flow from a pneumatic suspension system when a passenger car moves on a rail track with irregularities. Journal "Transport of Ukraine" № 2. 2011. P. 52-54.
- 13 Vodyannikov Yu. Ya. Determining the air flow rate from the pneumatic springs during emergency braking of a passenger car with air suspension. Collection of research papers "Railway rolling stock" ", Issue. 6, published by DP "UkrNDIV", city of Kremenchuk 2012. P. 57-63.
- 14 Protocol № 1281 from October, 08 in 2012 "Reception tests of the car of interregional two-seat electric train model 62-7066 (running dynamic, running rigid, determination of vibration indicators, smoothness of motion and own frequency of bending body oscillations)". DP "UkrNDIV", Kremenchuk 2012. P. 20.
- 15 SDU MPP 45.060-204: 2007 "Wagons passengers. Smooth ruhu. Method of Appointment. The Ministry of Industrial Policy of Ukraine 2007. P. 12.

Олександр Сафронов, к.т.н.
(директор Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» ДП «УкрНДІВ»),

Павло Хозя, к.т.н.

(Завідувач лабораторією електротехнічних, динамічних, теплотехнічних і міцносних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»),

Юрій Водянников, к.т.н., с.н.с.

(Провідний науковий співробітник лабораторії електротехнічних, динамічних, теплотехнічних і міцносних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»),

Сергій Столетов

(Заступник завідувача лабораторії електротехнічних, динамічних, теплотехнічних і міцносних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»).

ПЛАВНІСТЬ ХОДУ ШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОПОЇЗДА ЕКР-1 «ТАРПАН» З ПНЕВМОПІДВІШУВАННЯМ КУЗОВА ПРИ ШВИДКОСТІ 200 км/год.

Для моторвагонного рухомого складу велике значення має показник плавності ходу, за якими оцінюють динамічні якості, виходячи з умов фізіологічного впливу прискорень і частот на організм людини. Крюківським вагонобудівним заводом спільно з вітчизняними та зарубіжними компаніями було створено і виготовлений електропоїзд ЕКр-1 з конструктивною швидкістю 200 км/год. Найважливішою складовою частиною рейкових екіпажів є пристрої демпфірування і гасіння коливань кузова при русі по нерівностях рейкової колії, покликані забезпечувати необхідні динамічні характеристики вагона.

З усього розмаїття технічних пристроїв систем гасіння коливань слід виділити системи пневмопідвішування. Ця система була застосована в візках, що використовуються в електропоїзді ЕКр-1.

Пневматична ресора являє собою гумокордову оболонку, заповнену стисненим повітрям, який надходить з живильної магістралі.

Тиск повітря в пневморесорі визначається положенням важеля регулятора, один кінець якого шарнірно з'єднаний з кузовом вагона, а інший – з рамою візка.

Аналіз амплітуд тисків, що реалізуються в пневморесорі в процесі руху поїзда, свідчить, що на динаміку зміни тисків впливає не тільки динамічний вплив обумовлений нерівностями рейкової колії, а й профіль колії (прямі і криві).

Аналіз результатів показав, що пневморесори володіють високими демпфівальними властивостями.

Результати аналізу ходових випробувань показали, що коефіцієнти плавності ходу електропоїзда, як в порожньому, так і в завантаженому станах значно нижче нормативних значень. З використанням статистичних методів були отримані коефіцієнти плавності ходу для швидкостей до 200 км/год включно. Вони показали, що при швидкості 200 км/год плавність ходу задовольняє нормативним вимогам.

Ключові слова: електропоїзд, ресорне пневмопідвішування, тиск, амплітуда, плавність ходу.

*Oleksandr Safronov, Ph.D in Engineering
(Director of the State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute DP "UkrNDIV"),*

*Pavel Khozia,, Ph.D in Engineering
(Head of the Research Lab. for electrical, dynamic, heat engineering and strength studies of railway equipment of the State Enterprise " Ukrainian Railway Car Building Research Institute " DP "UkrNDIV",*

*Yurii Vodiannykov, PhD in Engineering
(Leading researcher of the Research Lab. for electrical, dynamic, heat engineering and strength studies of railway equipment of the State Enterprise " Ukrainian Railway Car Building Research Institute " DP "UkrNDIV",*

*Sergii Stoletov
(Deputy head of the Research Lab. for electrical, dynamic, heat engineering and strength studies of railway equipment of the State Enterprise " Ukrainian Railway Car Building Research Institute " DP "UkrNDIV".*

**RIDE QUALITY OF THE HIGH-SPEED ELECTRIC TRAIN EKR-1 «TARPAN»
WITH AIR-SPRING SUSPENSION AT THE SPEED
OF 200 km/h**

Ride quality used for estimation of dynamic parameters, based on the physical effects of accelerations and frequencies on the human body is of great importance for multiple units. Kryukov Railway Car Building Works jointly with national and foreign companies constructed and manufactured electric train EKR-1 with a design speed of 200 km/h. The most important component of the railway vehicles when moving on track roughness, are vibration dampers intended to provide the required dynamic characteristics of the car.

Air-spring suspension systems are worth distinguishing of a wide range of technical devices of vibration damping systems. This system was used in electric train EKR-1 bogies.

The air-spring suspension system is a rubber-cord enclosure filled with compressed air that comes from the feeder.

The air pressure in the air-spring suspension is determined by the position of the control lever, one end of which is pivotally connected to the car body and the other to the bogie frame.

Analysis of the pressure amplitudes in the air-spring suspension while train moves shows that not only the dynamic effect caused by the roughness of the track, but also the track profile (straight lines and curves) affect the dynamics of pressure changes.

Analysis of the results showed that air-spring suspension has high damping properties.

The analysis results of the running tests showed that the ride quality coefficients of the electric train, both in the empty and in the loaded state, are significantly lower than the standard values. Ride coefficients were obtained for speeds up to 200 km/h quality inclusive using statistical methods. They showed that ride quality meets regulatory requirements at a speed of 200 km/h.

Keywords: *Electric multiple-unit train, air-spring suspension, pressure, amplitude, ride quality.*

УДК 629.463.125

*Вадим Миколайович Іщенко, к.т.н., доцент,
(завідувач кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний
університет інфраструктури та технологій),
Надія Сергіївна Брайковська, к.т.н., професор,
(директор Київського інституту залізничного транспорту),
Юрій Володимирович Щербина, к.т.н.,
(старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство»,
Державний університет інфраструктури та технологій)*

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ АГЕНТІВ В ХОЛОДИЛЬНОМУ ОБЛАДНАННІ РЕФРИЖЕРАТОРНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

У статті розглянуті питання, пов'язані з підходами до ефективного використання альтернативних холодильних агентів в діючому холодильному обладнанні рефрижераторного рухомого складу. Дослідження та аналіз властивостей холодильних агентів запропоновано виконувати за найбільш вагомими показниками, які визначені на підставі вимог до альтернативних холодоагентів. Визначені підходи до раціонального вибору альтернативного холодоагенту для діючого холодильного обладнання, проведено дослідження щодо застосування чистих, а не сумішних альтернативних холодильних агентів в діючому обладнанні рефрижераторних вагонів.

***Ключові слова:** рефрижераторний рухомий склад, холодильна машина, альтернативний холодильний агент, показники якості, ефективність використання.*

Вступ. Під час експлуатації холодильного обладнання рефрижераторного рухомого складу на багатокомпонентному альтернативному холодильному агенті у його роботі виникають недоліки, які обумовлені особливостями сумішевих альтернативних холодоагентів і пов'язані з селективною втратою будь-якого компонента при витіканні з контуру холодильної машини, що впливає на холодопродуктивність машини, та створення і підтримання температурного режиму перевезення швидкопсувних вантажів в рефрижераторних вагонах.

В холодильному обладнанні можливо застосування як сумішевих, так і чистих (простих) альтернативних холодоагентів. Перевага віддається насамперед чистим холодильним агентам, тому доволі важливими питаннями є визначення можливості застосування чистих альтернативних холодильних агентів в діючому холодильному обладнанні рефрижераторних вагонів [5].

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-17

Постановка задачі. Підвищення ефективності використання альтернативних холодильних агентів в діючому холодильному обладнанні пов'язано з функціонуванням та експлуатацією рефрижераторного рухомого складу при перевезенні швидкопсувних вантажів. Головним напрямком пошуку нових рішень розв'язання цієї проблеми є раціональний вибір альтернативного холодоагенту для холодильного обладнання рефрижераторних вагонів. В теперішній час в холодильній техніці використовується більш десятка різних холодильних агентів, які на ринку позиціонуються як альтернативні, озонобезпечні, але при цьому мають не ідентичні показники [1, 3, 4]. Таким чином актуальною задачею є створення методик, які дозволяють оцінити показники якості холодильного агента на підставі найбільш вагомих серед них та провести комп'ютерне моделювання зміни характеристик холодильної машини з метою раціонального вибору альтернативного холодоагенту для діючого холодильного обладнання рефрижераторних вагонів.

Мета і завдання дослідження. Метою написання цієї статті є визначення методичних підходів до оцінки показників якості холодильних агентів з метою раціонального вибору альтернативного холодильного агента для діючого холодильного обладнання та ефективного його використання і оцінки основних показників холодильного агента R134a, який запропоновано для експериментального застосування в холодильному обладнанні рефрижераторних вагонів, як чистого альтернативного холодильного агента.

Матеріали та методи дослідження. Рішення Монреальського протоколу докорінно змінили підхід до традиційних озоноруйнуючих холодильних агентів, тому холодильний агент хладон-12 (R12), який застосовувався в холодильному обладнанні рефрижераторного рухомого складу протягом багатьох років, визнаний озоноруйнуючою речовиною і його виробництво і використання в теперішній час заборонено [4].

У ситуації, що склалась, актуальним є не тільки розв'язання наукового завдання щодо забезпечення працездатності, але і підвищення ефективності функціонування холодильного обладнання рефрижераторних вагонів при його експлуатації на альтернативному R12 холодильному агенті в умовах діючої системи ремонту та обслуговування рефрижераторного рухомого складу. Це викликає необхідність оцінки показників альтернативних холодильних агентів та характеристик холодильної машини з метою раціонального вибору та ефективного використання в діючому холодильному обладнанні.

Дослідження показників та властивостей холодильних агентів виконуємо на підставі вимог, що пред'являються до них. Вимоги до холодильних агентів поділяються на наступні групи: екологічні, термодинамічні, експлуатаційні та економічні [5].

Термодинамічні вимоги визначають робочі якості холодильного агента, і для альтернативних холодильних агентів особливу увагу пред'являють до тиску, питомої об'ємної холодопродуктивності і холодильного коефіцієнту.

Згідно вимог до альтернативних холодильних агентів визначаємо основні критерії до дослідження їх показників:

1. Значення диференціала, P_k / P_0 ;
2. Значення температури в кінці процесу стиснення t , °C;
3. Значення питомої об'ємної холодопродуктивності q_v , кДж / кг ;
4. Значення холодильного коефіцієнта;

5. Екологічні показники.

За встановленими критеріями проведемо дослідження та порівняння показників холодильних агентів R12 та R134a

Значення показників холодильних агентів визначимо при стандартному температурному режимі роботи для фреонових компресійних холодильних машин одноступеневого стиснення, який обумовлений: температура кипіння холодильного агента у випарнику $t_0 = -15^\circ\text{C}$; температура всмоктування пари холодильного агента в компресор $t_{oc} = +15^\circ\text{C}$; температура конденсації $t_k = +30^\circ\text{C}$; температура переохолодження холодильного агента перед дроселюванням $t_k = +25^\circ\text{C}$ [2].

Диференціал холодильного агента – відношення тиску в конденсаторі P_k до тиску у випарнику P_0 (P_k / P_0). Чим більше різниця між тиском в конденсаторі і тиском у випарнику, тим умови роботи компресора є більш важкими. Тому абсолютні робочі тиски та їх різниця визначають надійність і ефективність холодильної машини.

Значення температури холодильного агента в кінці процесу стиснення впливає на надійність і ефективність холодильної машини. Чим більше температура холодильного агента в кінці стиснення, тим більші навантаження виникають в компресорі, збільшуються сили тертя в спряжених парах, зменшується надійність і ефективність холодильної машини.

Питома об'ємна холодопродуктивність холодильного агента q_v – кількість теплоти, яку отримує холодильний агент для утворення 1м^3 сухої насиченої пари [12].

$$q_v = \frac{q_0}{v_1'} = \frac{i_1 - i_4}{v_1'} \quad (1)$$

де q_0 – питома масова холодопродуктивність холодильного агента, $\text{кДж} / \text{кг}$;

v_1' – питома об'ємна пара холодильного агента на всмоктуванні в компресор, $\text{м}^3 / \text{кг}$;

i_1 – ентальпія холодильного агента в кінці процесу кипіння у випарнику, $\text{кДж} / \text{кг}$;

i_4 – ентальпія холодильного агента на початку кипіння у випарнику, $\text{кДж} / \text{кг}$.

Питома об'ємна холодопродуктивність визначає об'єм, що описують поршні компресора, тобто конструктивну характеристику компресора.

Холодильний коефіцієнт визначається відношенням теплоти, відведеної від тіла, що охолоджується, до роботи, що витрачається в цьому процесі [12].

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{q_0}{i_2 - i_1'} \quad (2)$$

де l – питома робота стиснення, $\text{кДж} / \text{кг}$;

i_2 – ентальпія холодильного агента в кінці процесу стиснення, $\text{кДж} / \text{кг}$;

i_1' – ентальпія холодильного агента на всмоктуванні в компресор, $\text{кДж} / \text{кг}$.

Екологічні властивості холодильного агента характеризують потенціал руйнування озону (ODP) і потенціал глобального потепління (GWP) або (HGWP) [5].

Потенціал руйнування озону ODP визначається наявністю атомів хлору в молекулі холодильного агента і прийнятий за одиницю для R11 та R12.

Потенціал глобального потепління GWP прийнятий за одиницю для діоксиду вуглецю (CO_2) з тимчасовим горизонтом 100 років, а потенціал HGWP підраховують щодо значення цього параметра для R11, також прийнятий за одиницю.

Для визначення показників холодильних агентів R12 та R134a згідно стандартного температурного режиму будуюмо цикл холодильної машини в $\lg p$ діаграмах та визначаємо параметри холодильного агента в характерних точках циклу: температуру $t, ^\circ\text{C}$; тиск $P, \text{МПа}$; ентальпію $i, \text{кДж} / \text{кг}$; питомий об'єм пари $v_1, \text{м}^3 / \text{кг}$.

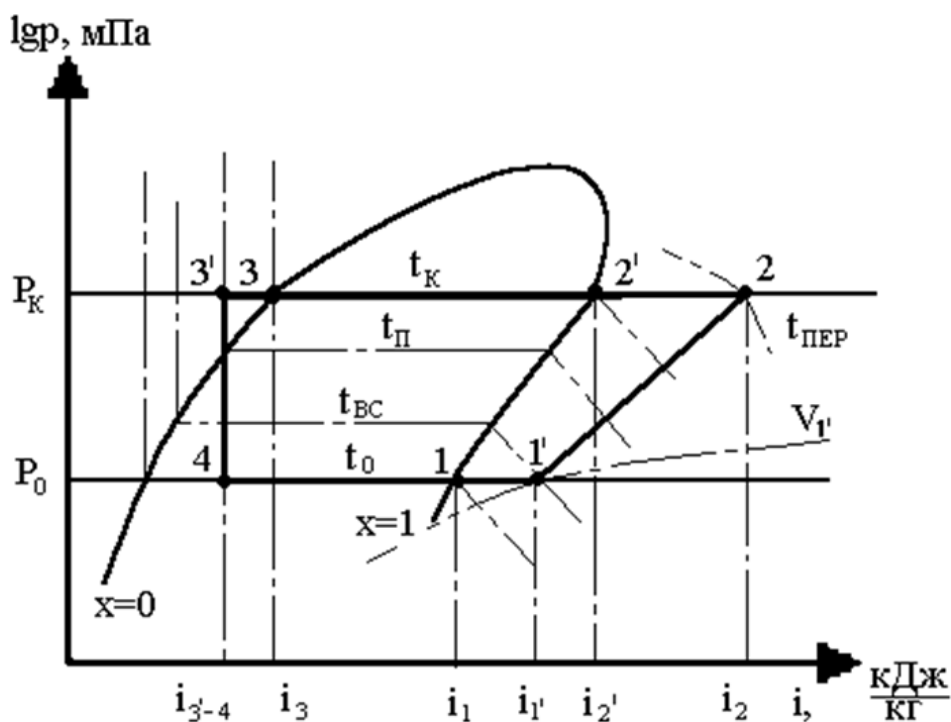


Рис. 1. Цикл холодильної машини в $\lg p$ діаграмі

Лінія (4-1) – ізотермічний і ізобарний процес кипіння холодоагенту у випарнику;

Лінія (1-1') – ізобарний перегрів пари холодоагенту на всмоктуванні в компресор;

Лінія (1'-2) – адиабатний процес стиску холодоагенту в компресорі;

Лінія (2-2') – ізобарний процес охолодження перегрітої пари до сухої насиченої пари в конденсаторі;

Лінія (2'-3) – ізотермічний і ізобарний процеси конденсації холодоагенту в конденсаторі;

Лінія (3-3') – ізобарний процес переохолодження рідкого холодоагенту перед дроселюванням;

Лінія (3'-4) – ізентальпний процес дроселювання рідкого холодоагенту.

За приведеною методикою дослідження визначаємо значення параметрів холодильних агентів і виконуємо їх порівняльний аналіз.

Таблиця 1. Значення параметрів холодильних агентів при стандартному температурному режимі холодильної машини

№ з/п	Параметр	Розмірність	Холодильний агент		
			R12	R134a	Розбіжність Δ, %
1	Диференціал холодильного агента, (P_k / P_0)	-	4,0	4,7	14,89
2	Температура в кінці процесу стиснення, t	°C	70	65	7,14
3	Питома об'ємна холодопродуктивність, q_v	$\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$	1171,6	1060,9	9,44
4	Холодильний коефіцієнт, ε	-	4,13	4,18	1,19

На підставі аналізу показників (табл. 1) можливо зробити висновок, що середнє значення розбіжності найбільш вагомих показників якості холодильних агентів R12 та R134a складає 8,16 % і це дає підстави для можливості використання холодильного агента R134a з потенціалом руйнування озона ODP = 0 як альтернативний холодильному агенту R12.

Властивості холодильного агента оцінюються також на підставі аналізу коефіцієнту перетворювання теплоти (coefficient of performance - COP), який визначається за формулою [12]

$$COP = \frac{Q_0}{N_{ao}} \quad (3)$$

де Q_0 – холодопродуктивність, Вт

N_{ao} – потужність, що визначається на здійснення циклу, Вт

Аналіз величини COP циклу холодильної машини полягає в аналізі термодинамічних властивостей холодильного агента при встановленому температурному режимі. В документації заводу-виробника робочих речовин використовується величина COP робочої речовини в стандартному температурному режимі.

Холодопродуктивність є основною характеристикою холодильної машини, яка визначається властивостями холодильного агента та значеннями температур його конденсації t_k і кипіння t_0 , тобто $Q_0 = f(t_k, t_0)$.

Значення холодопродуктивності визначається на основі виразу об'ємної холодопродуктивності компресора [2]

$$Q_0 = \lambda \cdot V_h \cdot q_v \quad (4)$$

де λ – коефіцієнт подачі;

V_h – об'єм, що описують поршні компресора, $m^3 / год$

В теоретичному процесі стиснення пари холодильного агента в компресорі здійснюється адіабатно, при цьому потужність, що витрачається, визначається за формулою [12]

$$N_{ad} = G \cdot (i_2 - i_1) \quad (5)$$

де G – кількість циркулюючого холодильного агента, $кг / с$

i_1 та i_2 – ентальпії пари холодильного агента на початку та наприкінці стиснення, $Дж / кг$

Для розглядання можливості застосування альтернативного холодоагенту R134a в холодильній установці $BP18 \times 2 - 1 - 2$ п'яти вагонної рефрижераторної секції РС-4 БМЗ [6] розраховуємо значення холодопродуктивності; потужності, що витрачається; COP та порівнюємо їх значення з значеннями холодильного агента R12, який застосовувався в холодильному обладнанні. Значення холодопродуктивності, потужності, що витрачається, COP холодильних агентів R134a та R12 приведені на рис. 2-4.

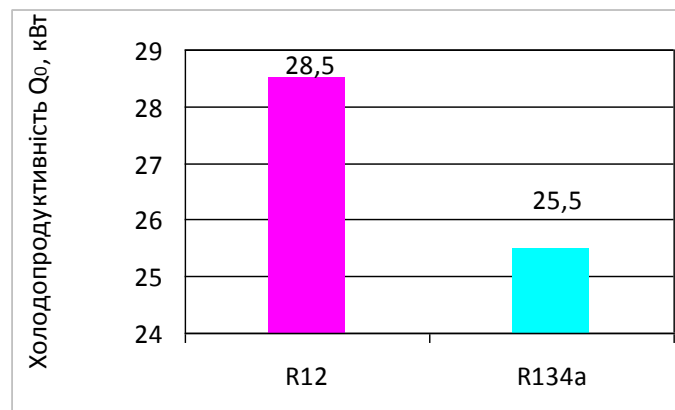


Рис. 2. Холодопродуктивність компресора холодильної машини $BP 18 \times 2 - 1 - 2$ при застосуванні холодильних агентів R12 та R134a

З рис. 2, де зображено значення холодопродуктивності компресора холодильної машини $BP18 \times 2 - 1 - 2$ бачимо, що при використанні холодильного агента R12 холодопродуктивність компресора більше на 3,0 кВт, чим при застосуванні альтернативного холодильного агента R134a.

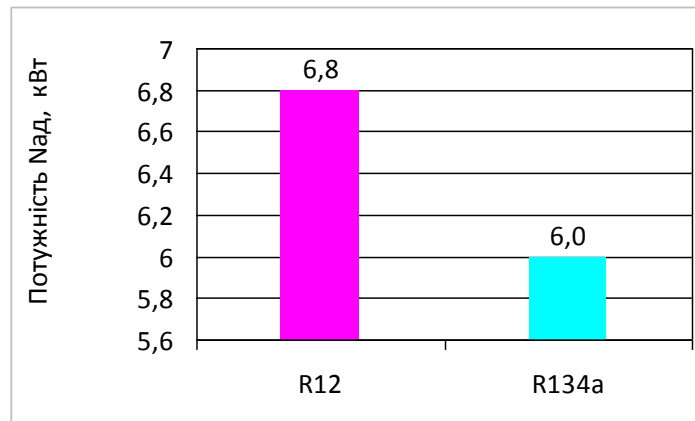


Рис. 3 Потужність, що витрачається компресором холодильної машини ВР 18×2-1-2 при застосуванні холодильних агентів R12 та R134a

З рис. 3, де зображено потужність, що використовується компресором компресора холодильної машини ВР18×2–1–2 бачимо, що при використанні холодильного агента R12 потужність, що витрачається компресором на 0,8 кВт більше чим при застосуванні альтернативного холодильного агента R134a.

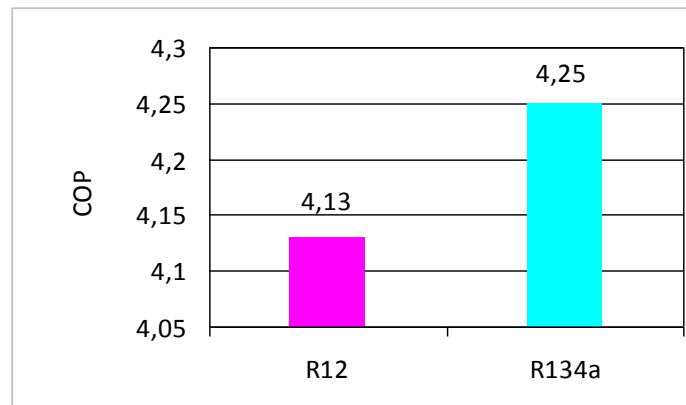


Рис. 4 Значення COP холодильної машини ВР 18×2-1-2 при застосуванні холодильних агентів R12 та R134a

З рис. 4, де зображено значення COP холодильної машини ВР18×2–1–2 бачимо, що при використанні холодильного агента R12 значення COP менше на 0,12, чим при застосуванні альтернативного холодильного агента R134a.

Порівняльний аналіз показників холодильної машини ВР18×2–1–2 п'ятивагонної рефрижераторної секції РС-4 БМЗ дає підстави визначити доцільність застосування альтернативного холодильного агента R134a замість холодильного агента R12 за наступними факторами:

- стандартна холодопродуктивність компресора, при застосуванні альтернативного холодильного агента R134a на 10,5 % менше, чим при використанні холодильного агента R12, це збільшує тривалість попереднього охолодження кузова

рефрижераторного вагона секції БМЗ перед завантаженням мороженого вантажу при температурі зовнішнього повітря $t_3 = +30^\circ\text{C}$ на 22 хвилини;

– потужність, що витрачається компресором в стандартному температурному режимі при застосуванні альтернативного холодильного агента R134a на 12,91 % менше чим при використанні холодильного агента R12;

– значення COP при застосуванні альтернативного холодильного агента R134a більше на 2,8 % чим при використанні холодильного агента R12;

– зменшення потужності, яка витрачається компресором, збільшення значення COP свідчить про підвищення ефективності роботи холодильної машини при незначному збільшенні часу попереднього охолодження рефрижераторного вагона перед завантаженням вантажу, що дає підстави стверджувати про доцільність експериментального дослідження застосування альтернативного холодильного агента R134a в діючому холодильному обладнанні рефрижераторного рухомого складу з наступним встановленням можливості його використання.

Висновки. На підставі виконаних досліджень та проведеного аналізу:

1. Визначені методичні підходи до оцінки показників якості холодильних агентів з метою раціонального вибору альтернативного холодильного агента для діючого холодильного обладнання рефрижераторного рухомого складу та ефективного його використання.

2. Виконано оцінку показників якості холодильних агентів за встановленими критеріями, які визначалися на підставі вимог до альтернативних холодильних агентів.

3. Визначено середнє значення розбіжності найбільш вагомих показників якості холодильних агентів R12 та R134a, що складає 8,16 %, це дає підстави запропонувати застосування холодильного агента R134a, який має потенціал руйнування озона $\text{ODP} = 0$ як альтернативний холодильному агенту R12 в холодильному обладнанні рефрижераторних вагонів.

4. Значення COP при застосуванні альтернативного холодильного агента R134a в діючому холодильному обладнанні рефрижераторного вагона секції БМЗ більше на 2,8 % чим при використанні холодильного агента R12, що свідчить про підвищення ефективності роботи холодильної машини.

5. Запропоновано за результатами розрахунків циклів холодильної машини $\text{BP18} \times 2 - 1 - 2$ п'ятивагонної рефрижераторної секції PC-4 БМЗ та їх порівняльного аналізу при застосуванні холодильних агентів R12 та R134a здійснити експериментальне дослідження з використанням в холодильному обладнанні рефрижераторного рухомого складу не сумішевий, а чистий альтернативний холодильний агент R134a.

ЛІТЕРАТУРА

1. Цветков О.Б. Холодильные агенты. СПб: СПбГУНиПТ, 2003. 216 с.
2. Ибраев А.М., Мустафин Т.Н., Хамидуллин М.Н. Сравнительный анализ холодильных агентов пароконденсационных холодильных машин по ожидаемой холодопроизводительности. // Вестник Казан. технолог. ун-та. 2014. №14, т.17. С. 159-162.
3. Бабакин Б.С., Показеев К.В., Выгодин В.А., Чаплина Т.О. (2009) Экология и холодильная техника – М.: ДеЛи принт, 2009, 532 с.
4. Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/monreal.pdf

5. *Бабакин Б.С., Стефанчук В.И., Ковтунов Е.Е.* Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе. М.: Колос, 2000. –160с.
6. Машина холодильно-нагревательная ВР18×2-1-2. Паспорт ВР18×2-1-2-2ПР.
7. ОСТ 24.050.65 Вагоны рефрижераторные. Методика проведения теплотехнических испытаний УДК629.463.125.001.4.Группа Д59.
8. *Ищенко В.Н.* Термодинамические аспекты альтернативной замены холодильного агента в холодильных системах подвижного состава. // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технології транспорту. 2005. С. 53-57.
9. *Ищенко В.Н.* Энергетическая эффективность рефрижераторных вагонов для перевозки скоропортящихся грузов. // Одеська державна академія холоду. Холодильна техніка і технологія. Науково-технічний журнал. 2007. №5 (109). С. 40-46.
10. *Ибраев А.М.* Анализ энергетических потерь парокompрессионной холодильной машины, связанных с процессом перегрева рабочего тела в испарителе. // Вестник Казан. технолог. ун-та. 2013. №21, т.16. С. 238-241.
11. *Coulomb D.* The refrigerants future: the phase down of HFCs and its consequences // Вестник Международной академии холода 2014, №1 С. 3-6.
12. *Бараненко А.В., Бухарин Н.Н., Пекарев В.И., Тимофеевский Л.С.* Холодильные машины. СПб: Политехника, 2006. 944 с.
13. *Ларин И.К.* Фреоны и озоновый слой Земли // Холодильная техника. 2002, №1. С.34-37.
14. *Мазур В.А.* Альтернативные хладагенты стратегия выбора // Холодильная техника. 2002. №6. С. 9-10.
15. Хладагенты [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ingenium-company.ru/catalog/rashod_mat/hladageni/

REFERENCES

1. *Tsvetkov O.B.* (2003) Kholodil'nyye agenty. - 216 s. (In Russian)
2. *Ibrayev A.M., Mustafin T.N., Khamidullin M.N.* (2014) Sravnitel'nyy analiz kholodil'nykh agentov parokompрессионnykh kholodil'nykh mashin po ozhidayemoy kholodoproizvoditel'nosti. // Vestnik Kazan. tekhnolog. un-ta - t.17 №14 - 2014. - 159-162. (In Russian)
3. *Babakin B.S., Pokazeyev K.V., Vygodin V.A., Chaplina T.O.* (2009) Ekologiya i kholodil'naya tekhnika - M.: DeLi print, 2009, 532 s. (In Russian)
4. Монреальский протокол по вешествам, разрушающим озоновый слой. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/monreal.pdf
5. *Babakin B.S., Stefanчук V.I., Kovtunov Ye.Ye.* (2000) Aльтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе. - М.: Колос, 2000 - 160с.: Ил. (In Russian)
6. Машина холодильно-нагревательная ВР18 × 2-1-2. Паспорт ВР18 × 2-1-2-2ПР.
7. ОСТ 24.050.65 Вагоны рефрижераторные. Методика проведения теплотехнических испытаний УДК629.463.125.001.4.Группа Д59.
8. *Ishchenko V.N.* Термодинамические аспекты альтернативной замены холодильного агента в холодильной системе подвижного состава. / V.N. Ishchenko, N.S. Braykovskaya // Научные исследования Киевского национального университета - 2005. - P. 53-57. (In Ukrainian)
9. *Ishchenko V.N.* Энергетическая эффективность рефрижераторных вагонов для перевозки скоропортящихся грузов. / V.N. Ishchenko, N.S. Braykovskaya. // Одеська державна академія холоду. Кholodil'na tekhnika i tekhnologiya. Naukovo-tekhnichnyi zhurnal. - 2007. №5 (109) - P. 40-46. (In Ukrainian)
10. *Ibrayev A.M.* Анализ энергетических потерь парокompрессионной холодильной машины. // Вестник Казан. технолог. un-ta - t.16 №21 - 2013. - S. 238-241. (In Russian)
11. *Coulomb D.* The refrigerants future: the phase down of HFCs and its consequences // Вестник Международной академии холода 2014, №1 С. 3-6. (In Russian)
12. *Baranenko A.V., Bukharin N.N., Pekarev V.I., Timofeyevskiy L.S.* Kholodil'nyye mashiny - SPb: Politehnika, 2006. - 944 s. (In Russian)
13. *Larin I.K.* Freony i ozoновyy sloy Zemli // Kholodil'naya tekhnika. 2002, №1. S.34-37. (In Russian)
14. *Mazur V.A.* Aльтернативные хладагенты стратегия выбора // Kholodil'naya tekhnika. 2002. - №6. - P. 9-10. (In Ukrainian)
15. Хладагенты [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.ingenium-company.ru/catalog/rashod_mat/hladageni/

*Надежда Сергеевна Брайковская, к.т.н., профессор,
(директор Киевского института железнодорожного транспорта),
Вадим Николаевич Ищенко, к.т.н., доцент,
(заведующий кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»), Юрий
Владимирович Щербина, к.т.н.,
(старший преподаватель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»)*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЭФФЕКТИВНОМУ
ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ АГЕНТОВ
В ХОЛОДИЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ РЕФРИЖЕРАТОРНОГО
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

В статье рассмотрены вопросы, связанные с подходами к эффективному использованию альтернативных холодильных агентов в действующем холодильном оборудовании рефрижераторного подвижного состава. Исследования и анализ свойств холодильных агентов предложено выполнять по наиболее весомым показателям, которые определены на основании требований к альтернативным холодильным агентам. Определены подходы к рациональному выбору альтернативного холодильного агента для действующего холодильного оборудования, проведено исследование на возможность применения чистых, а не смесевых альтернативных холодильных агентов в действующем оборудовании рефрижераторных вагонов.

***Ключевые слова:** рефрижераторный подвижной состав, холодильная машина, альтернативный хладагент, показатели качества, эффективность использования.*

*Nadezhda Braikovska, Ph.D., professor,
(Director of the Kyiv Institute of Railway Transport)
Vadym Ishchenko, Ph.D., associate professor
(Head of chair «Wagons and wagon facilities»)
Yurii Scherbina, Ph.D.,
(senior lecturer of department «Wagons and wagon facilities »)*

**METHODICAL APPROACHES TO EFFICIENT USE OF ALTERNATIVE
REFRIGERATING AGENTS IN REFRIGERATING MOLDING COMPOSITE
REFRIGERATION EQUIPMENT**

The article discusses issues related to approaches to the effective use of alternative refrigeration agents in existing refrigeration equipment for refrigerated rolling stock. At present, a large number of different refrigerants are used in refrigeration technology, which are positioned on the market as alternative, ozone-safe, but at the same time have not identical indicators. One of the directions of the search for new solutions to the rational choice of alternative refrigerants for refrigeration equipment, which is in operation, has been determined. A method has been proposed that allows assessing the quality indicators of a refrigerant based on the most significant ones, which have been determined on the basis of the requirements for alternative refrigerants. By means of computer simulation, changes in the characteristics of the refrigerating machine have

been established depending on the modes of its operation when using an alternative refrigerant. Analysis of the thermodynamic parameters of an alternative refrigerant in the refrigeration cycle has been carried out using the heat conversion coefficient. Based on the proposed methodology, approaches to the rational choice of an alternative refrigerant for existing refrigeration equipment have been defined. A study has been conducted on the possibility of using clean, rather than mixed, alternative refrigerating agents in the existing equipment of refrigerated wagons..

Keywords: *refrigerated rolling stock, refrigerator, alternative refrigerant, quality indicators, efficiency of use.*

УДК 629.4:592.2

Александр Сафронов, к.т.н.

(директор Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» ГП «УкрНИИВ»).

Юрий Водяников, к. т. н., с. н. с.

(ведущий научный сотрудник лаборатории электротехнических, динамических, теплотехнических и прочностных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» ГП «УкрНИИВ»).

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ТОРМОЗНОЙ СИЛЫ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА С ДИСКОВЫМИ ТОРМОЗАМИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЕЗДНЫХ ТОРМОЗНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Представлена методика определения фактического значения удельной тормозной силы пассажирского вагона по результатам поездных тормозных испытаний, базирующаяся на решение дифференциального уравнения движения при торможении. Приведены расчетные зависимости определения фактических значений удельных тормозных сил и расчетных тормозных коэффициентов. На примере результатов ходовых тормозных испытаний пассажирского вагона с дисковым тормозом показано, что погрешность определения удельной тормозной силы не превышает 1%.

***Ключевые слова:** дисковый тормоз, удельная тормозная сила, тормозной путь, математическое моделирование, тормозные процессы.*

Вступление. Создание высокоскоростного пассажирского движения в одну из основных выдвигает задачи создания высоконадежных и эффективных тормозных систем. Решение указанных задач связано с большими конструкторскими, расчетными и исследовательскими работами, успех которых во многом зависит от выбранных способов расчета, правильности принятых исходных положений и расчетных нормативов, а также методики экспериментальных исследований различных процессов и работоспособности тех или иных элементов нового тормозного оборудования.

Дальнейшее развитие тормозных систем и повышение тормозной эффективности вагонов невозможно без применения новых более углубленных методов экспериментального исследования и анализа процессов торможения.

Кроме того, определение эффективности тормозной системы является одним из основных видов специальных поездных испытаний опытных вагонов.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-18

Дальнейшее повышение скоростей движения пассажирских поездов при колодочных тормозах ограничено силой сцепления колес с рельсами, а также чрезмерным нагревом поверхности катания колеса при торможении.

В этой связи все большее распространение получают дисковые тормозные системы (рис. 1), которые обеспечивают высокую тормозную эффективность, особенно при скоростях движения более 160 км/ч.



Рис. 1. Дисковый тормоз, установленный на оси колесной пары

Дисковые тормоза имеют существенные преимущества перед колодочными с точки зрения компактности тормозного оборудования и стабильности рабочих характеристик. При дисковом тормозе поверхность катания колес свободна от усиленного нагрева и износа при этом устраняются перегревы колес, ненормальные выработки на поверхности катания и др.

Коэффициент трения между накладкой и диском является постоянной величиной и может изменяться в пределах от 0,3 до 0,4 (рис. 2), не зависит от температуры и скорости, подтверждением этому являются результаты экспериментальных исследований (рис. 3).

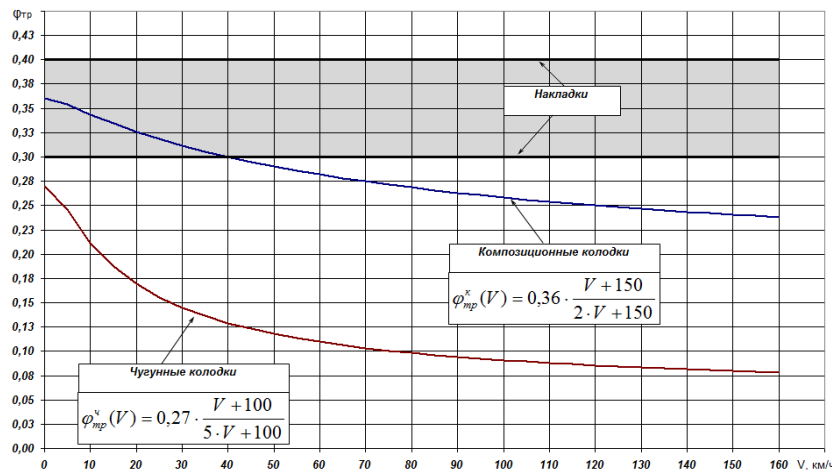


Рис. 2. Особенности изменения расчетных коэффициентов трения для колодочных и дисковых тормозов

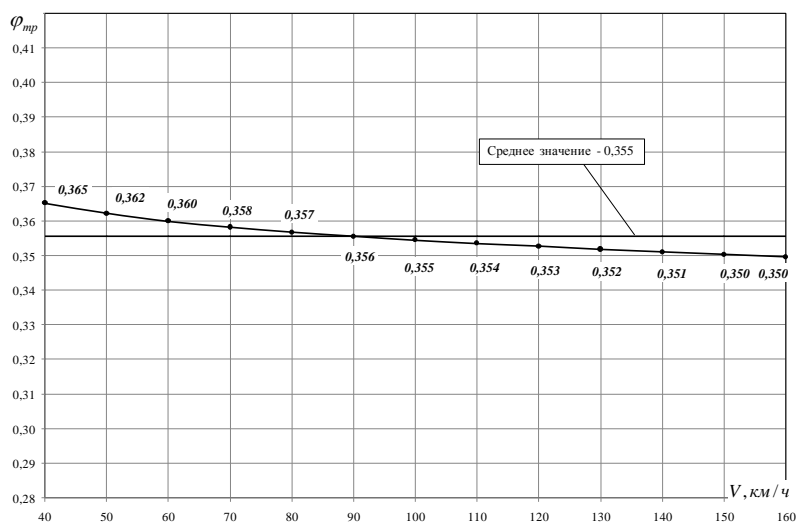


Рис. 3. Зависимость коэффициентов трения от скорости движения, полученные при ходовых тормозных испытаниях

Вместе с тем, отмеченные существенные различия колодочных и дисковых тормозов не позволяют применить существующие нормативы к дисковым тормозным системам и требуют пересчета (проецирования) их тормозной эффективности на тормозную эффективность колодочного тормоза.

Анализ последних исследований и постановка проблемы. В статье [1,12] показано основное отличие в определении характеристик тормозной системы пассажирских вагонов с дисковыми и колодочными тормозами. Предлагается анализ тормозной эффективности пассажирских вагонов с дисковыми тормозами производить по удельной тормозной силе. Приведены номограммы для определения тормозных путей пассажирского поезда в зависимости от величины удельной тормозной силы.

В статье [2, 14] указывается на необходимость оценки тормозной эффективности дисковых тормозов с учетом фактических значений коэффициентов трения.

Алгоритм по выбору основных характеристик тормозной системы пассажирского вагона с дисковым тормозом приведен в работе [3, 13].

Результаты испытаний дисковой тормозной системы пассажирского вагона изложены в [4, 15], они состояли из стационарных и поездных тормозных испытаний. Основные характеристики определялись с помощью индикаторных диаграмм изменения давления в тормозных приборах при торможении. Приведены коэффициенты тормозного нажатия в пересчете на чугунные колодки в диапазоне скоростей (40-160) км/ч, а также номограммы тормозных путей в зависимости от действительного коэффициента тормозного нажатия. Представлен характер изменения действительного коэффициента трения фрикционной пары накладки-диск. В статье [5, 14] предложена методика определения фактического коэффициента трения накладок по результатам поездных тормозных испытаний. На конкретных примерах показано, что для анализа эффективности дискового тормоза по результатам тормозных испытаний необходимо учитывать фрикционные свойства накладки. Расчетно-экспериментальный метод определения характеристик тормозных систем

пассажи́рских и грузовых вагонов с использованием математической модели предложен в работе [6]. Расчетные исследования позволяют провести анализ свойств тормозной системы во временной области. Апробация метода на примере пассажирского вагона с дисковым тормозом показала хорошее совпадение с результатами экспериментальных исследований и может быть использована для оценки характеристик тормозных процессов вагонов во временной области.

В статье [7, 15] описана методология исследования тормозных систем единиц подвижного состава при проведении поездных тормозных испытаний. Представлен программный комплекс, позволяющий исследовать различные по своей физической природе характеристики процессов торможения в едином режиме времени.

Цель и задачи исследования. Важнейшей оценочной характеристикой тормозной эффективности вагона является расчетный тормозной коэффициент колодочного тормоза или удельная тормозная сила дискового, поэтому одной из основных задач ходовых тормозных испытаний пассажирских вагонов является определение таких значений указанных характеристик, которые соответствуют измеренным значениям тормозных путей при заданных скоростях движения в начале торможения. Для колодочных тормозов расчетные тормозные коэффициенты определяются по таблицам или номограммам [8, 9]. Для дискового тормоза требуется разработка специальной методики оценивания тормозной эффективности (удельной тормозной силы) по результатам ходовых тормозных испытаний.

Материалы и методы исследования. Удельная тормозная сила и тормозной путь находятся в обратно пропорциональной зависимости - чем больше удельная тормозная сила, тем меньше тормозной путь. В этой связи, зависимость между ними может быть описана математическим выражением, отображающей степенную зависимость:

$$b_{факт} = c(V_0) \cdot S_{эксн}(V_0)^{d(V_0)}, \quad (1)$$

где коэффициенты уравнения (1) для скорости V_0 определяются по формулам [10]:

$$c(V_0) = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^m \ln(b_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_0, b_i)))^2 - \sum_{i=1}^n \ln(b_i) \cdot \ln(S_i(V_0, b_i)) \cdot \sum_{i=1}^m \ln S_i(V_0, b_i)}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_0, b_i)))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_0, b_i)))^2} \right) \quad (2)$$

$$d(V_0) = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \ln(b_i) \cdot \ln(S_i(V_0, b_i)) - \sum_{i=1}^m \ln(b_i) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(S_i(V_0, b_i))}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_0, b_i)))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(S_i(V_0, b_i)))^2}, \quad (3)$$

где V_0 – скорость в начале торможения в диапазоне изменения от минимального до максимального значений с шагом ΔV ;

b_i – удельная тормозная сила в диапазоне изменения значений от минимальной до максимальной величин с шагом Δb ;

$S_i(V_0, b_i)$ – тормозной путь пассажирского вагона при заданных значениях V_0 и b_i .

Блок-схема вычислений фактических значений удельных тормозных сил (расчетных тормозных коэффициентов) представлена на рис. 4.

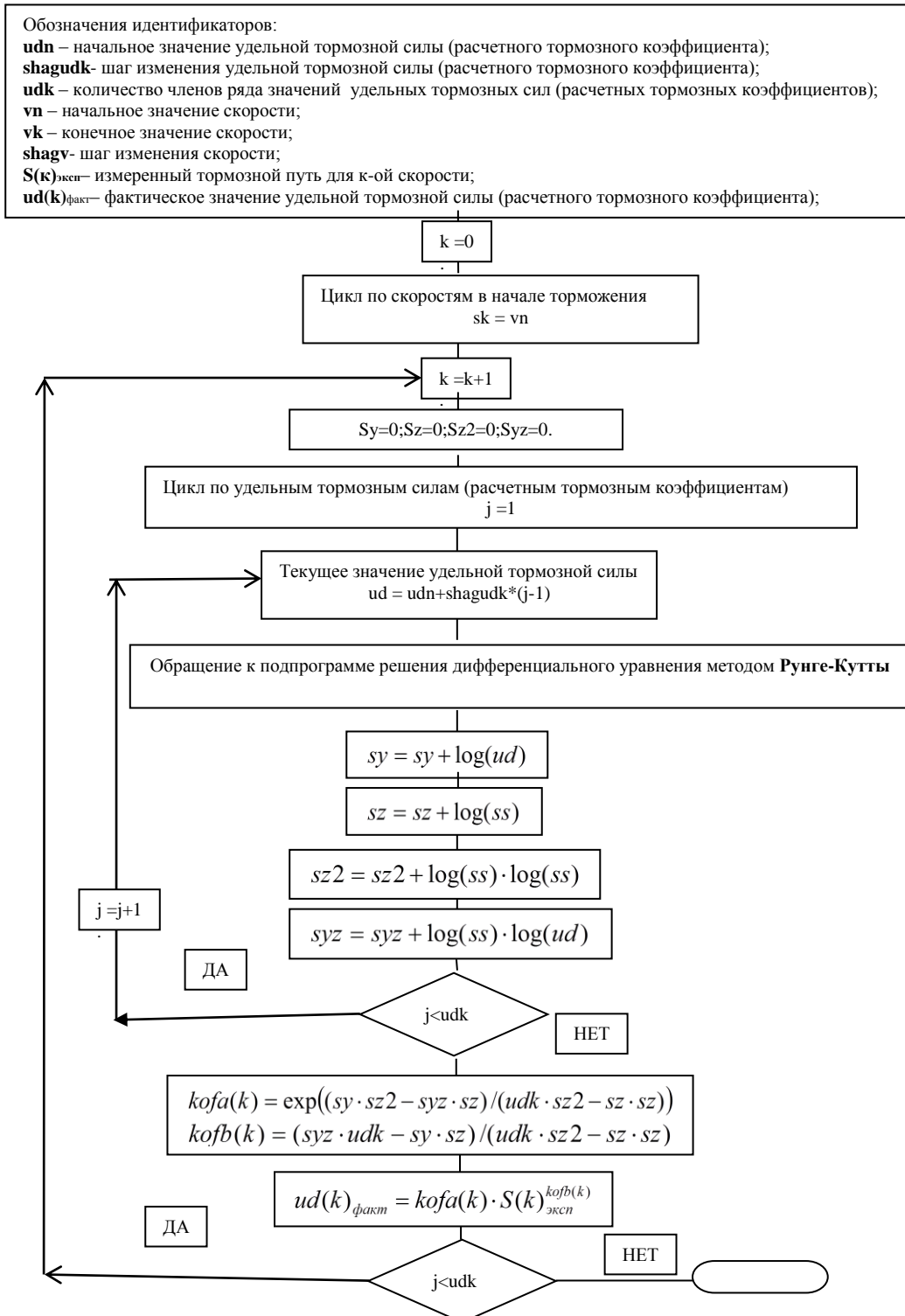


Рис.4. Блок схема определения фактического значения удельной тормозной силы

Массивы значений параметров, входящих в формулы (2 и 3), определяются методом решения дифференциального уравнения по прикладной программе для ЭВМ, в качестве математической модели используется дифференциальное уравнение [6]:

$$\frac{d^2S}{dt^2} = -\zeta \cdot \{1000 \cdot b_T \cdot \beta(b_i / b_T, t) + w_{ox}(v)\}, \quad (4)$$

где ζ – замедление поезда при действии удельной замедляющей силы, $\zeta = 120$ км/ч² ([11]);

b_T - удельная тормозная сила при максимальном давлении в тормозном цилиндре;

$\beta(b_i / b_T, t)$ – функция, отображающая процесс изменения удельной тормозной силы в зависимости от наполнения цилиндра сжатым воздухом при торможении;

w_{ox} – основное удельное сопротивление движению поезда, определяется по формуле [11]:

$$w_{ox} = 0,7 + \frac{8 + 0,18 \cdot V(t) + 0,003 \cdot V^2}{q_0}, \quad (5)$$

где q_0 – осевая нагрузка, тс/ось;

$V(t)$ – текущая скорость движения вагона при торможении, км/ч.

Для иллюстрации изложенной методики на рис. 5 приведены результаты измерений тормозных путей пассажирского вагона с дисковым тормозом, а в таблице 1 – массив тормозных путей для расчета коэффициентов уравнения (1) по формулам (2-3) в заданных диапазонах изменения удельных тормозных сил и скоростей движения в начале торможения (рис. 6).

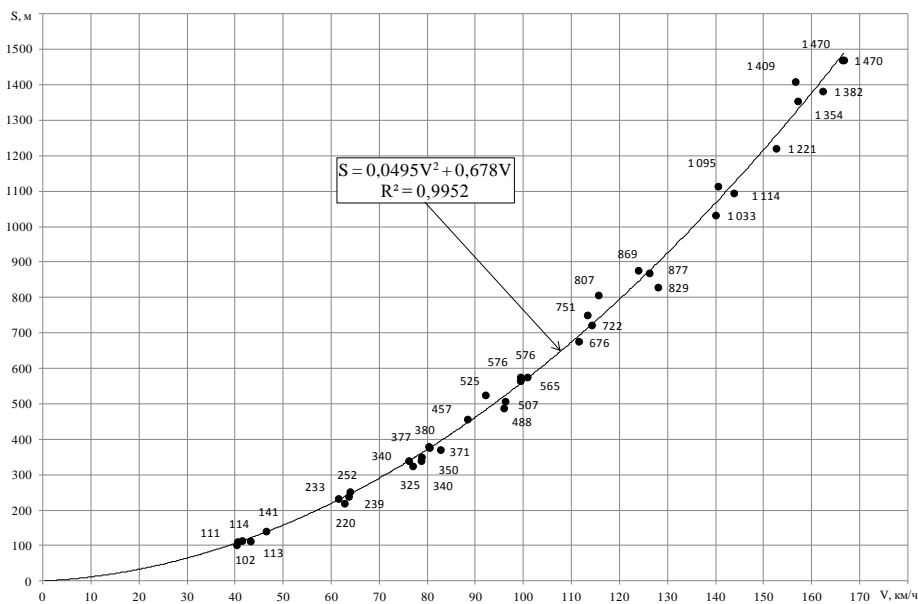


Рис. 5. Результаты измерений тормозного пути пассажирского вагона с дисковым тормозом

Таблиця 1. Массив значений тормозных путей пассажирского вагона с дисковым тормозом, полученных в результате решения дифференциального уравнения

V, км/ч	Ряд задаваемых значений удельных тормозных сил											
	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,090	0,095	0,100	0,105	0,110	0,115	0,120
	Массив значений тормозных путей, м											
40	132,8	125,8	119,8	114,4	109,7	105,5	101,7	98,2	95,1	92,3	89,7	87,3
50	197,0	186,2	176,7	168,4	161,1	154,5	148,7	143,4	138,6	134,2	130,1	126,5
60	273,2	257,7	244,2	232,3	221,8	212,5	204,1	196,5	189,6	183,3	177,6	172,3
70	361,4	340,4	322,1	306,0	291,8	279,1	267,8	257,5	248,2	239,7	231,9	224,8
80	461,2	434,0	410,3	389,4	370,9	354,5	339,7	326,3	314,2	303,2	293,1	283,8
90	572,6	538,4	508,6	482,3	459,1	438,3	419,7	402,9	387,7	373,8	361,1	349,4
100	695,4	653,4	616,8	584,6	556,1	530,7	507,8	487,2	468,5	451,4	435,8	421,4
110	829,2	778,8	734,9	696,2	661,9	631,3	603,8	579,0	556,5	535,9	517,1	499,8
120	974,0	914,5	862,5	816,9	776,3	740,1	707,6	678,3	651,6	627,3	605,0	584,6
130	1129,4	1060,1	999,7	946,4	899,2	857,0	819,1	784,9	753,8	725,4	699,4	675,5
140	1295,2	1215,6	1146,0	1084,8	1030,4	981,8	938,2	898,7	862,8	830,1	800,2	772,6
150	1471,2	1380,6	1301,5	1231,7	1169,8	1114,4	1064,6	1019,6	978,7	941,4	907,2	875,8
160	1657,1	1555,0	1465,7	1387,0	1317,1	1254,6	1198,4	1147,5	1101,3	1059,1	1020,5	984,9
170	1852,5	1738,4	1638,6	1550,5	1472,3	1402,3	1339,3	1282,3	1230,5	1183,2	1139,8	1099,9

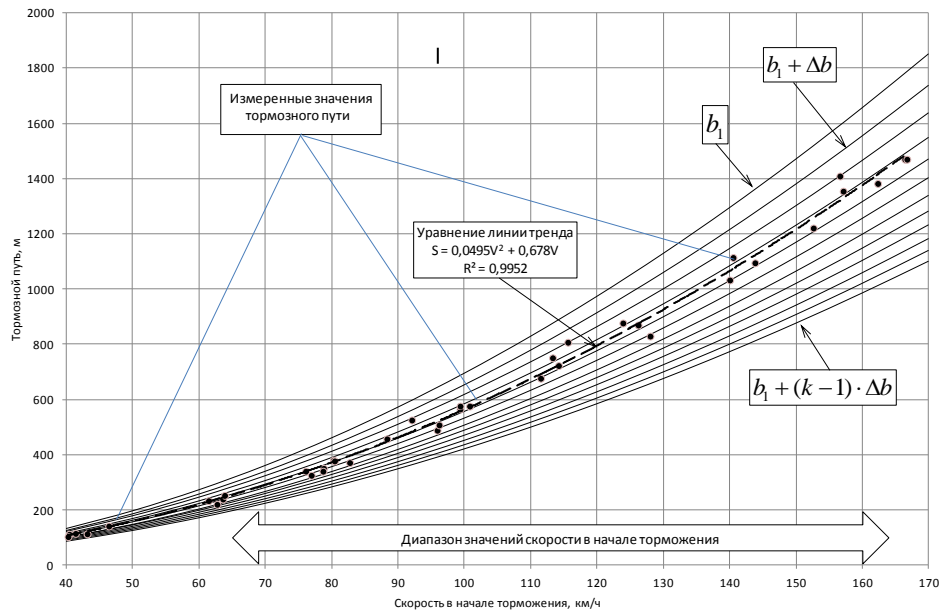


Рис.6. Номограммы тормозных путей пассажирского вагона в диапазонах изменения удельных тормозных сил и скоростей движения

В таблице 2 приведены коэффициенты уравнения (1), а также удельные тормозные силы. Погрешность определения удельных тормозных сил не превышает 0,5 % (табл. 3).

Таблица 2. Результаты расчета фактических значений удельных тормозных сил

V, км/ч	Фактические значения тормозного пути (м), полученные в результате испытаний	Коэффициенты уравнения $b_{факт} = c(V_0) \cdot S_{эксп}(V_0)^{d(V_0)}$		Значение удельной тормозной силы
		$c(V_0)$	$d(V_0)$	
1	2	3	4	5
40	106	95,56463	-1,49215	0,0903
50	158	111,4496	-1,40995	0,0887
60	219	128,6335	-1,3533	0,0875
70	290	147,5358	-1,31233	0,0865
80	371	168,3192	-1,2816	0,0857
90	462	191,2984	-1,25807	0,0849
100	563	216,8634	-1,2399	0,0843
110	674	244,9187	-1,22552	0,0836
120	795	275,5394	-1,21397	0,0831
130	925	309,2048	-1,20478	0,0825
140	1066	346,8093	-1,19777	0,0820
150	1216	387,0686	-1,19189	0,0814
160	1377	431,7901	-1,1875	0,0809

Таблица 3. Тормозные пути вагона

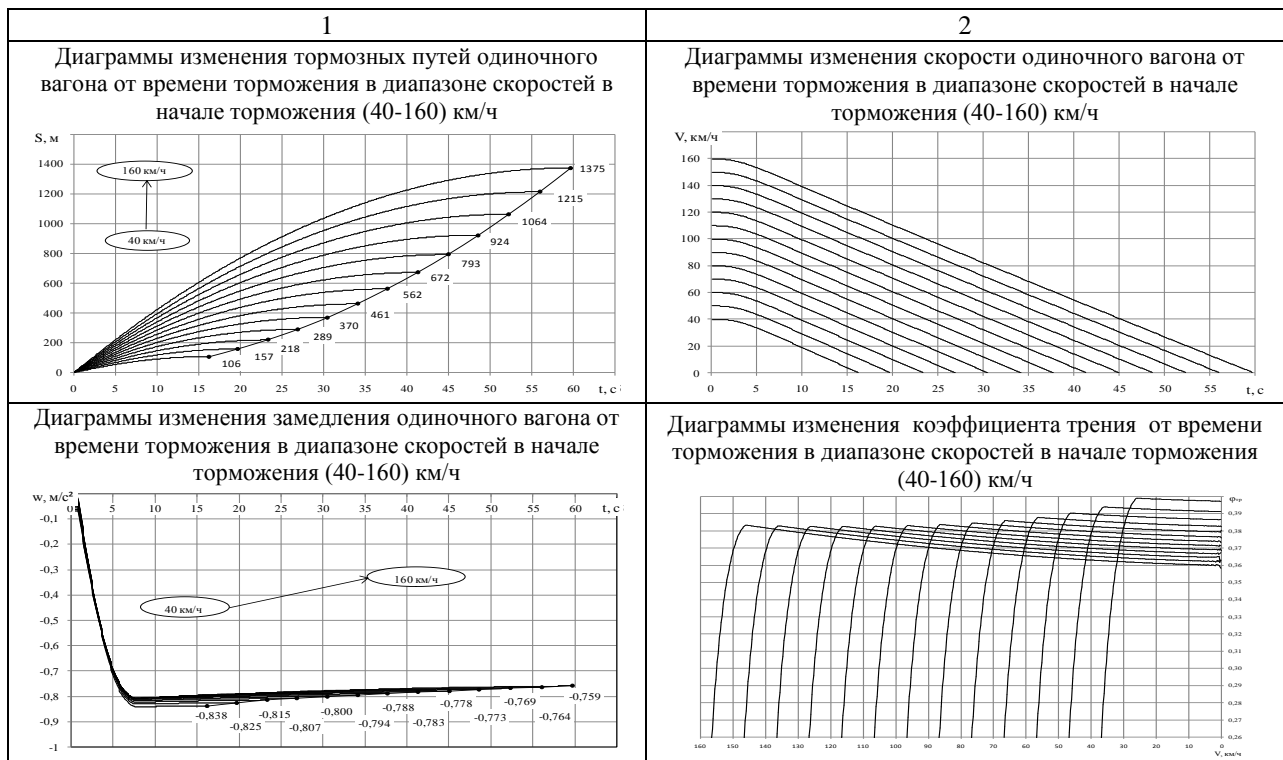
V, км/ч	Фактические значения тормозного пути (м), полученные в результате испытаний	Значения тормозного пути (м), полученные методом математического моделирования	Погрешность
1	2	3	4
40	106,38	106,02	0,340%
50	157,75	157,17	0,366%
60	219,02	218,22	0,366%

Конец таблицы 3

1	2	3	4
70	290,21	289,18	0,353%
80	371,30	370,07	0,333%
90	462,30	460,89	0,306%
100	563,22	561,63	0,281%
110	674,04	672,33	0,253%
120	794,77	792,97	0,225%
130	925,40	923,58	0,197%
140	1065,95	1064,15	0,169%
150	1216,41	1214,71	0,139%
160	1376,77	1375,26	0,110%

В табл. 4 показана динамика изменения основных параметров тормозного процесса за время торможения, а на рис. 7 – удельные тормозные силы и эквивалентные им значения расчетных тормозных коэффициентов композиционных и чугунных колодок.

Таблица 4. Динамика изменения параметров тормозного процесса от времени торможения



Конец таблицы 3

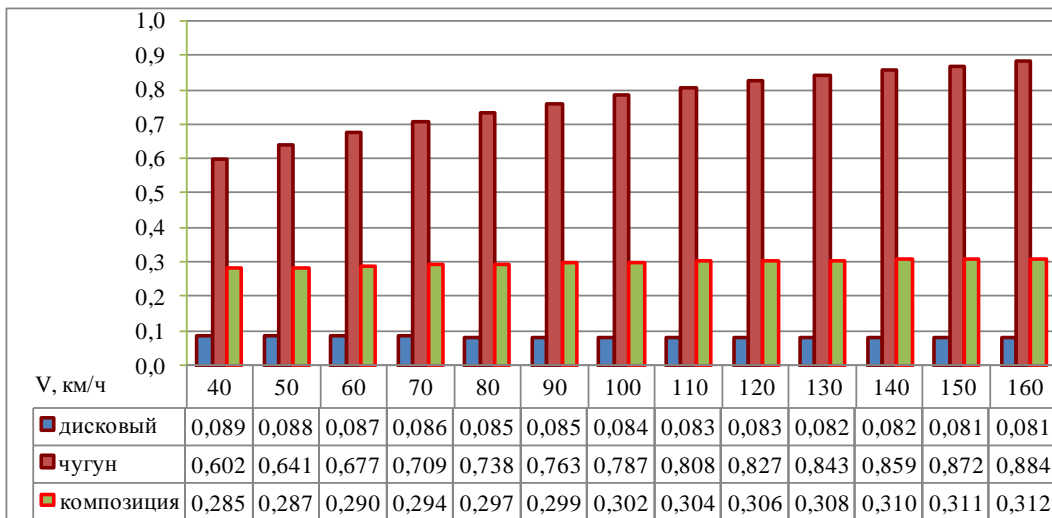
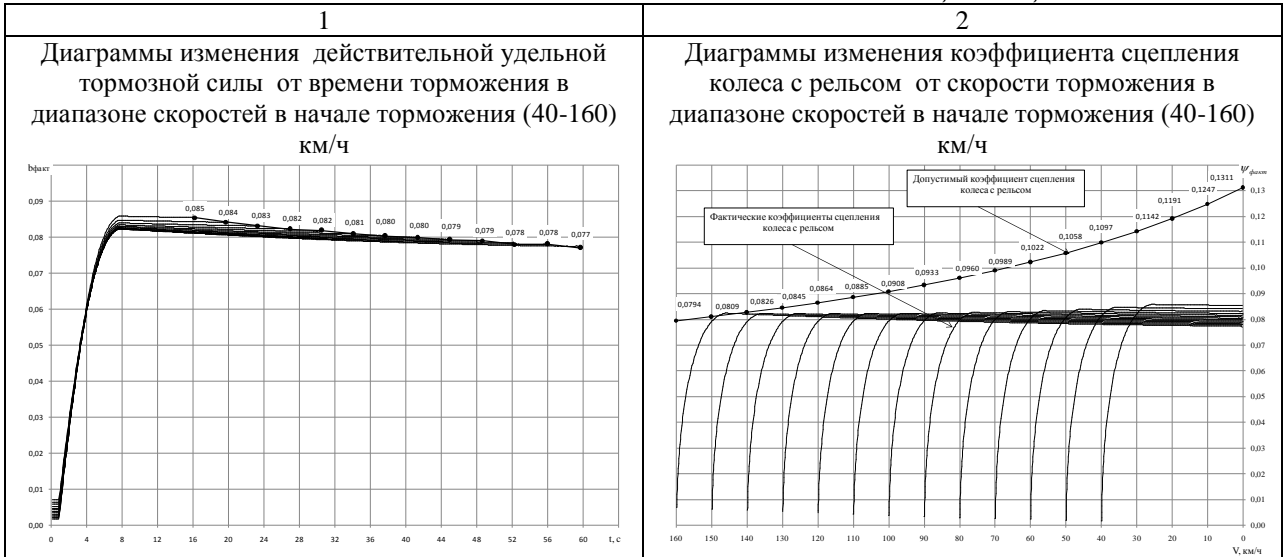


Рис.7. Удельная тормозная сила и эквивалентные расчетные тормозные коэффициенты композиционных и чугунных колодок

Выводы. Предложен алгоритм определения фактических значений удельных тормозных сил (тормозной эффективности) пассажирского вагона по результатам ходовых тормозных испытаний. Изложенная методика базируется на математических формулах, коэффициенты которых определяются в результате решения дифференциального уравнения движения вагона. Методика позволяет получить дополнительные характеристики тормозных процессов и, следовательно, выполнять более глубокий анализ тормозных систем пассажирских вагонов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Водяников Ю. Я., Гречко А. В., Кукин С. В., Нищенко А. Е. Уточненный анализ результатов поездных тормозных испытаний пассажирских вагонов с дисковыми тормозами // Збірник наукових праць державного економіко-технологічного університету транспорту, серія „Транспортні системи і технології”, Київ ДЕТУТ, 2010. Вип. 16. С. 13-19.
- 2 Водяников Ю. Я., Сафронов А. М., Шелейко Т.В., Свистун С.М.. Анализ тормозных испытаний электропоезда с применением математических моделей // "Залізничний транспорт".2013. № 5/6.С. 29-39.
- 3 Водяников Ю. Я., Яланский М. И., Киницкая А. П., Шелейко Т.В. Использование номограмм для определения характеристик тормозной системы пассажирских вагонов с дисковым тормозом // Збірник наукових праць державного економіко-технологічного університету транспорту, серія „Транспортні системи і технології”, Київ ДЕТУТ, 2009. Вип. 15. С. 41-51.
- 4 Водяников Ю. Я., Кукин С.В., Гречко А.В., Нищенко А. Е. Исследования дисковой тормозной системы пассажирского вагона // Сборник научных статей «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». издат. Петербургский государственный университет путей сообщения. Санкт-Петербург, 2007. Вып.4. С. 113-120.
- 5 Водяников Ю. Я., Гречко А. В., Сафронов А. М. Оценка фрикционных свойств накладок дискового тормоза пассажирского вагона по результатам поездных тормозных испытаний // Вагонный парк. 2010. № 5. С. 12-13.
- 6 Водяников Ю. Я., Сафронов А.М., Свистун С.М. Расчетно-экспериментальный метод определения характеристик процессов торможения пассажирских и грузовых вагонов // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту (ДЕТУТ), серія «Транспортні системи і технології», Київ, 2013. Вип. 22. С. 85-96.
- 7 Водяников Ю. Я., Василенко В.С., Ольгард Л.С. Методология проведения поездных тормозных испытаний для определения тормозной эффективности единиц подвижного состава // Вагонный парк. 2014. № 02 (83). С. 9-13.
- 8 Сафронов А.М. Методология расчетных исследований тормозной эффективности пассажирских вагонов с колодочным тормозом, базирующаяся на решении дифференциального уравнения движения при торможении во временной области // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології», 2016. Вип. 29. С. 13-27.
- 9 Гребенюк П.Т. Правила тормозных расчетов. Москва: Интекст, 2004.- 114 с.
- 10 Шашков В. Б. Обработка экспериментальных данных и построение эмпирических формул. Курс лекций: учебное пособие.- Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005.- 150 с.
- 11 Осипов С.И., Осипов С.С. Основы тяги поездов: учебник для студентов техникумов и колледжей ж/д тр-га, М.: УМК МПС , 2000. 592 с.
- 12 Водяников Ю. Я., Кукин С.В., Нищенко А.Е., Павлов С.А. Дисковые тормозные системы пассажирских вагонов и их особенности // Вагонный парк. 2013. № 9(78). С. 27-29.
- 13 Водяников Ю.Я., Свистун С.М., Макеева Е.Г. Методология пересчета тормозной эффективности одиночного вагона на тормозную эффективность поезда // Залізничний транспорт України. 2014. Вип. 2. С. 27-37.
- 14 Водяников Ю. Я., Гречко А. В., Сафронов А. М. Оценка фрикционных свойств накладок дискового тормоза пассажирского вагона по результатам поездных тормозных испытаний // Вагонный парк. 2010. № 5. С. 12-13.
- 15 Водяников Ю. Я., Сафронов А. М., Жихарцев К. Л. Методика экспериментального исследования тормозной эффективности и тормозных характеристик единиц подвижного // Вагонный парк. 2008. № 3. С. 14-17.

REFERENCES

- 1 Vodyannikov Yu. Ya., A. V. Grechko, &S. V. Kukin, A. E. Nishhenko (2010) Utochnenny`j analiz rezul`tatov poezdny`x tormozny`x ispy`tanij passa-zhirskix vagonov s diskovy`mi tormozami [Refined analysis of the results of train brake testing of passenger cars with disc brakes]. Zbirmik naukovix prac` derzhavnogo ekonomiko-technologichnogo universitetu transportu, seriya „Transportni sistemi i tehnologii”[Collection of scientific works "Railboundrollingstock], Kiiv - DETUT,16, 13-19. [in Russian].

- 2 Vodyannikov Yu. Ya., Safronov A.M, Shelejko T.V., &Svistun S.M. (2013). Analiz tormoznykh ispytaniy elektropoyezda s primeneniyyem matematicheskikh modeley [Analysis of brake tests of electric trains using mathematical models]. "Zalozhnyytransport", 5/6, 23-39.[in Russian].
- 3 Vodyannikov Yu. Ya., Yalanskij M. I, Kiniczkaya A. P., Shelejko T.V. (2009). Ispol'zovaniye nomogramm dlya opredeleniya kharakteristik tormoznoy sistemy passazhirskikh vagonov s diskovym tormozom [Using nomograms to characterize the braking system of passenger cars with disc brakes] Zbirnik naukovix prac` derzhavnogo ekonomiko-texnologichnogo universitetu transportu, seriya „Transportni sistemi i texnologii” [Collection of scientific works "Railboundrollingstock], Kiiv - DETUT,(15), 41-51.[in Russian].
- 4 Vodyannikov Yu. Ya., Kukin S.V., & Grechko A.V. Nishhenk A. E. (2007). Issledovaniya diskovoy tormoznoy sistemy passazhirskogo vagona [Studies of the disk brake system of passenger cars] Sbornik nauchnykh statey «Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty-Collection of scientific articles "Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects,113-120. [in Russian].
- 5 Vodyannikov Yu. Ya., Grechko A.V., &Safronov A. M. (2010). Otsenka friktsionnykh svoystv nakladok diskovogo tormoza passazhirskogo vagona po rezul'tatam poyezdnykh tormoznykh ispytaniy [Evaluation of the friction properties of disc brakes of a passenger car based on the results of train brake tests] Vagonny`j park, 5,12-13. [in Russian].
- 6 Vodyannikov Yu. Ya. Safronov A.M., & Svistun S.M. (2013). Raschetno-eksperimental'nyy metod opredeleniya kharakteristik protsessov tormozheniya passazhirskikh i gruzovykh vagonov [Calculated-experimental method for determining the characteristics of the braking processes of passenger and freight cars] Zbirnik naukovix prac` derzhavnogo ekonomiko-texnologichnogo universitetu transportu, seriya „Transportni sistemi i texnologii” [Collection of scientific works "Railboundrollingstock], Kiiv - DETUT,(22), 85-96. [in Russian].
- 7 Vodyannikov Yu. Ya., Vasilenko V.S., & Ol'gard L.S. (2014). Metodologiya provedeniya poezdny`x tormozny`x ispy`taniy dlya opredeleniya tormoznoy e`ffektivnosti edinic podvizhnogo sostava [Methodology for conducting train brake tests to determine the stopping power of rolling stock units] Vagonny`j park, 02(83), 9-13. [in Russian].
- 8 Safronov A.M. (2016). Metodologiya raschetnykh issledovaniy tormoznoy effektivnosti passazhirskikh vagonov s kolodochnyim tormozom, baziruyuschayasya na reshenii differentsalnogo uravneniya dvizheniya pri tormozhenii vovremennoy oblasti [Methodology of computational studies of the braking efficiency of passenger cars with shoe brakes, based on solving the differential equation of motion when braking in the time domain]. Zbirnik naukovix prac` derzhavnogo ekonomiko-texnologichnogo universitetu transportu, seriya „Transportni sistemi i texnologii” [Collection of scientific works "Railboundrollingstock], Kiiv - DETUT,(29), 13-27. [in Russian].
- 9 Grebenyuk P. (2004). Pravilatormoznyhraschetov [RulesofBrakeCalculation]. Moscow: Intekst, p.112. [in Russian].
- 10 Shashkov, V.B. (2005) Kurslektiy [Lecture course]. Obrabotka eksperimentalnykh dannykh i postroenie empiricheskikh formul. [Processing of experimental data and the construction of empirical formulas] (p. 150).Orenburg: GOU OGU [in Russian].
- 11 Osipov, S.I., &Osipov, S.S. (2000) Osnovy tyagi poyezdov. Uchebnik dlya studentov tehnikumov i kolledzhey zh/d transporta [A textbook for students of colleges and colleges of railway transport].Osnovy tyagi poezdov. [Fundamentals of train](p. 592).Moscow: UMK Ministry of Railways of Russia[in Russian].
- 12 VodyannikovYu. Ya., Kukin S.V., Nischenko A.E., & Pavlov S.A. (2013). Diskovyye tormoznyye sistemy passazhirskikh vagonov i ikh osobennosti [Disk braking systems of passenger cars and their distinctive features]. Kharkov:Vagonnyypark - Rolling stock , 9 (78), 27-29. [in Russian].
- 13 VodyannikovYu.Ya., Svistun S. M., & Makeeva E.G. (2014). Metodologiya perescheta tormoznoy effektivnosti odinochnogo vagonana tormoznuyu effektivnost poezda. [Methodology o frecalculation of the brake efficiency of a single car on th ebrake efficiency of a train]. Zalozn. transp. Ukrainy – Railwaytransport of Ukraine, 2, 27-37. [in Russian].
- 14 VodyannikovYu. Ya., Grechko A. V, & Safronov A. M. (2010). Otsenka friktsionnykh svoystv nakladok diskovogo tormoza passazhirskogo vagona po rezul'tatam poyezdnykh tormoznykh ispytaniy [Estimationofthe frictional properties of the disk brake pads of the passenger car by the results of the train braking tests]. Vagonnyypark – Rolling stock, 5, 12-13. [in Russian].
- 15 Vodyannikov Yu. Ya., & Safronov A. M., Zhikhartsev K. L.(2008). Metodika eksperimental'nogo issledovaniya tormoznoy effektivnosti i tormoznykh kharakteristik yedinit podvizhnogo[Methods of experimental study of the braking efficiency and braking characteristics of units rolling] Vagonnyypark - Rolling stock , 3, 14-17. [in Russian].

Олександр Сафронів, к.т.н.
(директор Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» ДП «УкрНДІВ»).

Юрій Водяницький, к. т. н., с. н. с.
(провідний науковий співробітник лабораторії електротехнічних, динамічних, теплотехнічних і міцностних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» ДП «УкрНДІВ»).

**МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОГО ЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ
ГАЛЬМІВНОЇ СИЛИ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА З ДИСКОВИМИ
ГАЛЬМАМИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПОЇЗНИХ ГАЛЬМІВНИХ
ВИПРОБУВАНЬ**

Представлена методика визначення фактичного значення питомої гальмівної сили пасажирського вагона за результатами поїзних гальмівних випробувань, що базується на рішеннях диференційного рівняння руху при гальмуванні. Наведено розрахункові залежності визначення фактичних значень питомих гальмівних сил і розрахункових гальмівних коефіцієнтів. На прикладі результатів ходових гальмівних випробувань пасажирського вагона з дисковим гальмом показано, що похибка визначення питомої гальмівної сили не перевищує 1%.

Запропонований алгоритм визначення фактичних значень питомих гальмівних сил (гальмівної ефективності) пасажирського вагона за результатами ходових гальмівних випробувань. Викладена методика базується на математичних формулах, коефіцієнти яких визначаються в результаті рішення диференціального рівняння руху вагона. Методика дозволяє отримати додаткові характеристики гальмівних процесів і, отже, виконувати більш глибокий аналіз гальмівних систем пасажирських вагонів.

Ключові слова: дискове гальмо, питома гальмівна сила, гальмівний шлях, математичне моделювання, гальмівні процеси.

Oleksandr Safronov, Ph.D in Engineering
(Director of the State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute DP "UkrNDIV").

Yurii Vodiannykov, Ph.D in Engineering
(leading researcher of the research Laboratory for electrical, dynamic, heat engineering and strength studies of railway equipment of the State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute " DP "UkrNDIV").

**PROCEDURE FOR DETERMINATION OF THE ACTUAL VALUE OF THE
SPECIFIC BRAKE FORCE OF THE PASSENGER CAR WITH DISK BRAKES
BASED ON THE RESULTS OF TRAIN BRAKE TESTS**

This paper presents the procedure on determination of the actual value of the specific braking force of a passenger car based on the results of train brake tests and solution of the differential motion equation when braking. The design dependences of the determination of the actual values of specific braking forces and calculated braking

coefficients have been given. The results of running brake tests of a passenger car with disc brake show that the error in determination of the specific brake force does not exceed 1%. The example of the results of running brake tests of a passenger car with disc brake shows that the error in determining the specific braking force does not exceed 1%.

An algorithm for determining the actual values of specific braking forces (braking efficiency) of a passenger car based on the results of running brake tests has been proposed. The described methodology is based on mathematical formulas, the coefficients of which are determined as a result of solving the differential equation of motion of the car. The technique allows to obtain additional characteristics of the braking processes and, therefore, to perform a more in-depth analysis of the braking systems of passenger cars.

Keywords: *Disc brake, specific brake force, braking distance, mathematical modeling, braking processes.*