

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК
НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ДЕРЖАВНОГО
ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ**

СЕРІЯ

**«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ
І ТЕХНОЛОГІЇ»**

ВИПУСК 29

Київ·ДЕТУТ·2016

Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 29. – К.: ДЕТУТ, 2016. – 286 с.

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

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

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

Редакційна колегія:

В. К. Мироненко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць», академік Транспортної академії України (головний редактор);

Ю. В. Черняк, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» (заступник головного редактора);

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

М. Б. Кельріх, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Вагони та вагонне господарство», академік Транспортної академії України;

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

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

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

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

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

В. Г. Вербицький, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри «Залізнична колія та колійне господарство»;

Ю. М. Черних, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», академік Транспортної академії України (*відповідальний секретар*);

О. Г. Стрелко, доктор історичних наук, доцент, професор кафедри «Управління процесами перевезень», декан факультету «Управління залізничним транспортом» (*відповідальний секретар*);

Г. С. Висоцька, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць» (*технічний секретар*).

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

Рекомендовано до друку Вченою радою ДЕТУТ (протокол № 4 від 21 грудня 2016 р.).

Засновник і видавець – Державний економіко-технологічний університет транспорту
Свідцтво про державну реєстрацію КВ № 19979-9779ПР від 28.05.2013 р.

Збірник входить до Переліку № 10 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора та кандидата наук у технічній галузі

(Додаток 11 до наказу Міністерства освіти і науки України від 29.12.2014 № 1528).

© Державний економіко-технологічний
університет транспорту, 2016

ЗМІСТ

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Логвіненко О. А., Чубикало М. Б.</i> Особливості систем повітропостачання сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу залізниць України ..	5
<i>Сафронов А. М.</i> Методология расчетных исследований тормозной эффективности пассажирских вагонов с колодочным тормозом, базирующаяся на решении дифференциального уравнения движения при торможении во временной области	13
<i>Мурадян Л. А.</i> Розробка основних елементів для побудови системи дослідження надійності вантажних вагонів	28
<i>Фомін О. В., Горбунов М. І., Стецько А. А., Коваленко В. В.</i> Можливості застосування попередньо напружених конструкцій в залізничному машинобудуванні	37
<i>Бурлуцький О. В., Фомін О. В., Ткаченко В. П.</i> Формалізація структурно-речових перетворень в несучих системах вантажних вагонів у результаті термічних впливів у процесі зварювальних і правочних робіт	54
<i>Ловська А. О.</i> Дослідження динамічних навантажень, що діють на кузов напіввагона при завантаженні на залізничний пором	72
<i>Горбунов Н. И., Ковтанец М. В., Просвинова О. В., Соболев Д. В.</i> Экспериментальная проверка эффективности струйно-абразивного воздействия на рельсы для улучшения фрикционных свойств трибоконтакта «Колесо-рельс»	79
<i>Данілевський В. І., Мельник Т. М., Черних Ю. М., Олійник В. М.</i> Сучасні вітчизняні системи електроізоляційних матеріалів	88
<i>Каращук С. В.</i> Аналіз систем тягового електропривода електрорухомого складу	96
<i>Дорошенко О. Ю., Дорошенко Ю. М.</i> Вплив комплексної добавки на властивості бетону транспортних споруд	107
<i>Антонович А. О.</i> Вдосконалення визначення образу поїзної ситуації з використанням методу Сааті	112
<i>Волошин Д. І., Афанасенко І. М.</i> Оцінка ризику виробничих систем з ремонту вагонів	121
<i>Мікульонюк І. О.</i> Класифікація кистилів рейкових шляхів та огляд їхніх конструкцій	127
<i>Твердомед В. М., Возненко А. Д., Бойко В. Д.</i> Розрахунок поперечних горизонтальних сил у кривих ділянках рейкової колії	134
<i>Гулак С. О., Єрмоленко Е. К., Усватов М. О., Черних Ю. М.</i> Визначення динамічних змінних узагальненого асинхронного двигуна	143
<i>Іщенко В. М., Брайковська Н. С., Осьмак В. Є., Кочешкова Н. С.</i> Методологічно-інформаційні аспекти паспортизації спеціалізованих ізотермічних вагонів	154

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

<i>Сапронова С. Ю., Ткаченко В. П., Фоміна А. М., Зуб Є. П.</i> Моделювання рейкових екіпажів і вплив їх конструктивних особливостей на кінематичний опір руху	163
<i>Семенов С. О.</i> Про можливості використання теорії подібності при моделюванні опору руху рейкового транспортного засобу	176

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Гайдено О. С.</i> Сучасні тенденції та основні методи інтелектуального аналізу первинних даних	184
<i>Герцій О. А.</i> Дослідження моделей забезпечення якості функціонування мультисервісних мереж	189
<i>Баранов И. О.</i> Совершенствование технологии приготовления водоугольного топлива	198
<i>Дубравін Ю. Ф., Черняк Ю. В., Фашевський А. В.</i> Впровадження комп'ютерних інформаційних технологій при дослідженні електромеханічних систем електрорухомого складу	207
<i>Щербина Ю. В.</i> Дослідження динамічних якостей пасажирського вагона при зміні конструктивної схеми розміщення системи демпфірування засобами комп'ютерного моделювання	218
<i>Володарець М. В.</i> Особливості реалізації концепції безперервної інформаційної підтримки в процесах експлуатації транспортних засобів	229

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

<i>Фалендиш А. П., Гатченко В. О., Черняк Ю. В., Клецька О. В.</i> Аналіз нормативних вимог, щодо визначення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних двигунів внутрішнього згорання ...	235
<i>Кириллова Е. В., Мелешенко Е. С.</i> Теоретико-игровой подход к моделированию и формализации взаимоотношений между судовладельцем и менеджерской компанией	248
<i>Поздняков А. А., Мироненко В. К., Позднякова О. О., Гудков О. М.</i> Дослідження факторів, що впливають на формування пасажиропотоків залізничних приміських перевезень у великих міських агломераціях	261
<i>Габа В. В., Грушевська Т. М., Поворознік О., Костюшко В. П.</i> Формалізація впливу факторів зовнішнього середовища на систему організації залізничних перевезень	277

УДК 629.424

О. А. Логвіненко, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Механіка і проектування машин», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

М. Б. Чубикало, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Теплотехніка та теплові двигуни», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ ПОВІТРОПОСТАЧАННЯ СУЧАСНОГО ТЯГОВОГО ТА МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

Розглянуто проблеми реформування залізничного транспорту України. Обґрунтовано актуальність оновлення залізничного рухомого складу. Відмічено, що одним із пріоритетних напрямів розвитку залізниць є досягнення високих техніко-економічних показників перевізного процесу на залізничному транспорті. Вищевказане досягнення пов'язане з рішенням завдань щодо забезпечення потрібних експлуатаційних характеристик і надійності систем сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу, які визначають безпеку руху поїздів. Виділено, що головна роль серед таких систем належить системам повітропостачання. Розглянуто особливості систем повітропостачання сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу, а також подані відповідні їх структурні схеми. Зазначена доцільність проведення робіт в напрямі удосконалення зазначених систем з метою підвищення техніко-економічних показників рухомого складу і перевізного процесу на залізничному транспорті України в цілому.

Ключові слова: залізничний транспорт, рухомий склад, перевізний процес, техніко-економічні показники, система повітропостачання.

Рассмотрены проблемы реформирования железнодорожного транспорта Украины. Обоснована актуальность обновления железнодорожного подвижного состава. Отмечено, что одним из приоритетных направлений развития железных дорог является достижение высоких технико-экономических показателей перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. Вышеуказанное достижение связано с решением заданий по обеспечению необходимых эксплуатационных характеристик и надежности систем современного тягового и моторвагонного подвижного состава, которые определяют безопасность движения поездов. Выделено, что главная роль среди таких систем отводится системам воздушоснабжения. Рассмотрены особенности систем воздушоснабжения современного тягового и моторвагонного подвижного состава, а также представлены соответствующие их структурные схемы.

Отмечена целесообразность проведения работ в направлении усовершенствования указанных систем с целью повышения технико-экономических показателей подвижного состава и перевозочного процесса на железнодорожном транспорте Украины в целом.

© Логвіненко О. А., Чубикало М. Б., 2016

Ключевые слова: *железнодорожный транспорт, подвижной состав, перевозочный процесс, технико-экономические показатели, система воздушного снабжения.*

Постановка проблеми. Однією складовою транспортної системи України є залізничний транспорт, який здійснює перевезення вантажів і пасажирів по рейкових шляхах. Йому належить перше місце в перевезенні пасажирів (пасажирообороті) і друге (після трубопровідного) – в перевезенні вантажів (вантажообороті). Залізничний транспорт – це велике багатогалузеве господарство, яке формують залізничні колії, залізничні станції, підприємства з обслуговування залізничних колій, локомотивів, вагонів тощо. Діяльність залізничного транспорту як частини єдиної транспортної системи країни сприяє нормальному функціонуванню всіх галузей суспільного виробництва, соціальному і економічному розвитку та зміцненню обороноздатності держави, міжнародному співробітництву країни.

До останнього часу потреби економіки і населення у перевезеннях забезпечували залізниці. Це досяглося, в основному, завдяки надлишку технічних потужностей, створених ще за часів СРСР за рахунок централізованого бюджетного фінансування. Проте на сьогодні технічний ресурс залізниць практично вичерпаний. Через катастрофічну зношеність рухомого складу, невідповідність між придбанням і списанням вантажних вагонів та локомотивів існує загроза незабезпечення залізничним транспортом у подальшому потреб економіки України в перевезеннях. Неспроможність залізниць задовольнити потребу в перевезеннях негативно вплине на конкурентоспроможність вітчизняних залізничних перевізників, а також на всю економіку України та її національну безпеку.

У комплексному вирішенні вищезазначеної нагальної проблеми, оновлення залізничного рухомого складу і проведення капітальних ремонтів з подовженням терміну експлуатації та модернізація існуючого рухомого складу можуть розглядатися не більше ніж допоміжні заходи для деяких видів (переважно локомотивів) і типів рухомого складу. Таким чином пріоритетом в оновленні рухомого складу має стати забезпечення залізниць України рухомим складом переважно нового покоління, що дозволить покращити техніко-економічні показники діяльності залізничного транспорту, поліпшити безпеку та зручність перевезень, підвищити конкурентоспроможність залізниць України, зробити ривок у підвищенні ефективності роботи галузі [1-5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що вирішення вищевказаного завдання вимагає комплексу заходів щодо оновлення рухомого складу та розробки прогнозів діяльності залізничного транспорту. Для забезпечення високих техніко-економічних показників тягового та моторвагонного рухомого складу сучасного й перспективного покоління необхідне використання в їх конструкціях нових технічних рішень і матеріалів, що відповідають сучасним вимогам експлуатації та вимогам на віддалену перспективу. У зв'язку з цим постановою Кабінету Міністрів України була затверджена державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 1010-1019 рр., схвалена розпорядженням Транспортна стратегія України на період до 2020 року, а також затверджена наказом Міністерства транспорту та зв'язку України комплексна програма оновлення рухомого складу на 2008-2020 рр. [6-8]. Відповідно до їх основних положень одним із пріоритетних напрямів розвитку залізниць є досягнення високих техніко-економічних показників перевізного процесу на залізничному транспорті України. Це пов'язане з рішенням завдань щодо забезпечення потрібних експлуатаційних характеристик і надійності систем сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу, які визначають безпеку руху поїздів [9-11]. Серед таких систем основна роль відводиться системам повітропостачання, які функціонально пов'язані з гальмівною, електропневматичною, пісочною системами, а також відповідними допо-

міжними приладами. Тому роботи скеровані на удосконалення зазначених систем слід вважати актуальними.

Метою статті є розгляд особливостей систем повітропостачання сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу залізниць України, а також обґрунтування доцільності їх удосконалення.

Викладення основного матеріалу. В забезпеченні високих вимог до безпеки руху при здійсненні залізничних перевезень [6-8] з використанням тягового та моторвагонного рухомого складу (РС) визначальну роль відіграють системи повітропостачання, які доцільно розглядати як сукупність взаємопов'язаних пневмоагрегатів, пристроїв, приладів, повітропроводів і споживаючих стисле повітря відповідних пневмосистем – гальмової, електропневматичної та ін. Найвідповідальнішою складовою систем повітропостачання сучасного РС є гальмова система.

Правилами технічної експлуатації залізниць України [12] встановлено, що РС повинен бути обладнаний автоматичними гальмами, а пасажирські вагони і локомотиви, окрім того, електропневматичними гальмами. Відповідно до встановлених Державною адміністрацією залізничного транспорту України норм [13] автоматичні гальма повинні задовольняти таким вимогам:

- бути надійними і керованими;
- забезпечувати плавність гальмування;
- забезпечувати зупинку поїзда у разі розриву повітропроводу або при відкритті стоп-крана;
- дотримуватись визначеного гальмівного натискання.

Нині на тяговому та моторвагонному рухомому складі застосовуються п'ять типів гальм: зупинні, пневматичні, електропневматичні, електромагнітні та електричні. Кожен тип гальм у свою чергу ділиться на групи, підгрупи і за призначенням – на вантажні, пасажирські і високошвидкісні. Класифікація існуючих систем гальм наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Класифікація систем гальм тягового та моторвагонного рухомого складу

Зупинні	Пневматичні	Електропневматичні	Електромагнітні	Електричні
ручні	неавтоматичні прямодіючі	неавтоматичні прямодіючі	фрикційні магніто-рейкові	реостатні
				рекуперативні
автоматичні	автоматичні: прямодіючі, непрямодіючі	автоматичні	на вихрових струмах: рейкові, дискові	рекуперативно-реостатні
				реверсивні
				динамічні

Аналіз науко-технічної літератури [14-16] дозволив зробити висновок про складність конструкції сучасних систем повітропостачання та відмінність їх конструкцій залежно від типу РС. Це визначило необхідність розробки відповідних їх структурних схем і проведення дослідження особливостей функціонування.

На рис.1 подано структурну схему системи повітропостачання маневрового тепловоза. Відповідно до вказаних особливостей конструкції системи, стисле повітря від *К* надходить у *ГР*, які з'єднанні повітропроводом з *ЖМ. БП*, який сполучений з *ЖМ*, призначений для забезпечення функціонування гальмівної системи тепловоза при зміні кабіни керування. *БП* контролює роботу основного органу керування – *КМ*, сполу-

чаючи його з ГМ, а також КДГ, з'єднуючі його з МГЦ. До ПР стисле повітря поступає з ГМ і від КДГ через МДГ. ГЦ наповнюються стислим повітрям з МГЦ при встановленні відповідного положення КМ або КДГ. Також слід зазначити, що МГЦ і МДГ сполучені через роз'єднувальний кран.

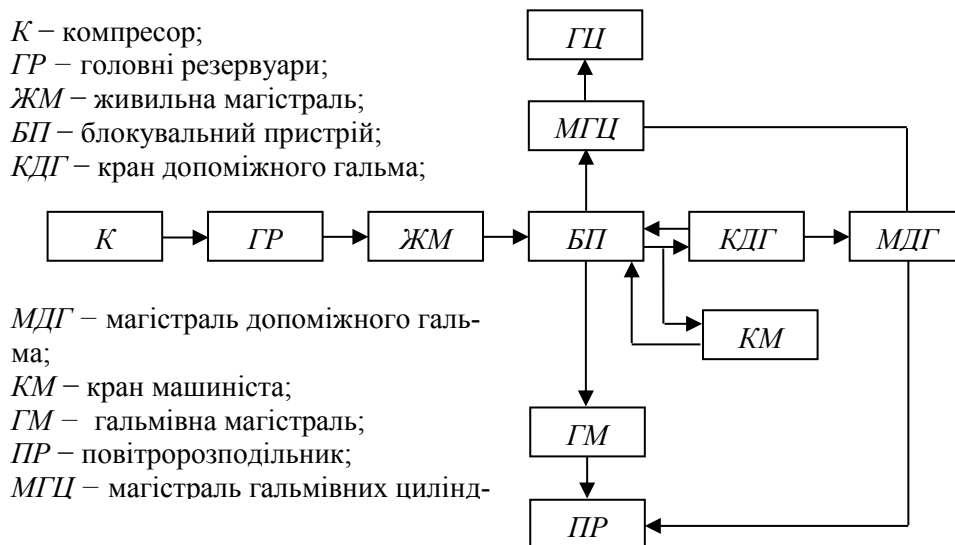


Рис. 1. Структурна схема системи повітропостачання тепловоза

Особливістю системи повітропостачання електрорухомого складу, схема якої подана на рис.2 є наявність додаткових модулів конструкції, що забезпечують роботу електричних апаратів:

ППМ – пневмо-пружинний модуль підймання струмознімального пристрою;
ГВ/ШВ – головний або швидкодіючий вимикач;
ГПП – групові та головні перемикачі;
ЕПК – електропневматичні контактори.

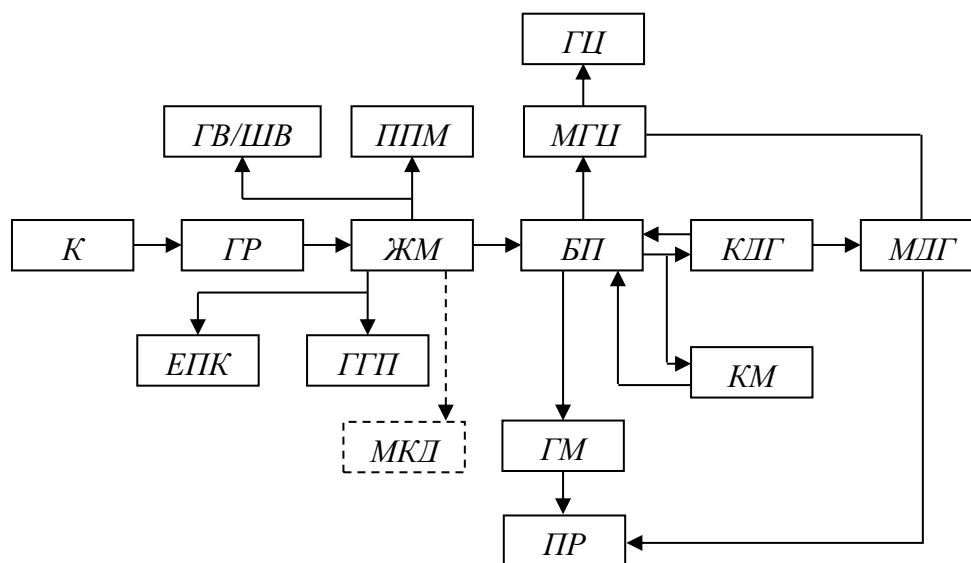


Рис. 2. Структурна схема системи повітропостачання електрорухомого складу

Слід зазначити, що до складу схеми моторвагонного електрорухомого складу входить також *МКД* – модуль керування розсувними дверима.

Ланцюг керування *ППМ*, що з'єднаний з *ЖМ* містить регулятор тиску, роз'єднувальні крани, резервуар і циліндри приводу пантографа. Залежно від типу струму встановлюються головний або швидкодіючий вимикач, які також сполучені з *ЖМ*.

Стисле повітря надходить з *ЖМ* до *ГПП*, які призначені для керування різними ділянками силових ланцюгів тягових електродвигунів, для їх вмикання та вимикання, а також вимикання секцій пускових резисторів і перемикання з'єднання тягових електродвигунів. Поряд з зазначеними апаратами в електричних ланцюгах електрорухомого складу використовується велика кількість електропневматичних контакторів, які також отримують стисле повітря з *ЖМ*.

Система повітропостачання дизель-поїздів, структурна схема якої подана на рис. 3 суттєво відрізняється від наведених вище наявністю таких модулів: *ЕПМП* – електропневматичного модуля перетворень; *МКГП* – модуля керування гідромеханічною передачею; *СВО* – системи вентиляції та опалення. Відповідно до команд машиніста стисле повітря до вказаних модулів конструкції надходить з напірної магістралі (*НМ*). Наприклад, електропневматичні клапани *ЕПМП* спрацьовують у встановленому порядку при перемиканні позицій контролера машиніста. *МКГП* містить резервуар, що знаходиться в камері електричних апаратів і живиться від *НМ*, призначений для керування гідропередачею. Також від *НМ* стисле повітря подається до пневмоциліндрів керування в *СВО*.

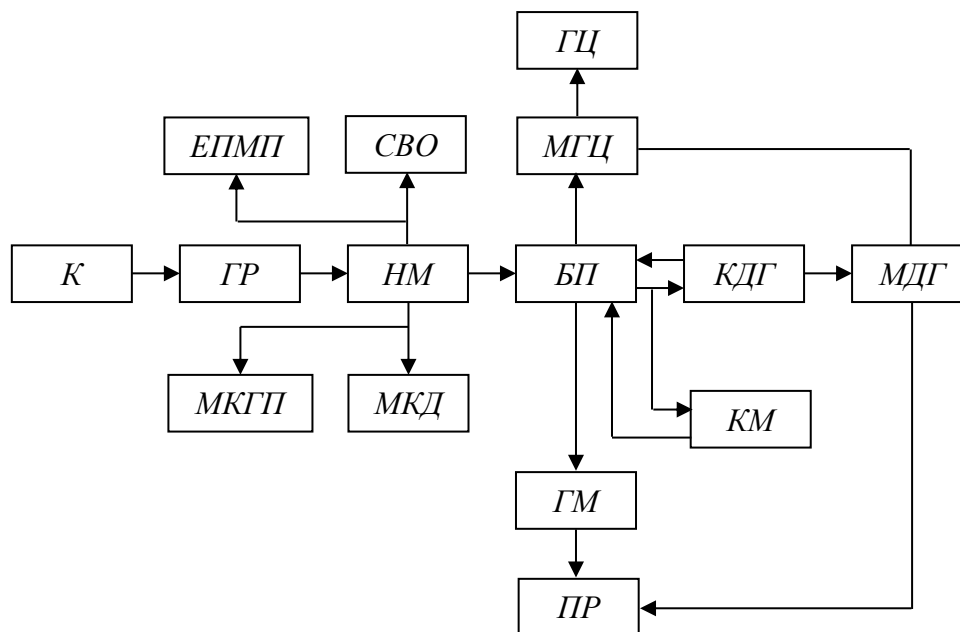


Рис. 3. Структурна схема системи повітропостачання дизель-поїздів

Нижче, на рис. 4, наведена схема системи повітропостачання рухомого складу метрополітену (для вагонів серій ЕС і 81), яка містить такі модулі: *НП* – напірна пневматика; *ЗР* – запасний резервуар; *АМ* – автостопна магістраль; *ДП* – дверна пневматика; *ПК* – пневматика керування; *ПА* – пневматика автозчепного обладнання.

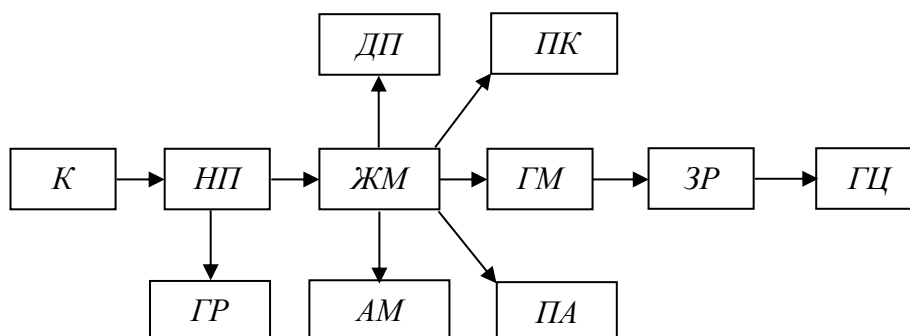


Рис. 4. Структурна схема системи повітропостачання вагонів метрополітену

Проведений аналіз особливостей систем повітропостачання сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу дозволив виділити такі функціональні групи їх обладнання:

- агрегати та пневмоприлади для живлення систем стислим повітрям: компресори, регулятори тиску, головні резервуари;
- прилади керування: крани машиніста, крани допоміжного гальма, арматури кранів, сигналізатори і манометри;
- прилади, що здійснюють гальмування: повіторозподільники, автоматичні регулятори режимів гальмування, гальмівні циліндри і запасні резервуари;
- повітропровід і арматура гальма: повітропровідні магістралі, крани, клапани, з'єднувальні рукава, мастиловідокремлювачі, повітроохолоджувачі, фільтри і пиловловлювачі.

Висновки та рекомендації щодо подальшого використання. Аналіз особливостей конструкції систем повітропостачання сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу, що експлуатується на мережах залізниць України, дозволив зробити висновок, що головну роль в забезпеченні відповідних систем стислим повітрям (з необхідними показниками за продуктивністю і тиском) відіграють компресори. Наведені в статті матеріали можуть бути використані фахівцями та науковцями при проведенні науково-дослідних робіт з удосконалення зазначених систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43. [<http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf>]
2. Фомін, О. В. Визначення перспективних напрямків проектування несучих систем у вантажному вагонобудуванні/ О.В. Фомін// Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків. – № 3/7 (57), 2012. – С. 32-35 – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3\(7\)_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
3. Фомін, О. В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції / О. В. Фомін, // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76 – Режим доступу: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnicha-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
4. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.)
5. Карпов, В. М. Стан, проблеми та перспективи оновлення залізничного рухомого складу України / В. М. Карпов, О. І. Никифоров // Формування ринкових відносин в Україні: Збірник наукових праць науково-дослідного економічного інституту. – К., 2012. – Вип. 6 (133). – С.160-166.

6. *Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки*, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2011 р. № 1106). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.rada.gov.ua.
7. *Транспортна стратегія України на період до 2020 року*, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.rada.gov.ua.
8. *Комплексна програма оновлення рухомого складу на 2008-2020 роки*, затверджена наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 14 жовтня 2008 р. №1259. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.rada.gov.ua.
9. Logvinenko A. A. Peculiarities of stress calculation of basic parts of valve timing gear of modern locomotive electric power installations // Metallurgical and mining industry (Machine building). – Dnipropetrovsk, 2014. – No.6. – P. 59-63. Available at: www.metaljournal.com.ua.
10. Чубикало, М. Б. Перспективні компресори для систем повітропостачання сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу / М.Б. Чубикало, О.А. Логвіненко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту (серія «Транспортні системи і технології»). – К.: ДЕ-ТУТ, 2015. – Вип. 26-27. – С. 75-81.
11. Logvinenko O. A. Mathematical modeling of new rotary-type compressors kinematic characteristics for railway rolling stock air supply systems of new generation // Theses of international scientific conference «Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects», 26-27 January 2016, Strasbourg (France). – Severodonetsk: Volodymyr Dal East Ukrainian National University, 2016. – P. 68-69.
12. *Правила технічної експлуатації залізниць України*. Міністерство транспорту України. / Транспорт України, 1995. – 256 с.
13. *Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України*. № ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 зі змінами і доповненнями згідно з наказом №312-ц від 07.06.2001р. – К.: ТОВ «Поліграфсервіс», 2004. – 144 с.
14. Афонин, Г. С. Устройство и эксплуатация тормозного оборудования подвижного состава / Г. С. Афонин, В. Н. Барщенков, Н. В. Кондратьев. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 304 с.
15. Михайленко, А. А. Дизель-поезда типа ДР / А. А. Михайленко. – М.: Транспорт, 1990. – 336 с.
16. Добровольская, Э. М. Электропоезда метрополитена / Э. М. Добровольская. – М.: ИРПО: Издательский центр «Академия», 2003. – 320 с.

Alexander O. Logvinenko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Mechanics and Designing Machines Chair, Ukrainian State University of Railway Transport)
Michael B. Chubykalo, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Heat Engineering and Heat Engines Chair, Ukrainian State University of Railway Transport)

FEATURES OF MODERN AIR-TRACTION AND MULTIPLE UNITS THE RAILWAYS OF UKRAINE

The problems of reforming the railway transport of Ukraine. The urgency of updating rolling stock. It was noted that one of the priorities of railway development is the achievement of high technical and economic performance of the transportation process in the railway sector. The above achievement is due to the decision of tasks required to ensure the performance and reliability of modern systems of traction and multiple units, which determine the safety of trains. Stressed that the main role among such systems drainage system air supply. The features of modern systems of air supply traction and railcar rolling stock, as well as provide their corresponding block diagrams. It noted the expediency of work towards the improvement of these systems in order to improve technical and economic performance of the rolling stock and the transportation process on the railways of Ukraine as a whole.

Keywords: rail, rolling stock, wound-dressing process, technical and economic indicators, the air supply system.

REFERENCES

1. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43. [http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf]
2. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. – № 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – 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).
3. Fomin, A. V. Increasing the degree of ideality of freight wagons and forecasting stages of their evolution [Text]/ A. V. Fomin, // Scientific Bulletin of National mining University. – Dnepropetrovsk: NMU, 2015. – No. 3. – P. 68-76 – Mode of access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnicha-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
4. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.)
5. Karpov V.M., Nykyforuk O.I. Stan, problemy ta perspektyvy onovlennia zaliznychnogo ruhomogo skladu Ukrainy [Status, problems and prospects update railway rolling stock Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats naukovo-doslidnogo ekonomichnogo inctytutu* [Collection of scientific works of the research economic institute]. Kiev, 2012, issue 6(133), pp. 160-166.
6. Derzhavna tsilova programa reformuvannia zaliznychnogo transportu na 2010-2019 roky, zatverdzhena postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 16 grudnia 2009 roku №1390 (v redaktsii postanovy Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 26 zhovtnia 2011 roku №1106 (State program of reforming the railway transport for 2010-2019, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine of 16 December 2009 № 1390 (as amended by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 26, 2011 № 1106). Available at: www.rada.gov.ua.
7. Transportna strategiiia Ukrainy na period do 2020 roku, shvalena rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 20 zhovtnia 2010 roku № 2174-p (Transport strategy of Ukraine for the period until 2020, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 20, 2010 № 2174-p). Available at: www.rada.gov.ua.
8. Kompleksna programa onovlennia ruhomogo skladu na 2008-2020 roky, zatverdzhena nakazom Ministerstva transportu ta zviazku Ukrainy vid 14 zhovtnia 2008 roku №1259 (A comprehensive program of renovation of rolling stock for 2008-2020, approved by order of the Ministry of Transport and Communications of Ukraine from October 14, 2008 №1259). Available at: www.rada.gov.ua.
9. Logvinenko A. A. Peculiarities of stress calculation of basic parts of valve timing gear of modern locomotive electric power installations // Metallurgical and mining industry (Machine building), 2014. – No.6, p.p. 59-63. Available at: www.metaljournal.com.ua.
10. Chubykalo M.B., Logvinenko O.A. Perspektyvni kompresory dlia system povitropostachannia suchasnogo tiagovogo ta motorvagonnogo ruhomogo skladu [Prospective compressors for air supply systems of modern traction and multiple units]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universytetu transportu* [Collection of scientific works of the State Economic and Technological University of Transport]. Kiev, 2015, issue 26-27, pp. 75-81.
11. Logvinenko O.A. Mathematical modeling of new rotary-type compressors kinematic characteristics for railway rolling stock air supply systems of new generation // Theses of international scientific conference «Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects», 26-27 January 2016, Strasbourg (France). – Severodonetsk, 2016., p.p. 68-69.
12. Pravyta tehnicnoyi ekspluatatsii zaliznyts Ukrainy. Ministerstvo transportu Ukrainy [The technical operation of railways of Ukraine. The Ministry of Transport of Ukraine]. Kiev, Transport Ukrainy Publ., 1995. – 256 p.
13. Instruksiiia z ekpluatatsii galm ruhomogo skladu na zaliznytziakh Ukrainy № ІІТ-ІІВ-ІІЛІ-0015 zi zminamy i dopovnenniamy zgidno z nakazom №312-ц vid 07.06.2001. [Instructions for use of the rolling stock brakes on the railways of Ukraine. Number CT-CV-CL-0015. as amended by the order №312-ц of 07.06.2001 year]. Kiev, Poligrafservis Ukrainy Publ., 2004. – 144 p.
14. Afonin G.S., Barshchenkov V.N., Kondratyev N.V. Ustroystvo i ekspluatatsiya tormoznogo oborudovaniya podvizhnogo sostava [Design and operation of rolling stock brake equipment]. Moscow, Akademiya Publ., 2006. – 304 p.
15. Mihaylenko A.A. Dizel-poyezda tipa DR [Trains such as DR]. Moscow, Transport Publ., 1990. – 336 p.
16. Dobrovolskaya E.M. Elektropoezda metropolitena [Metro trains]. Moscow, Akademiya Publ., 2003. – 320 p.

УДК 629.-592.:620.178.4

А. М. Сафронов, к.т.н.

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

**МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТОРМОЗНОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ С КОЛОДОЧНЫМ
ТОРМОЗОМ, БАЗИРУЮЩАЯСЯ НА РЕШЕНИИ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ
ПРИ ТОРМОЖЕНИИ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ**

Приведена методика расчета тормозной эффективности пассажирского вагона с колодочными тормозами, базирующаяся на решении дифференциального уравнения движения при торможении во временной области. Представлены расчетные зависимости для определения действительных тормозных путей пассажирского поезда, а также для пересчета тормозных коэффициентов композиционных колодок на чугунные и наоборот. Методика позволяет осуществлять расчеты тормозной эффективности со смешанным типом тормозных колодок. Приведен пример расчета тормозной эффективности пассажирского вагона со смешанным типом тормозных колодок и сравнительный анализ его эффективности при однотипных колодках.

Ключевые слова: пассажирский вагон, тормозная эффективность, расчетный тормозной коэффициент, тормозной путь.

Наведена методика розрахунку гальмівної ефективності пасажирського вагона з колодковим гальмом, що базується на рішеннях диференційного рівняння руху при гальмуванні в часовій області. Представлені розрахункові залежності для визначення дійсних гальмівних шляхів пасажирського поїзда, а також для перерахунку гальмівних коефіцієнтів композиційних колодок на чавунні і навпаки. Методика дозволяє здійснювати розрахунки гальмівної ефективності зі змішаним типом гальмівних колодок. Наведено приклад розрахунку гальмівної ефективності пасажирського вагона зі змішаним типом гальмівних колодок і порівняльний аналіз його ефективності при однотипних колодках.

Ключові слова: пасажирський вагон, гальмівна ефективність, розрахунковий гальмівний коефіцієнт, гальмівний шлях.

Постановка проблемы. В условиях дальнейшего развития и совершенствования транспортной системы железнодорожного транспорта, создания конкурентоспособной продукции, важное значение приобретают вопросы анализа конструктивного исполнения и контроля фактических параметров единиц подвижного состава, в частности вагонов [1–3]. При этом особую актуальность приобретают задачи оценки соответствия достигнутого уровня конструкции вагона и его составляющих элементов современному уровню развития отрасли вагоностроения, а также нормативно-техническим требованиям на стадии проектирования.

© Сафронов А. М., 2016

Такие задачи, в частности для тормозных систем, невозможно решить без совершенствования теоретических методов, базирующихся на применении основных положений математической статистики и компьютерного моделирования.

Анализ последних исследований и публикаций. В предыдущих исследованиях [4–7] расчетно-экспериментальным путем были получены отдельные уточненные характеристики процессов, которые возникают при торможении подвижного состава. Так в работе [4] была предложена методология пересчета тормозной эффективности вагона на тормозную эффективность поезда, базирующаяся на результатах ходовых тормозных испытаний одиночного вагона. При пересчете использовались фактические характеристики тормозной системы: время наполнения тормозного цилиндра, измеренные значения тормозных путей в диапазоне скоростей 40 – 120 км/ч и соответствующие им тормозные коэффициенты, скорость распространения тормозной волны. В работе [5] представлены результаты исследования влияния времени неустановившегося торможения на тормозную эффективность пассажирского вагона с колодочными тормозами при экстренном пневматическом торможении. Показано, что наибольшая тормозная эффективность при уменьшении времени переходного периода достигается для скоростей в начале торможения до 80 км/ч. Представлены графики и диаграммы процессов торможения пассажирских вагонов для двух вариантов: при стандартной диаграмме наполнения тормозного цилиндра сжатым воздухом и ускоренной. Методология исследования тормозных процессов вагонов, базируется на совместном использовании математических моделей и результатов ходовых тормозных испытаний. Также исследовались тормозные процессы пассажирского вагона с колодочным тормозом при экстренном пневматическом торможении. На основании расчетно-экспериментальных исследований получены основные особенности и отличия кинематических параметров при торможении вагона на чугунных и композиционных колодках и определена формула для определения тормозного коэффициента с учетом наполнения тормозного цилиндра сжатым воздухом. Показано, что на характер распределения замедления оказывает влияние переходной режим торможения, что максимальные силы инерции при торможении реализуются в момент остановки вагона [6]. В работе [7] были проведены экспериментальные исследования тормозной эффективности подвижного состава при использовании смешанных тормозных колодок. При этом результаты расчетов тормозной эффективности пассажирского вагона со смешанными тормозными колодками приведенные в настоящей статье имеют хорошее совпадение с результатами ранее проведенных исследований [7].

Цель статьи – проведение расчетных исследований для выбора рационального алгоритма и методики расчета тормозной эффективности пассажирского вагона с применением универсальных математических зависимостей, которые позволят еще на стадии проектирования производить многовариантные расчеты при выборе характеристик тормозной системы, удовлетворяющих нормативным требованиям к тормозной эффективности подвижного состава.

Основной материал исследований. Типовая методика расчета тормозной эффективности пассажирских вагонов [8-10] имеет ряд существенных недостатков, к основным из которых следует отнести невозможность:

- определения расчетных тормозных коэффициентов при смешанных типах тормозных колодок, установленных на вагоне;
- пересчета расчетных тормозных коэффициентов композиционных колодок на чугунные и наоборот;
- осуществлять многовариантные расчеты для выбора рациональных параметров тормозной системы.

Указанные недостатки обусловлены тем, что интегрирование дифференциального уравнения движения поезда (1) [10] осуществляется по интервалам скорости, а действительный тормозной путь поезда определяется по формуле (2) [9].

$$\frac{dv}{dt} = -\zeta \cdot 1000 \cdot \phi_{kp} \cdot \delta_p + w_{ox}(v) + i_c \quad (1)$$

где ζ – замедление поезда при действии удельной замедляющей силы, значение ζ для грузовых и пассажирских поездов принимается равным 120 км/ч² [5, 6, 7];

ϕ_{kp} – расчетный коэффициент трения колодок при скорости движения;

w_{ox} – основное удельное сопротивление движению поезда;

δ_p – расчетный тормозной коэффициент.

$$S_o = \sum_n \frac{4.17 \cdot (v_n^2 - v_{n+1}^2)}{1000 \cdot \delta_p \cdot \phi_{kp} + w_{ox} + i_c} \quad (2)$$

где v_{n+1} и v_n – конечная и начальная скорость поезда в принятом расчетном интервале скоростей, км/ч;

i_c – уклон, ‰, для площадки $i_c = 0$.

Указанных недостатков можно избежать, если решение дифференциального уравнения осуществить одним из приближенных методов решения дифференциальных уравнений во временной области. Так как дифференциальное уравнение движения (1) представляет обыкновенное дифференциальное уравнение и относится к классу задач Коши, то из всего многообразия численного решения задачи Коши наиболее распространенным является метод Рунге-Кутты [11]. Анализ изменения тормозного пути вагона от величины расчетного тормозного коэффициента для скорости в начале торможения V_0 свидетельствует об их степенной функциональной зависимости:

$$S_o(V_0) = c(V_0) \cdot \delta_p^{d(V_0)} \quad (3)$$

где коэффициенты $c(V_0)$ и $d(V_0)$ уравнения, зависящие от скорости в начале торможения.

Коэффициенты уравнения (3) определяют методом максимального правдоподобия (методом наименьших квадратов) [11]. Для этого формула (3) путем логарифмирования правой и левой частей приводится к виду:

$$\ln(S_o(V_0)) - \ln(c) - d(V_0) \cdot \ln(\delta_p) = 0 \quad (4)$$

После ввода обозначений $y = \ln(S(V_0))$; $A = \ln(c)$; $B = d(V_0)$; $z = \ln(\delta_p)$, формула (4) преобразовывается к линейному уравнению $y = A + B \cdot z$. С учетом указанных преобразований, разрешающее уравнение метода наименьших квадратов примет вид:

$$U = \sum_{i=1}^n (y_i - (A + B \cdot z))^2 \quad (5)$$

где n – число интервалов.

После дифференцирования уравнения (5) по неизвестным коэффициентам A и B получается система уравнений:

$$\begin{cases} A \cdot n + B \sum_{i=1}^n z_i = \sum_{i=1}^n y_i \\ A \sum_{i=1}^n z_i + B \sum_{i=1}^n z_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i z_i \end{cases} \quad (6)$$

В результате решения системы уравнений (6), коэффициенты уравнения (3), с учетом введенных обозначений, определяем по формулам:

$$c(V_0) = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln(S_{\partial i}(V_0)) \cdot \sum_{i=1}^n (\ln(\delta_{pi}))^2 - \sum_{i=1}^n \ln(\delta_{pi}) \cdot \ln(S_{\partial i}(V_0)) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(\delta_{pi})}{n \cdot (\sum_{i=1}^n \ln(\delta_{pi}))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(\delta_{pi}))^2} \right) \quad (7)$$

$$d(V_0) = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \ln(\delta_{pi}) \cdot \ln(S_{\partial i}(V_0)) - \sum_{i=1}^n \ln(\delta_{pi}) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(S_{\partial i}(V_0))}{n \cdot (\sum_{i=1}^n \ln(\delta_{pi}))^2 - \sum_{i=1}^n (\ln(\delta_{pi}))^2} \quad (8)$$

Действительные тормозные пути (табл. 1 и 2) определялись на основе решения дифференциального уравнения (1) методом Рунге-Кутты 4 порядка в заданных диапазонах изменения расчетного тормозного коэффициента и скоростей в начале торможения (40 км/ч – 160 км/ч с шагом 10 км/ч) с использованием пакета прикладных программ написанных на языке VBA (Visual Basic for Application).

Величина погрешности при определении действительного тормозного пути вагона по аналитическим зависимостям в наиболее вероятном диапазоне изменения расчетного тормозного коэффициента не превышает 0,5 % (рис. 1). Формулы для определения действительного тормозного пути вагона в зависимости от расчетного тормозного коэффициента приведены в табл. 3.

Таблица 1. Действительные тормозные пути пассажирского вагона с композиционными колодками на площадке

V, км/ч	Расчетный тормозной коэффициент															
	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
40	104	94	87	80	75	70	65	62	58	55	52	50	48	46	44	42
50	165	151	139	128	119	111	105	99	93	88	84	80	76	73	70	67
60	243	221	204	188	175	164	154	145	137	130	123	118	112	108	103	99

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
70	336	307	282	261	243	227	213	201	190	180	171	163	156	149	143	138
80	445	407	374	346	322	301	283	267	252	239	228	217	207	198	190	183
90	571	521	479	444	413	387	363	342	324	307	292	279	266	255	245	235
100	712	651	599	555	517	483	454	428	405	384	366	349	333	319	306	294
110	870	795	732	678	632	591	556	524	496	471	448	427	408	391	375	360
120	1043	954	879	814	759	710	668	630	596	566	539	514	491	470	451	434
130	1232	1127	1039	963	898	841	791	746	706	670	638	609	582	558	535	514
140	1436	1314	1212	1124	1048	982	924	872	826	784	746	712	681	652	626	602
150	1654	1515	1398	1297	1210	1134	1067	1008	954	906	863	824	788	755	724	697
160	1888	1730	1597	1483	1384	1297	1221	1153	1092	1038	988	943	902	865	830	798

Таблица 2. Действительные тормозные пути пассажирского вагона с чугунными колодками на площадке

V, км/ч	Расчетный тормозной коэффициент															
	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
40	109	97	88	80	74	68	63	59	55	52	49	47	45	42	40	39
50	184	164	148	135	124	115	107	100	94	88	83	79	75	72	68	65
60	281	251	227	207	190	176	164	153	144	135	128	121	115	110	105	101
70	402	360	325	297	273	252	235	220	206	194	184	174	166	158	151	144
80	548	490	443	405	372	344	321	300	282	266	251	238	227	216	206	198
90	718	643	582	531	489	453	422	394	371	349	331	314	298	284	272	260
100	913	818	740	677	623	577	538	503	473	446	422	401	381	364	347	333
110	1131	1015	920	841	775	718	669	627	589	556	526	499	475	453	433	415
120	1374	1233	1119	1024	944	875	816	764	719	678	642	610	580	554	529	507
130	1640	1473	1338	1225	1130	1048	978	916	862	814	771	732	697	665	636	609
140	1928	1734	1576	1444	1333	1237	1155	1082	1019	962	911	866	824	787	753	721
150	2237	2015	1833	1681	1552	1442	1346	1262	1188	1123	1064	1011	963	919	880	843
160	2567	2315	2107	1934	1787	1661	1552	1456	1371	1296	1228	1168	1113	1062	1017	975

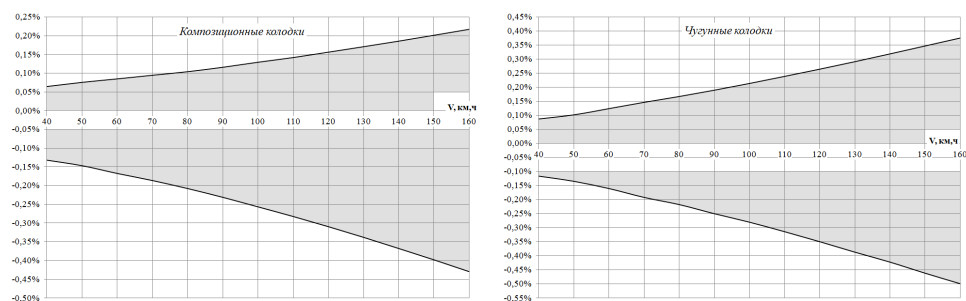


Рис. 1. Погрешность (%) при определения действительного тормозного пути вагона по формулам табл. 3

Таблиця 3. Формулы для определения действительных тормозных путей пассажирского вагона на площадке

Скорость в начале торможения, км/ч	Композиционные колодки	Чугунные колодки
40	$S = 21,3074 \cdot \delta_{pk}^{-0,9831}$	$S = 44,511 \cdot \delta_{pc}^{-0,9827}$
50	$S = 34,166 \cdot \delta_{pk}^{-0,981}$	$S = 75,1444 \cdot \delta_{pc}^{-0,9793}$
60	$S = 50,362 \cdot \delta_{pk}^{-0,978}$	$S = 115,3807 \cdot \delta_{pc}^{-0,9755}$
70	$S = 70,0248 \cdot \delta_{pk}^{-0,9758}$	$S = 165,7643 \cdot \delta_{pc}^{-0,9714}$
80	$S = 93,262 \cdot \delta_{pk}^{-0,973}$	$S = 226,7142 \cdot \delta_{pc}^{-0,967}$
90	$S = 120,1645 \cdot \delta_{pk}^{-0,97}$	$S = 298,5191 \cdot \delta_{pc}^{-0,9621}$
100	$S = 150,816 \cdot \delta_{pk}^{-0,966}$	$S = 381,3917 \cdot \delta_{pc}^{-0,957}$
110	$S = 185,297 \cdot \delta_{pk}^{-0,963}$	$S = 475,4566 \cdot \delta_{pc}^{-0,9514}$
120	$S = 223,6632 \cdot \delta_{pk}^{-0,959}$	$S = 580,7718 \cdot \delta_{pc}^{-0,946}$
130	$S = 265,975 \cdot \delta_{pk}^{-0,954}$	$S = 697,334 \cdot \delta_{pc}^{-0,9395}$
140	$S = 312,278 \cdot \delta_{pk}^{-0,95}$	$S = 825,0981 \cdot \delta_{pc}^{-0,933}$
150	$S = 362,625 \cdot \delta_{pk}^{-0,946}$	$S = 963,969 \cdot \delta_{pc}^{-0,9265}$
160	$S = 417,038 \cdot \delta_{pk}^{-0,941}$	$S = 1113,806 \cdot \delta_{pc}^{-0,9196}$

Так как основным критерием допустимой скорости движения пассажирских поездов, согласно действующей нормативной документации, является суммарное нажатие чугунных колодок на 100 тс веса поезда, а вагоны в основном эксплуатируются на композиционных тормозных колодках, поэтому важное значение приобретают задачи пересчета тормозного коэффициента композиционных колодок на чугунные.

Такой пересчет производится исходя из равенства тормозных путей пассажирского поезда при чугунных и композиционных колодках. В таблице 4 приведены формулы для пересчета расчетного тормозного коэффициента колодок одного типа на другой тип. Погрешность пересчета не превышает 0,4 % (рис. 2).

Практические вычисления по формулам таблиц 3 и 4 могут быть реализованы в среде Excel для этого достаточно в соседних ячейках записать коэффициенты уравнений и применить формулу вычисления степени (рис. 3).

На основании изложенного, расчет тормозной эффективности пассажирского вагона может быть представлен алгоритмом, приведенным на рис. 4.

На большинстве пассажирских вагонах локомотивной тяги совместно с композиционными используются чугунные колодки на колесных парах с приводом от подвагонного генератора. Очевидно, для таких вагонов необходимо учитывать влияние чугунных колодок на тормозную эффективность.

Таблиця 4. Формулы для пересчете расчетного тормозного коэффициента с одного типа колодок на другой

Скорость в начале торможения, км/ч	Формулы для пересчета тормозного коэффициента композиционных колодок на чугунные	Формулы для пересчета тормозного коэффициента чугунных колодок на композиционные
40	$\delta_{рч} = 2,116 \cdot \delta_{рк}^{1,0004}$	$\delta_{рк} = 0,4727 \cdot \delta_{рч}^{0,9996}$
50	$\delta_{рч} = 2,236 \cdot \delta_{рк}^{1,0016}$	$\delta_{рк} = 0,4477 \cdot \delta_{рч}^{0,9983}$
60	$\delta_{рч} = 2,339 \cdot \delta_{рк}^{1,0031}$	$\delta_{рк} = 0,4286 \cdot \delta_{рч}^{0,997}$
70	$\delta_{рч} = 2,428 \cdot \delta_{рк}^{1,0045}$	$\delta_{рк} = 0,4135 \cdot \delta_{рч}^{0,9955}$
80	$\delta_{рч} = 2,5061 \cdot \delta_{рк}^{1,0062}$	$\delta_{рк} = 0,4013 \cdot \delta_{рч}^{0,994}$
90	$\delta_{рч} = 2,575 \cdot \delta_{рк}^{1,0078}$	$\delta_{рк} = 0,3912 \cdot \delta_{рч}^{0,9922}$
100	$\delta_{рч} = 2,6366 \cdot \delta_{рк}^{1,0116}$	$\delta_{рк} = 0,3828 \cdot \delta_{рч}^{0,9903}$
110	$\delta_{рч} = 2,692 \cdot \delta_{рк}^{1,0097}$	$\delta_{рк} = 0,3757 \cdot \delta_{рч}^{0,9885}$
120	$\delta_{рч} = 2,7429 \cdot \delta_{рк}^{1,01373}$	$\delta_{рк} = 0,3696 \cdot \delta_{рч}^{0,9863}$
130	$\delta_{рч} = 2,789 \cdot \delta_{рк}^{1,0158}$	$\delta_{рк} = 0,3643 \cdot \delta_{рч}^{0,9843}$
140	$\delta_{рч} = 2,8323 \cdot \delta_{рк}^{1,0181}$	$\delta_{рк} = 0,3597 \cdot \delta_{рч}^{0,982}$
150	$\delta_{рч} = 2,8726 \cdot \delta_{рк}^{1,0206}$	$\delta_{рк} = 0,3556 \cdot \delta_{рч}^{0,9798}$
160	$\delta_{рч} = 2,91 \cdot \delta_{рк}^{1,023}$	$\delta_{рк} = 0,352 \cdot \delta_{рч}^{0,9775}$

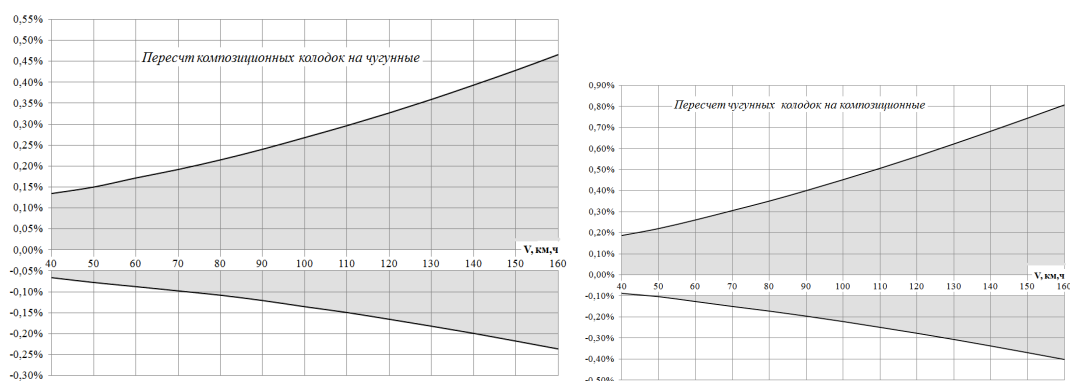


Рис. 2. Погрешность (%) при пересчете тормозных коэффициентов по формулам табл. 4

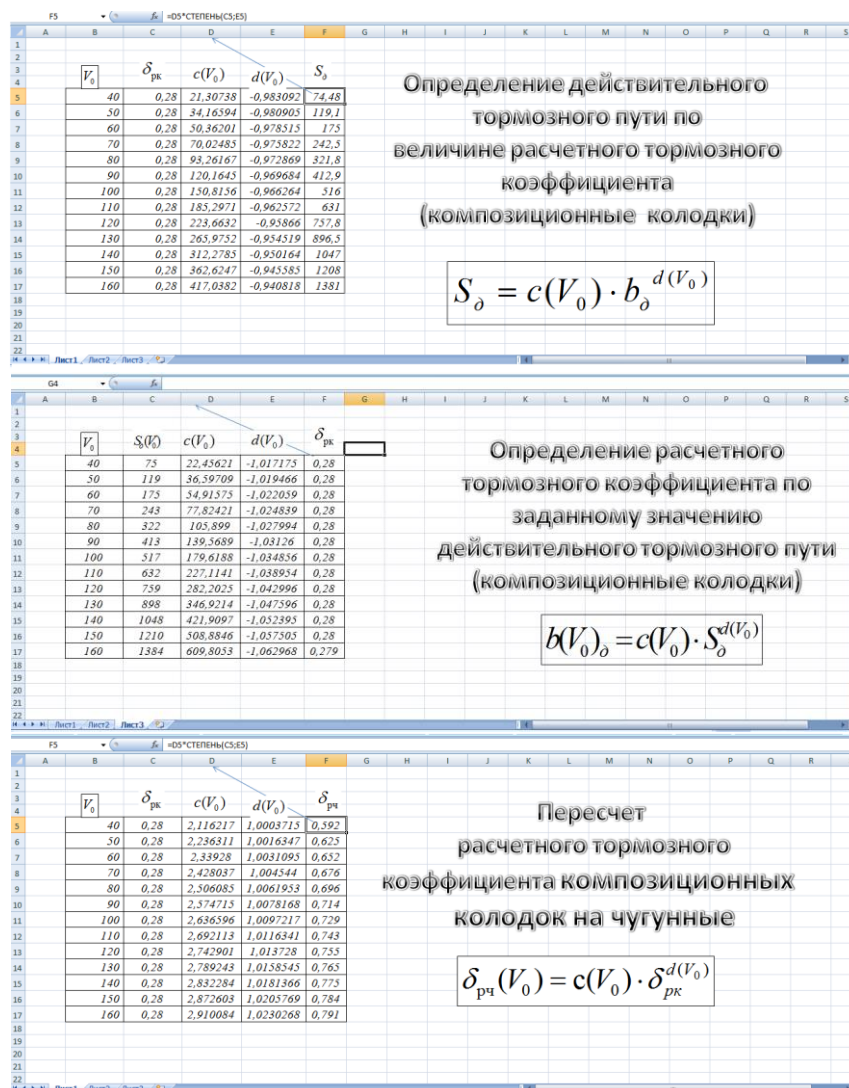


Рис. 3. Примеры вычисления по формулам табл. 3 и 4 в среде Excel

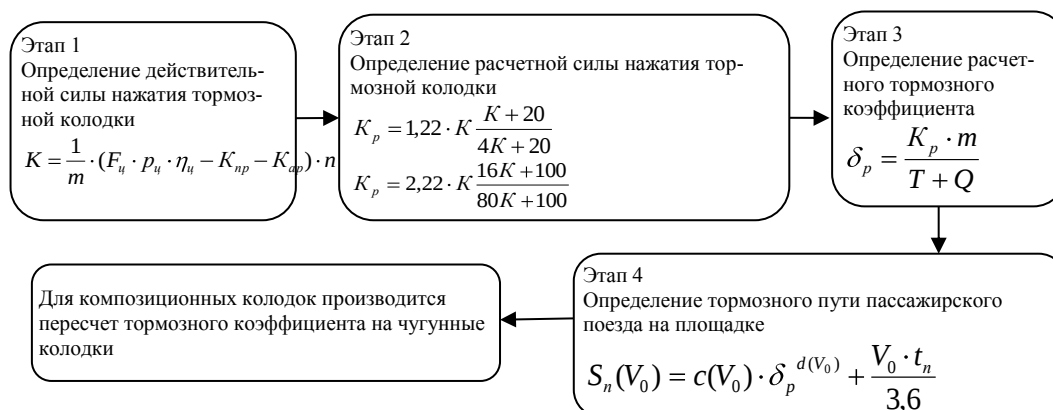


Рис. 4. Алгоритм расчета тормозной эффективности пассажирского вагона

Для определения расчетного коэффициента силы нажатия тормозных колодок пассажирского вагона со смешанными тормозными колодками предлагается методика расчета, в которой для определения расчетного коэффициента силы нажатия тормозных колодок в пересчете на чугунные колодки используется формула:

$$\delta_p^u = \frac{n_k \cdot \delta_p^{k \rightarrow u} + n_u \cdot \delta_p^{k \rightarrow u} \cdot \frac{i_{pk}}{i_{pu}}}{n_k + n_u} \quad (9)$$

где n_k – количество осей с композиционными колодками;

n_u – количество осей с чугунными колодками;

$\delta_p^{k \rightarrow u}$ – расчетный тормозной коэффициент композиционных колодок в пересчете на чугунные;

δ_p^u – расчетный коэффициент нажатия тормозных колодок на колеса пассажирского вагона с чугунными колодками;

i_{pk} – передаточное отношение рычажной передачи тормоза при композиционных колодках;

i_{pu} – передаточное отношение рычажной передачи тормоза при чугунных колодках.

Алгоритм расчета тормозной эффективности пассажирского вагона со смешанным типом тормозных колодок представлен на рис. 5.

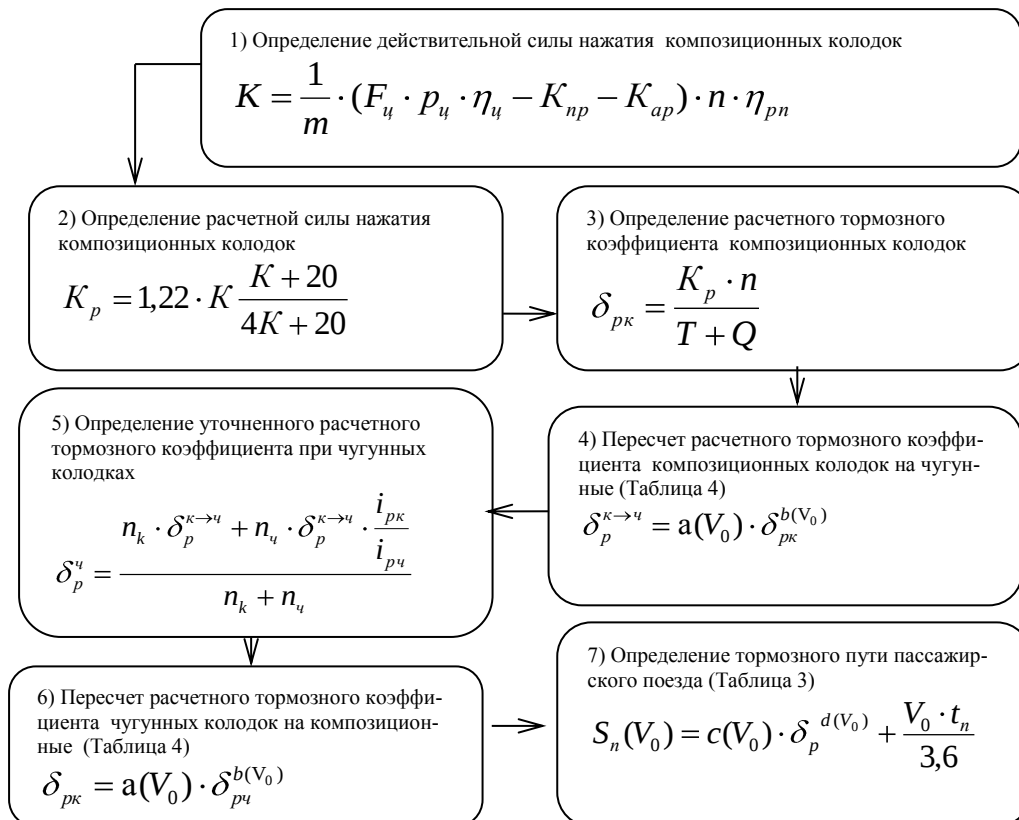


Рис. 5. Алгоритм расчета тормозной эффективности пассажирского вагона со смешанным типом тормозных колодок

Для иллюстрации предложенного алгоритма был выполнен расчет для пассажирского вагона на композиционных колодках и с чугунными колодками на колесной паре с приводом от подвагонного генератора, исходные данные для которого приведены в табл. 5.

Таблица 5. Исходные данные для расчета тормозной эффективности пассажирского вагона

Наименование параметра	Обозначение	Значение параметра
Сила тяжести вагона, тс	T	59,00
Сила тяжести груза, тс	Q	4,20
Число тормозных колодок	m	16,00
Параметры тормозного цилиндра		
Диаметр поршня, см	$d_{\text{ц}}$	35,60
Жесткость пружины, кг/см	$g_{\text{пр}}$	6,57
Усилие предварительного сжатия пружины, кгс	$F_{\text{пр}}$	159,00
КПД тормозного цилиндра	$\eta_{\text{ц}}$	0,98
Давление в тормозном цилиндре, кгс/см ²	$p_{\text{ц}}$	4,10
Передаточное отношение рычажной передачи	n	5,51
Выход штока тормозного цилиндра, см (груженный)	$l_{\text{шт}}$	15,50
Параметры авторегулятора		
Усилие предварительного сжатия, кгс	$F_{\text{авт}}$	169,00
Жесткость пружины, кг/см	$g_{\text{авт}}$	23,10
Величина сжатия при торможении, см	$l_{\text{авт}}$	4,50
Передаточное отношение (композиционные)	$n_{\text{авт}}$	1,45
КПД рычажной передачи	$\eta_{\text{рп}}$	0,90

Анализ результатов вычислений (табл. 6.) показал, что наличие чугунных колодок уменьшает расчетный тормозной коэффициент на 13,2 % соответственно с 0,2788 (триповый расчет) до 0,242 (уточненный расчет).

Действительные тормозные пути в диапазоне скоростей 40-160 км/ч, полученные по изложенному алгоритму (рис. 5) представлены в табл. 7, а в пересчете на поезд при пневматическом торможении – в табл. 8. Пересчет тормозного коэффициента композиционных колодок приведен в табл. 9.

Таблиця 6. Расчет тормозной эффективности пассажирского вагона со смешанным типом тормозных колодок

№ п/п	Наименование	Результата вычисления
1	Расчетное усилие сжатия внутренней отпускной пружины цилиндра, кгс	$K_{np} = F_{np} + g_{np} \cdot l_{um} =$ $= 159 + 6,57 \cdot 15,5 = 260,84$
2	Усилие пружины авторегулятора рычажной передачи, приведенное к штоку тормозного цилиндра, кгс	$K_{ap} = (F_{авт} + g_{авт} \cdot l_{авт}) \cdot n_{авт} =$ $= (169 + 23,1 \cdot 4,5) \cdot 1,45 = 395,78$
3	Действительная сила нажатия колодки на колесо, кгс (тс)	$K = \frac{1}{m} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_u^2}{4} \cdot p_u \cdot \eta_u - K_{np} - K_{ap} \right) \cdot n \cdot \eta_{pn} =$ $= \frac{1}{16} \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 35,6^2}{4} \cdot 4,1 \cdot 0,98 - 260,84 - 395,78 \right) \cdot 5,33 \cdot 0,9 =$ $= 1036,1(1,0361)$
4	Расчетная сила нажатия колодки на колесо, тс	$K_p = 1,22 \cdot K \cdot \frac{K + 20}{4K + 20} = 1,22 \cdot 1,0361 \cdot \frac{1,0361 + 20}{4 \cdot 1,0361 + 20} = 1,1013$
5	Расчетный тормозной коэффициент композиционных колодок	$\delta_{pk} = \frac{K_p \cdot m}{T + Q} = \frac{1,1013 \cdot 16}{59 + 4,2} = 0,2788$
6	Пересчет на чугунные колодки	$\delta_{pч} = 2,91 \cdot \delta_{pk}^{1,023} = 2,91 \cdot 0,2788^{1,023} = 0,79$
7	Уточненная оценка расчетного тормозного коэффициента в пересчете на чугунные колодки	$\delta_p^u = \frac{n_k \cdot \delta_p^{k \rightarrow q} + n_q \cdot \delta_p^{q \rightarrow k} \cdot \frac{i_{pk}}{i_{pq}}}{n_k + n_q} =$ $= \frac{3 \cdot 0,79 + 1 \cdot 0,79 \cdot \frac{5,51}{12}}{3 + 1} = 0,683$
8	Пересчет на композиционные колодки	$\delta_{pk} = 0,352 \cdot \delta_{pч}^{0,9775} = 0,352 \cdot 0,683^{0,9775} = 0,2425$

Таблиця 7. Действительные тормозные пути пассажирского поезда

V_0 км/ч	Композиционные колодки				Смешанные колодки			
	δ_p	$c(V_0)$	$d(V_0)$	$S_n(V_0) = c(V_0) \cdot \delta_p^{d(V_0)}$	δ_p	$c(V_0)$	$d(V_0)$	$S_n(V_0) = c(V_0) \cdot \delta_p^{d(V_0)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	0,2788	21,3074	0,9831	75	0,2425	21,3074	0,9831	86
50	0,2788	34,1659	0,9809	120	0,2425	34,1659	0,9809	137
60	0,2788	50,3620	0,9785	176	0,2425	50,3620	0,9785	201
70	0,2788	70,0248	0,9758	244	0,2425	70,0248	0,9758	279

Оконание табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
80	0,2788	93,2617	0,9729	323	0,2425	93,2617	0,9729	370
90	0,2788	120,1645	0,9697	415	0,2425	120,1645	0,9697	475
100	0,2788	150,8156	0,9663	518	0,2425	150,8156	0,9663	593
110	0,2788	185,2971	0,9626	634	0,2425	185,2971	0,9626	725
120	0,2788	223,6632	0,9587	761	0,2425	223,6632	0,9587	870
130	0,2788	265,9752	0,9545	900	0,2425	265,9752	0,9545	1028
140	0,2788	312,2785	0,9502	1051	0,2425	312,2785	0,9502	1200
150	0,2788	362,6247	0,9456	1213	0,2425	362,6247	0,9456	1384
160	0,2788	417,0382	0,9408	1387	0,2425	417,0382	0,9408	1581

Таблица 8. Тормозные пути пассажирского поезда
при пневматическом торможении

V ₀ км/ч	Электропневматическое торможение			Пневматическое торможение		
	Компози- ционные колодки	Смешан- ные колодки	%	Компози- ционные колодки	Смешанные колодки	%
40	97,0	108,0	10,19	119,2	130,2	8,45
50	147,4	164,9	10,62	175,1	192,7	9,13
60	209,1	234,8	10,94	242,4	268,1	9,59
70	282,4	317,9	11,17	321,3	356,8	9,95
80	367,6	414,5	11,32	412,0	459,0	10,24
90	464,6	524,7	11,45	514,6	574,7	10,46
100	573,7	648,5	11,53	629,2	704,0	10,63
110	694,7	785,8	11,59	755,8	846,9	10,76
120	827,6	936,5	11,63	894,3	1003,2	10,86
130	972,4	1100,6	11,65	1044,6	1172,8	10,93
140	1206,6	1277,7	5,57	1206,6	1355,5	10,98
150	1380,0	1467,7	5,98	1380,0	1551,1	11,03
160	1475,8	1670,3	11,65	1564,7	1759,2	11,06

Таблиця 9. Значения расчетных тормозных коэффициентов в пересчете композиционных колодок на чугунные

V_0 км/ч	Композиционные колодки				Смешанные колодки			
	δ_{pk}	$c(V_0)$	$d(V_0)$	$\delta_{pv} = c(V_0) \cdot \delta_{pk}^{d(V_0)}$	δ_{pk}	$c(V_0)$	$d(V_0)$	$\delta_{pv} = c(V_0) \cdot \delta_{pk}^{d(V_0)}$
40	0,2788	2,1162	1,0004	0,5897	0,2425	2,1162	1,0004	0,5129
50	0,2788	2,2363	1,0016	0,6222	0,2425	2,2363	1,0016	0,5411
60	0,2788	2,3393	1,0031	0,6496	0,2425	2,3393	1,0031	0,5648
70	0,2788	2,4280	1,0045	0,6730	0,2425	2,4280	1,0045	0,5850
80	0,2788	2,5061	1,0062	0,6932	0,2425	2,5061	1,0062	0,6024
90	0,2788	2,5747	1,0078	0,7107	0,2425	2,5747	1,0078	0,6175
100	0,2788	2,6366	1,0097	0,7260	0,2425	2,6366	1,0097	0,6306
110	0,2788	2,6921	1,0116	0,7395	0,2425	2,6921	1,0116	0,6422
120	0,2788	2,7429	1,0137	0,7514	0,2425	2,7429	1,0137	0,6523
130	0,2788	2,7892	1,0159	0,7621	0,2425	2,7892	1,0159	0,6614
140	0,2788	2,8323	1,0181	0,7716	0,2425	2,8323	1,0181	0,6694
150	0,2788	2,8726	1,0206	0,7801	0,2425	2,8726	1,0206	0,6766
160	0,2788	2,9101	1,0230	0,7878	0,2425	2,9101	1,0230	0,6830

Анализ тормозной эффективности исследуемого пассажирского вагона по критерию единого наименьшего тормозного нажатия чугунных колодок на 100 тс веса поезда [12] при смешанных колодках показал, что допустимая скорость движения составляет не более 120 км/ч (табл. 10).

Таблиця 10. Единое наименьшее тормозное нажатие для пассажирских поездов в пересчете на чугунные колодки [7]

Максимальная скорость движения, км/ч	Наименьшее тормозное нажатие на 100 тс веса поезда, тс	Тормозное нажатие на 100 тс веса поезда, тс (с композиционными колодками на всех колесных парах)	Тормозное нажатие на 100 тс веса поезда, тс (с чугунными колодками на колесной паре с приводом от подвагонного генератора)
до 120 км/час включительно	60 (0,6)	75,1 (0,751)	65,2 (0,652)
от 120 км/час до 130 км/год включительно	68 (0,68)	76,2 (0,762)	66,1 (0,661)
от 130 км/час до 140 км/час включительно	78 (0,78)	77,1 (0,771)	66,9 (0,669)
от 140 км/час до 160 км/час включительно	80 (0,80)	78,7 (0,787)	68,3 (0,683)

Висновки. Предложенный алгоритм расчета тормозной эффективности с применением полученных универсальных математических зависимостей позволяет:

1. Выполнять расчеты тормозной эффективности пассажирских вагонов со смешанным типом тормозных колодок;
2. Оценивать тормозную эффективность вагона по наименьшему тормозному нажатию в пересчете на чугунные колодки на 100 тс веса поезда;
3. Производить многовариантные расчеты при выборе рациональных характеристик тормозной системы, удовлетворяющих нормативным требованиям тормозной эффективности;
4. Результаты расчетов тормозной эффективности пассажирского вагона со смешанными тормозными колодками имеют хорошее совпадения с результатами ранее проведенных исследований [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Фомін, О. В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції / О. В. Фомін, // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76
2. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43.
3. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.)
4. Водяников Ю. Я. Методология пересчета тормозной эффективности одиночного вагона на тормозную эффективность поезда/ Ю. Я. Водяников, С. М. Свистун, Е. Г. Макеева // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 2. – С. 27-37.
5. Водяников Ю.Я. Влияние времени наполнения тормозного цилиндра сжатым воздухом на тормозную эффективность пассажирского вагона / Ю. Я. Водяников, А. М. Сафронов, С. М. Свистун // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 5. – С. 3-8.
6. Водяников Ю. Я. Силы инерции при торможении пассажирского вагона / Ю. Я. Водяников, Т. В. Шелейко, Е. Г. Макеева // Заліз. трансп. України. – 2014. – № 4. – С. 3-8.
7. Водяников Ю. Я. Исследования тормозной эффективности пассажирских вагонов со смешанными тормозными колодками (композиционными и чугунными) / Ю. Я. Водяников, М. И. Яланский, А. П. Киницкая // Вагонный парк. – 2008. – № 1. – С. 13-16.
8. «Нормы для расчете и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм(несамоходных) – ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996 г.
9. Иноземцев В. Г. Нормы и методы расчета автотормозов / Иноземцев В.Г., Гребенюк П.Т. – М.: И-во «Транспорт», 1971. – 57 с.
10. Гребенюк П. Т. Правила тормозных расчетов / Гребенюк П. Т. – М.: Интекст, 2004. – 114 с.
11. Гутер Р. С., Овчинский Б. В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта / Гутер Р.С., Овчинский Б.В. – М.:«Наука», 1970.
12. ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України // Транспорт України, 2002.

Aleksandr Safronov, PhD (Technical Sciences)

(Deputy Director for Science, State Enterprise «State Research Center of Railway Transport of Ukraine»)

METHODOLOGY FOR CALCULATION RESEARCHES OF THE BRAKING EFFICIENCY OF PASSENGER CARS EQUIPPED WITH BLOCK BRAKES, BASED ON SOLVING A DIFFERENTIAL EQUATION OF MOTION AT BRAKING IN THE TIME DOMAIN

Calculation methods for braking efficiency of a passenger car with block brakes, based on solving a differential equation of motion at braking in the time domain was given. Calculation dependences for effective braking length calculation of a passenger train, and for

braking coefficients recalculation of composite brake shoes for cast-iron brake shoes and vice versa were represented. The methods allow making calculations for braking efficiency of mixed type brake shoes. A calculation example of the passenger car braking efficiency with mixed type brake shoes and comparative analysis of its efficiency with same-type brake shoes was given.

Keywords: passenger car, braking efficiency, calculated braking coefficient, braking length

REFERENCES

1. Fomin, O.V. Pidvyshchennia stupenia idealnosti vantazhnykh vahoniv ta prohnozuvannia stadii yikh evoliutsii (Increasing of freight cars ideality and forecasting stages of their evolution), Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu, Dnipropetrovsk, NHU, 2015, No 3, pp. 68-76
2. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars, Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5, pp. 31-43.
3. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model, Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1, pp. 45-48.
4. Vodjannikov Ju. Ja., Svistun S. M., Makeeva E. G. Metodologiya perescheta tormoznoy effektivnosti odinochnogo vagona na tormoznuyu effektivnost poezda dlya perevoda (Methodology of the conversion efficiency of the brake single car on the braking efficiency of the train), Zalizn. transp. Ukrainy, 2014, No 2, pp. 27-37
5. Vodjannikov Ju. Ja., Safronov A. M., Svistun S. M. Vliyanie vremeni napolneniya tormoznogo tsilindra szhatym vozduhom na tormoznuyu effektivnost passazhirskogo vagona (Effect of time of filling of the brake cylinder of compressed air to the braking efficiency of a passenger car), Zalizn. transp. Ukrainy, 2014, No 5, pp. 3-8.
6. Vodjannikov Ju. Ja., Sheleyko T. V., Makeeva E. G. Silyi inertsii pri tormozhenii passazhirskogo vagona (The forces of inertia during deceleration of the passenger car), Zalizn. transp. Ukrainy, 2014, No 4, pp. 3-8.
7. Vodjannikov Ju. Ja., Yalanskiy M. I., Kinitskaya A. P. Issledovaniya tormoznoy effektivnostipassazhirskih-vagonov so smeshannyimitormoznyimi kolodkami (kompozitsionnyimi i chugunnyimi) (Research braking efficiency of passenger cars with the mixed brake pads (composite and cast iron)), Vagonnyi park, 2008, No 1, pp. 13-16.
8. Normyi dlya raschete i proektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnykh) (The rules for the calculation and design of wagons MPS 1520 mm gauge railways (non-self)), GosNIIV-VNIIZhT, 1996.
9. Inozemtsev V. G., Grebenyuk P. T. Normyi i metodyi rascheta avtotormozov (Norms and methods of calculation of car brakes), M.: I-vo «Transport», 1971, 57 p.
10. Гребенюк П. Т. Правила тормозных расчетов / Гребенюк П. Т. – М.: Интекст, 2004. – 114 с.
11. Guter R. S., Ovchinskiy B. V. Elementyi chislennogo analiza i matematicheskoy obrabotki rezultatov opyta (Elements of numerical analysis and mathematical processing of the experimental results), «Nauka», 1970.
12. TsT-TsV-TsL-0015. Instruktsiia z ekspluatatsii halm rukhomoho skladu na zaliznytsiakh Ukrainy (Operating Instructions brake rolling stock on the railways of Ukraine), Kyiv: Transport Ukrainy, 2002.

УДК 629.17

Л. А. Мурадян, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ))

РОЗРОБКА ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

У роботі розроблені основні елементи для побудови системи дослідження надійності вантажних вагонів, що включають бази даних та знань. При цьому запропоновано структурну схему системи дослідження надійності вантажних вагонів та описано алгоритми отримання знань із статистичних даних за відмовами вагонів.

Ключові слова: система дослідження, надійність, відмови, вантажні вагони.

В работе разработаны основные элементы для построения системы исследования надежности грузовых вагонов, включающих базы данных и знаний. При этом предложена структурная схема системы исследования надежности грузовых вагонов и описан алгоритм получения знаний из статистических данных по отказам вагонов.

Ключевые слова: система исследования, надежность, отказы, грузовые вагоны.

Постановка проблеми. Залізничний транспорт у всьому світі займає значну частину ринку послуг, які пов'язані з організацією та забезпеченням перевізного процесу [1-3], основою якого є рухомий склад. На залізницях усього світу найбільше уваги приділяється безпеці руху поїздів, від якої залежить життя та здоров'я людей. Безпека руху поїздів напряму залежить від надійності рухомого складу, в т. ч. і вантажних вагонів.

У процесі вирішення різних проблем, пов'язаних з надійністю рухомого складу залізниць, в т. ч. і вантажних вагонів, використовується безліч джерел невизначеності інформації [2-7]. Практично в кожному випадку є можливість розділити їх на дві категорії: недостатній рівень знання предметної області і недостатньо повна інформація про конкретну ситуацію.

У зв'язку з тим, що в теорії предметної області [8, 9] (тобто у наших знаннях про цю область) можуть бути використані концепції, що не мають чіткого формулювання, чи мало вивчені явища, тобто вона є неясною або неповною. Наприклад, в процесі визначення можливих несправностей вантажних вагонів існують різні свідчення за непрямыми ознаками, які можуть указувати на поломку різних вузлів, їх сполучень або деталей.

Унаслідок наявності невизначеності знань, правила впливу часто не призводять до отримання коректних результатів, навіть у найпростіших випадках. Не маючи повного знання, неможливо з упевненістю передбачити, який ефект отримаємо від здійснення тієї чи іншої дії. Навіть маючи достатньо повну теорію предметної області [9], дослідник може прийти до думки, що більш ефективно використовувати евристичні, ніж точні методи для прогнозування надійності вантажних вагонів.

© Мурадян Л. А., 2016

Окрім наявності неточних знань, причинами неясності, щодо технічного стану вантажного вагона, можуть стати неточні або ненадійні дані про конкретну ситуацію.

У роботах багатьох дослідників [8-10], відстежується єдина думка про важливість використання неточних методів у процесі реалізації системи дослідження, при цьому багато дискусій виникає на тлі визначення конкретного переліку методів, які повинні використовуватися. До недавнього часу, більшість з них підтримували твердження Мак-Карті і Хейеса, з приводу того, що теорію ймовірностей неможливо використовувати як адекватний інструмент при вирішенні завдань за поданням невизначеності знань і даних [9]. На підтвердження цього наводилися такі аргументи:

- теорія ймовірності не дозволяє дати відповідь на питання, пов'язане з можливістю комбінації ймовірнісних і кількісних даних;

- призначення ймовірності певних подій вимагає інформації, яка відсутня.

Інші дослідники розширили цей перелік своїми аргументами [9]:

- незрозуміло, як за допомогою кількісних даних оцінити деякі поняття, які дуже часто зустрічаються на практиці. Наприклад, «у більшості випадків», «в окремих випадках», або такі поняття, які характеризують приблизні оцінки як «швидкий» або «швидкісний»;

- застосування теорії ймовірностей змушує інженерів давати точну оцінку таким параметрам, які вони не можуть оцінити, оскільки цей процес вимагає «занадто багато чисел»;

- оновлення ймовірнісних оцінок є дуже дорогим процесом, тому що вимагає великого обсягу обчислень.

Наявність цих суджень призвела до формування нового формального апарата, призначеного для роботи з невизначеностями – нечітка логіка або теорія функцій довіри.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання моделей подання нечітких знань актуальне для формалізації людських знань, які описують якісні характеристики (наприклад, великий, сильний, дуже сильний, високий тощо) об'єктів предметної області, які інтерпретуються неоднозначно, але містять важливу інформацію [9].

При вирішенні реальних завдань часто виникають ситуації невизначеності, які можна розділити на дві категорії: відсутність достатньо повного і достовірного знання про предметну область і відсутність можливості отримати вичерпну інформацію про конкретні умови роботи, об'єкт, ситуацію тощо У першому випадку, мова може йти про явища, які недостатньо вивчені, теорії, що викликають багато протиріч або концепцій, що не мають чіткого формулювання.

Крім зазначених джерел невизначеності знань, існують також інші, серед яких можна виділити: ненадійні або неточні дані. Іноді доводиться користуватися інформацією, отриманою раніше, і яку неможливо ні перевірити, ні доповнити, ні отримати повторно. Для подолання проблеми невизначеності знань розроблені різні методи, що застосовуються при побудові системи дослідження надійності [9]. Найбільш неформальний підхід – це використання коефіцієнтів впевненості, що виражають ступінь достовірності знання. Альтернативний спосіб полягає у використанні теорії ймовірностей. Однак неясно, як за допомогою теорії ймовірності, представити такі поняття як «надійний», «часто», «іноді» тощо. Крім того, теорія ймовірностей вимагає значну кількість обчислень для поновлення ймовірнісних оцінок.

На сучасному етапі розвитку науки для представлення знань широке поширення одержав математичний апарат нечіткої логіки, теорія функцій довіри [11-18].

При формуванні оцінки тієї чи іншої ознаки, симптому або ситуації, дослідник оперує поняттями класів об'єктів, відносин, гіпотез та ін., а не використовує знання, в основі яких лежить інформація про конкретні приклади об'єктів, даних, відносин. Тому, методи рішень завдань повинні включати етап класифікації даних або знань. Виходячи з такої ситуації, розгляд конкретних екземплярів об'єктів повинно здійснюва-

тися у вигляді подання більш загальних класів, категорій. Але в реальних ситуаціях, рідко можна зустріти об'єкт, який точно відповідає певній категорії або класу. У кожного конкретного вантажного вагона ознаки, які визначають його приналежність до даного класу, можуть бути присутніми як у повному обсязі, так і частково. Тому, приналежність цього вантажного вагона до певного класу є розмитою. З метою формування суджень про наявність подібних категорій та об'єктів, які до них належать, був запропонований формалізм теорії нечітких множин. Ця теорія лягла в основу нечіткої логіки, яка дозволяє використовувати поняття невизначеності при здійсненні логічних обчислень.

У роботах [19, 20] було запропоновано підходи до побудови системи дослідження надійності вантажних вагонів. У даному випадку, для побудови такої системи залучено апарат нечіткої логіки. В системі досліджень надійності вантажних вагонів на основі знань про зв'язок ознак несправностей і самої несправності відповідного вантажного вагона, що формуються спеціалістами ремонтних і експлуатаційних вагонних депо, було отримано підсумковий коефіцієнт впевненості гіпотез при заданих відношеннях апріорних ймовірностей справедливості гіпотез з певними ознаками несправностей вантажних вагонів.

Метою статті є розробка основних елементів для побудови системи дослідження надійності вантажних вагонів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Система досліджень надійності вантажних вагонів (СДНВВ) [19, 20] повинна містити в собі базу даних відмов вагонів (БДВ) та базу знань відмов (гіпотез) (БЗВ) або окремих свідочств (симптомів, причин) про можливе настання відмов та їх наслідків (відповідна ступінь тяжкості).

БДВ буде виконувати функцію робочої пам'яті СДНВВ для зберігання різних вхідних, вихідних і проміжних статистичних даних з відмов, що будуть необхідні для вирішення поставленої задачі з забезпечення відповідного рівня конструкторської, технологічної або експлуатаційної надійності вагонів. Коли факти надходження нової інформації актуалізовані, повинні створюватись елементи робочої пам'яті для кожного факту у вигляді кортежів фіксованої довжини.

Групу змінних (відмов і свідочств), що пов'язані між собою, зручніше зберігати разом у вигляді кортежу. Рядки таблиці БДВ є кортежем фіксованої довжини, наповнення яких виконується за встановленням факту виникнення відмов вагона, відповідного типу і моделі, тобто з наступним встановленням зв'язку між свідочством (симптомом) і відмовою (гіпотезою) при певному пробігу вагона.

Робочу пам'ять можна задати таким чином:

$$WM = \langle WME_i, PE \rangle, \quad (1)$$

де WME_i – множина елементів робочої пам'яті БДВ;

PE – операції (додавання, видалення, модифікація і пошук) над елементами в робочій пам'яті БДВ.

Елементи робочої пам'яті БДВ можна подати у вигляді кортежу:

$$WME = \langle NE, IDE, ATE, TPE, VLE \rangle, \quad (2)$$

де NE – назва елементів БДВ;

IDE – ідентифікатор елементів БДВ;

ATE – атрибут елементів БДВ;

TPE – тип атрибута елементів БДВ;

VLE – значення атрибута елементів БДВ (кодоване значення атрибута елемента, що перебуває у відповідному кортежі).

Значення кожного атрибута повинне зберігатись в безперервних ділянках БДВ, відповідно всі операції в кортежі (сканування, фільтрація, агрегація) будуть виконуватись дуже ефективно. БЗВ в СДНВВ повинна використовуватись для зберігання довгострокових даних, що описують відповідну розглянуту область (непоточних даних), і правил, які описують раціональні перетворення даних цієї області.

Процес виявлення знань з джерел, їх перетворення в необхідну форму, а також перенесення в БЗВ буде називатись придбанням знань [16]. Для цього треба використовувати джерела знань, якими можуть бути книги, звіти, архівні документи, вміст інших баз тощо, тобто деякі об'єктивовані знання, що переведені в форму, завдяки якій, вони стають доступними для дослідника. До іншого типу знань можна віднести експертні знання, якими володіють вузько направлені фахівці, але їх фіксація відсутня у зовнішніх сховищах.

Експертні знання носять суб'єктивний і емпіричний характер. Ці знання можуть бути додані в БЗВ за допомогою спостереження.

При розробці методології придбання знань потрібно враховувати існування двох форм репрезентації знань. Перша форма відображає те, яким чином, і, за допомогою якої моделі зберігає ці знання людина-експерт. При цьому усвідомлення експерта, щодо організації його моделі знань, неповне. Друга форма пов'язана з тим, яким чином, в рамках СДНВВ, інженер знань планує ці знання представляти і описувати. Ефективність процесу придбання знань залежить від рівня адекватності та узгодженості цих двох моделей.

Загальну структурну схему СДНВВ можна подати в такому вигляді (рис. 1). Структурна схема СДНВВ передбачає заповнення таблиць БЗВ, отримання (вилучення) знань із статистичних даних по відмовах вагонів, генерування векторів параметрів БЗВ, організацію експертного опитування, навчання БЗВ.

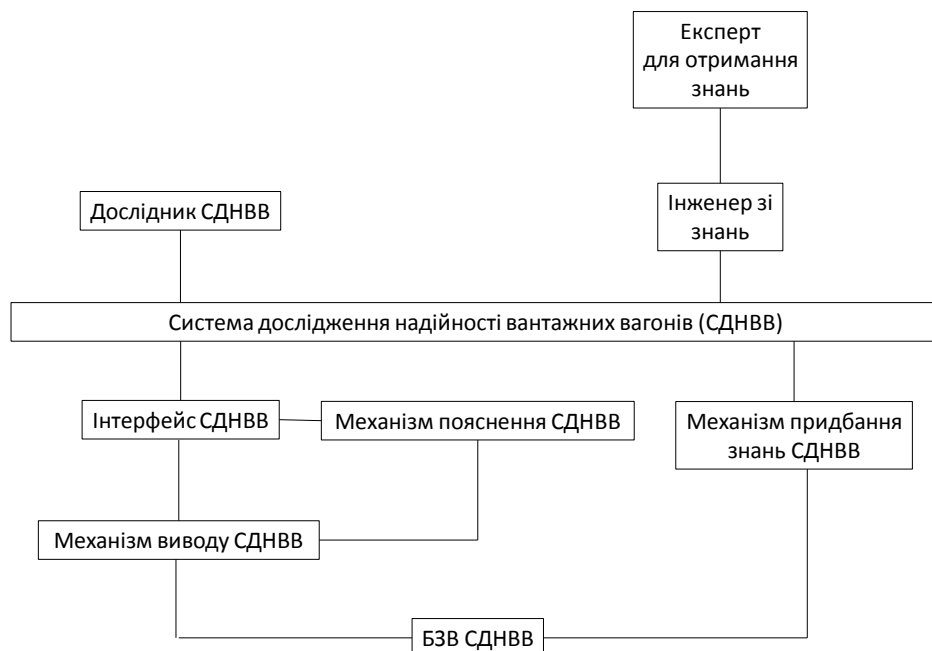


Рис. 1. Загальна структурна схема СДНВВ

Джерело: власна розробка

Для отримання необхідної інформації дослідник (конструкторський, технологічний, експлуатаційний рівні) з відповідним запитом звертається до СДНВВ, при цьому, треба повідомити відомі дані і можливі (бажані) результати, що є в наявності. У свою чергу, експертом передаються СДНВВ свої знання щодо особливості проблеми чи задачі, що досліджується, а також загальноприйняті факти і правила виводу такої інформації. У даній ситуації, інженер зі знань є посередником між експертом і СДНВВ, який допомагає першому здійснити кодування своїх знань і перевіряє роботу модифікованої СДНВВ.

Для наповнення БЗВ має бути передбачена енциклопедія, що пояснює всі існуючі терміни з використанням словникових статей з посиланнями на інші терміни. Крім цього потрібно вибудувати ієрархію понять, яка являє глобальну схему для аналізу структури знань. У процесі вибудовування структури знань необхідним етапом є визначення термінології, списку основних понять, а також встановлення їх атрибутів, відносин між поняттями, структури вхідної та вихідної інформації, стратегії прийняття рішень, обмеження стратегій тощо.

Для визначення відносин між поняттями варто використати процедурний спосіб, а для визначення відносин між складовими понять (що визначають структуру понять) – декларативний. Наявність двох моделей передбачає існування в моделях представлення знань одночасно обох компонентів, наприклад, семантичної мережі та виробничої системи [16, 17].

Процес придбання знань – найбільш складний етап розробки СДНВВ, оскільки на цьому етапі потрібно вирішувати не тільки технічні і спеціальні питання, а так само розглядати психологічні, лінгвістичні та гносеологічні аспекти проблеми. У загальному випадку процес придбання знань можна розділити на етапи, що пов'язані з:

- визначенням необхідності модифікації (розширення) знань;
- витягом (отриманням) нових знань;
- перетворенням нових знань в форму подання СДНВВ;
- модифікацією знань.

На ранніх етапах розвитку уявлень про механізми зберігання і застосування знань самі знання не відокремлюються від механізму виведення. При такому підході для створення СДНВВ необхідно детально вивчити предметну область, підібрати або спроектувати відповідну модель даних, реалізувати її і наповнити знаннями. Створена таким чином СДНВВ не зможе піднятися до рівня експерта.

У міру розвитку уявлень про знання з'явилася ідея про відділення БЗВ від механізмів виведення знань. Для створення СДНВВ такий підхід суттєво спрощує модифікацію знань і пошук, і усунення протиріч. При такому підході завдання вирішується спільно експертом і інженером зі знань, наступне завдання – інженером зі знань, і подальше (останнє) – самою СДНВВ. Зазначену СДНВВ можна визначити як систему вилучення знань.

З появою інтелектуальних редакторів і засобів формування і використання метазнань (або, інакше кажучи, метамоделей даних), експерту було дано потужний діалоговий інструмент управління БЗВ, у результаті чого навантаження на СДНВВ перерозподілились таким чином: перші два завдання можуть вирішуватись експертом (самостійно або за допомогою інженера зі знань), а наступні два завдання вирішуються самостійно.

Перспективою при наповненні СДНВВ знаннями про предметну область є моделювання процесу навчання мислячої істоти. Це можна зробити за такою схемою.

Фактичні дані з предметної області (які включають висновки експертів про відповідні зв'язки відмов вагонів, причин і наслідків) надходять на вхід СДНВВ і там, відповідним чином інтерпретуються. Це завдання може виконуватись, наприклад, індуктивною програмою. Вона і буде здійснювати отримання глибинних знань із прикладів

ситуацій та аналізу сценаріїв, і завантажувати їх в БЗВ СДНВВ. Для успішного вирішення цієї проблеми потрібно спроектувати інтегровану БЗВ, що включає як знання про предметну область потенційної СДНВВ, так і метазнання, і що, особливо важливо, знання про мови, які будуть використовуватися на етапі аналізу вхідних текстів для вилучення прикладних знань. Таку систему можна назвати системою формування (придбання) знань [16, 17].

Процес взаємодії інженера зі знань (аналітика) з експертом-фахівцем складається з трьох основних етапів:

- підготовчий етап. На цьому етапі необхідно досягти належного рівня зацікавленості експерта і аналітика в результатах своїх спільних зусиль;
- встановлення лінгвістичного альянсу. Виробляється словникова основа БЗВ СДНВВ, визначається рівень деталізації і взаємозв'язку понять;
- гносеологічний етап. З'ясовуються закономірності, притаманні предметній області, умови для достовірності та істинності тверджень, а також структурування за рахунок введення відносин. Це основний етап взаємодії.

Процес отримання (вилучення) знань починається з отримання від експерта поверхневих знань (таких, наприклад, як уявлення ознак), і поступово прямує аналітиком на формування глибинних структур і більш абстрактних понять (таких, як прототипи).

Формування БЗВ СДНВВ треба представити алгоритмом, що пов'язаний з:

- заповненням таблиць БЗВ;
- витягом (отриманням) знань із статистичних даних з відмов вагонів;
- організацією експертного опитування;
- навчанням БЗВ.

Для заповнення таблиць БЗВ СДНВВ експерт визначає основні поняття, що описують область використання конкретного вагона і можливого взаємозв'язку несправностей і відмов: окремі ознаки і їх групи; комплекси ознак для висунення гіпотез з можливих відмов; тяжкість наслідків і їх групи.

На наступному етапі експерт визначає свідoctва (симптоми) і відмови (гіпотези): змінні ознак симптомів – вхідні; змінні гіпотез – вихідні. Для оцінки таких значень використовується єдина якісна шкала: Н – низький; НС – нижче середнього; С – середній; ВС – вище середнього; В – високий. Відповідні симптоми і гіпотези відмов вагонів – нечітка множина, задана за допомогою відповідних функцій приналежності. Функції приналежності симптомів і гіпотез відмов вагонів можна відобразити у вигляді симетричних трикутних функцій, які описуються двома параметрами: (b , c),

де b – центр симптомів і гіпотез можливих відмов вагонів.

У табл. 1 наведені числові інтервали центрів симптомів і гіпотез БЗВ СДНВВ відповідно до їх оцінки значень за вербально-числовою шкалою Харрінгтона [16]. Другий параметр c задається в числовому інтервалі $[0,0; 1,0]$.

Таблиця 1. Числові інтервали центрів симптомів і гіпотез БЗВ СДНВВ відповідно до їх оцінки значень за вербально-числовою шкалою Харрінгтона

№	Найменування множини	Числовий інтервал центру симптомів і гіпотез БЗВ СДНВВ
1	Низький	$[0,0; 0,2]$
2	Нижче середнього	$[0,2; 0,37]$
3	Середній	$[0,37; 0,63]$
4	Вище середнього	$[0,63; 0,8]$
5	Високий	$[0,8; 1,0]$

Джерело: [16] та власна розробка

Для отримання (вилучення) знань із статистичних даних з відмов вагонів необхідно побудувати моделі, що описують близькість різних, одночасно спостережуваних, категоріальних характеристик і можуть бути представлені у вигляді простих правил. В даному випадку такими характеристиками є гіпотези (відмови), що спостерігаються у досліджуваних вагонах або їх свідомства (симптоми). Для реалізації даного підходу використовуються алгоритми побудови асоціативних правил, зокрема алгоритм Apriori [17].

Висновки та пропозиції. У роботі, в результаті проведених досліджень, були запропоновані основні елементи для побудови системи дослідження надійності вантажних вагонів, що включають бази даних та знань. Крім того, запропоновано структурну схему системи дослідження надійності вантажних вагонів та описані алгоритми отримання знань із статистичних даних за відмовами вагонів, що пов'язані з побудовою моделей для описання близькості різних, одночасно спостережуваних, категоріальних характеристик або представлені простими асоціативними правилами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Myamlin S.V., Baranovskiy D.M. The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing. Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету ім. ак. В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту». – 2014. № 7. – С. 61-66.
2. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: ЧНУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
3. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції / О.В. Фомін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76
4. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43.
5. Prediction methodology of durability of locomotives diesel engines / L.P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability. – 2012. – Vol. 14, № 2. – P. 154-159.
6. Experimental Investigations on Operational Reliability of Diesel Locomotives Engines / L.P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability. – 2012. – № 1. – P. 5-10.
7. Барановський Д. М. Самоорганізація структур в процесі дисипації // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 8 (39). – С. 28–30.
8. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы. Принципы разработки и программирование. – М.: Вильямс, 2007. – 1152 с.
9. Джексон П. Введение в экспертные системы. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. – 984 с.
10. Саати Т. Математические модели конфликтных ситуаций. – М.: Советское радио, 1977. – 189 с.
11. Аверин А.Н. Нечеткие множества в моделях управления искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 305 с.
12. Кофман А., Алуха Х. Хил. Введение теории нечетких множеств: управление предприятием. – Минск: Высшая школа, 1992. – 223 с.
13. Betti, G., Cheli B. and Cambini R. A statistical model for the dynamics between two fuzzy states: theory and an application to poverty analysis, Metron, 2004, 62, pp. 391-411.
14. Cerioli A., Zani S. «A Fuzzy Approach to the Measurement of Poverty», in Dagum C. and Zenga M. (eds.), Income and Wealth Distribution, Inequality and Poverty, Springer Verlag, Berlin, 1990, pp. 272-284.
15. Cheli B., Betti G. Totally Fuzzy and Relative Measures of Poverty Dynamics in an Italian Pseudo Panel. 1985-1994. Metron 57(1-2), 1999, pp.83-104.
16. Cheli B., Ghellini G., Lemmi A., Pannuzi N. «Measuring Poverty in the Countries in Transition via TFR Method: the Case of Poland in 1990-1991», Statistics in Transition, 1(5), 1994, pp. 585- 636.
17. Cheli B., Lemmi A. A 'Totally' Fuzzy and Relative Approach to the Multidimensional Analysis of Poverty, Economic Notes, 24, 1995, pp. 115-134.
18. Chen S. and Hwang C. Fuzzy Multiple Decision Making, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
19. Muradian L. Building models of freight cars refusals involving Bayesian approach // EUREKA: Physics and Engineering. – 2016. – №1. – С. 54–60.
20. Мурадян Л.А. Побудова системи дослідження надійності вантажних вагонів // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2015. – № 10. – С. 90-95.

*Leontii A. Muradian, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor Railway Cars Chair, Dnipropetrovsk National University of Rail-
way Transport named after Academician V. Lazaryan)*

THE DEVELOPMENT OF THE BASIC ELEMENTS FOR BUILDING A FREIGHT CAR RELIABILITY STUDY SYSTEM

The paper developed basic elements for the construction of the system reliability study of freight cars, including database and knowledge. At the same time it offered a block diagram of the system of freight cars and the reliability of the study described an algorithm for obtaining the knowledge of statistical data on failures of freight cars associated with the construction of models for various proximity, both observable categorical characteristics or represented by simple associative rules. For the construction of freight cars reliability study of the system involved fuzzy logic. The system of freight cars reliability studies based on knowledge of the communication fault indication and fault itself corresponding freight cars, which are formed by specialists repair and maintenance depots to be used the final confidence index at a given hypothesis a priori probabilities justice hypotheses with certain characteristics of freight cars fault. Freight car reliability study of the system contains a database of failures of freight cars and the knowledge base of refusals (hypotheses) or specific evidence (symptoms, causes) the possible occurrence of failures and their consequences (corresponding to the degree of severity). Database failures freight cars will serve the working memory system reliability study of freight cars for storing various input, output, and intermediate statistical data on failures that will be needed to solve the problem to ensure the appropriate level of design, technological and operational reliability of the freight cars. When the facts of new information updated, should be established working memory elements for each fact in the form of cortege are of fixed length. Group variable (failures and certificates), which are connected to each other, it is more convenient to store together in a cortege. The rows database table Bounce is a cortege of fixed length, content of which is carried out to establish the existence of failures of the freight cars according to the type and model that is followed by the establishment of the link between evidence (symptom) and failure (hypothesis) at a certain mileage of the freight cars.

Keywords: system reliability study, failures, freight cars.

REFERENCES

1. Myamlin, S. V., Baranovskiy, D. M. (2014). The modeling of economic efficiency of products car-riage-building plant in conditions of dynamic pricing. Zbirnik naukovix prac Dnipropetrovskogo nacionalnogo universitetu im. ak. V. Lazaryana «Problemi ekonomiki transportu» [Proceedings of Dnipropetrovsk National University. Ac. V. Lazaryan «Problems of Transport Economy»]. 2014, № 7, pp. 61-66.
2. Fomin, O.V. Koncepcija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
3. Fomin, O.V. Pidvishhennja stupenja ideal'nosti vantazhnih vagoniv ta prognozuvannja stadij ih evoljucii [Increased ideal freight cars and forecasting stages of their evolution] [Text] / O.V. Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University. – Dnepropetrovsk: NSU, 2015. – № 3. – P. 68-76 – Access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnicha-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennja-stupenja-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
4. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43.
5. Prediction methodology of durability of locomotives diesel engines / L.P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability. 2012, Vol. 14, № 2. pp. 154-159.

6. Experimental Investigations on Operational Reliability of Diesel Locomotives Engines / L.P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // *Eksplotacija i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*. 2012, № 1, pp. 5-10.
7. Baranovskij D. M. Samoorganizacija struktur v procesi disipacii [Self-organizing structures in the process of dissipation]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. 2009, № 8 (39), pp. 28-30.
8. Dzharatano Dzh., Rajli G. Ekspertnye sistemy. Principy razrabotki i programmirovaniya [Expert systems. Principles of design and programming]. Moscow, Vil'yams, 2007. 1152 p.
9. Dzhekson P. Vvedenie v ehkspertnye sistemy [Introduction to Expert Systems]. Moscow, Izd. dom «Vil'yams», 2001. 984 p.
10. Saati T. Matematicheskie modeli konfliktnykh situacij [Mathematical models of conflict situations]. Moscow, Sovetskoe radio, 1977. 189 p.
11. Averin A.N. Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya iskusstvennogo intellekta [Fuzzy sets in management models of artificial intelligence]. Moscow, Nauka, 1986. 305 p.
12. Kofman A., Aluha X. Hil. Vvedenie teorii nechetkikh mnozhestv: upravlenie predpriyatiem [Introduction to the theory of fuzzy sets: Enterprise Management]. Minsk, Vysshaya shkola, 1992. 223 p.
13. Betti, G., Cheli B. and Cambini R. A statistical model for the dynamics between two fuzzy states: theory and an application to poverty analysis, *Metron*, 2004, 62, pp. 391-411.
14. Cerioli A., Zani S. «A Fuzzy Approach to the Measurement of Poverty», in Dagum C. and Zenga M. (eds.), *Income and Wealth Distribution, Inequality and Poverty*, Springer Verlag, Berlin, 1990, pp. 272-284.
15. Cheli B., Betti G. Totally Fuzzy and Relative Measures of Poverty Dynamics in an Italian Pseudo Panel. 1985-1994. *Metron* 57(1-2), 1999, pp.83-104.
16. Cheli B., Ghellini G., Lemmi A., Pannuzi N. «Measuring Poverty in the Countries in Transition via TFR Method: the Case of Poland in 1990-1991», *Statistics in Transition*, 1(5), 1994, pp. 585- 636.
17. Cheli B., Lemmi A. A 'Totally' Fuzzy and Relative Approach to the Multidimensional Analysis of Poverty, *Economic Notes*, 24, 1995, pp. 115-134.
18. Chen S. and Hwang C. *Fuzzy Multiple Decision Making*, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
19. Muradian L. Building models of freight cars refusals involving Bayesian approach // *EUREKA: Physics and Engineering*. – 2016. – №1. – С. 54–60.
20. Muradian L. A. Pobudova sistemi doslidzhennya nadijnosti vantazhnykh vagoniv [Construction of system reliability study wagons]. *Elektromagnitna sumisnist' ta bezpeka na zaliznichnomu transporti* [Electromagnetic compatibility and safety in railway transport], 2015, № 10, pp. 90-95.

УДК 629.463.001.63

О. В. Фомін, д.т.н., доцент

(доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту)

М. І. Горбунов, д.т.н., професор

(завідувач кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет імені В. Даля)

А. А. Стецько

(старший викладач каф. «Вагони та вагонне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту)

В. В. Коваленко

(заступник директора з фінансових питань ТОВ «Нерудбудторг»)

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ В ЗАЛІЗНИЧНОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

У статті висвітлено можливості та аналіз перспектив застосування попередньо напружених несучих конструкцій в залізничному машинобудуванні, зокрема в конструкціях вантажних вагонів. Систематизовано інформацію про застосування попередньо напружених конструкцій в різних засобах машинобудування, які обиралися за критерієм схожості з блочними та базовими конструктивними виконаннями об'єктів залізничного машинобудування. Проаналізовано теоретичні та практичні особливості сучасних виконань попередньо напружених конструкцій, а також специфічні питання їх використання.

Ключові слова: рухомий склад залізниць, несучі системи, попереднє напруження, вантажні вагони.

В статье освещены возможности и анализ перспектив применения предварительно напряженных несущих конструкций в железнодорожном машиностроении, в частности в конструкциях грузовых вагонов. Систематизирована информация о применении предварительно напряженных конструкций в различных средствах машиностроения, которые избирались по критерию схожести с блочными и базовыми конструктивными исполнениями объектов железнодорожного машиностроения. Проанализированы теоретические и практические особенности современных исполнений предварительно напряженных конструкций, а также специфические вопросы их использования.

Ключевые слова: подвижной состав железных дорог, несущие системы, предварительное напряжение, грузовые вагоны.

Постановка проблеми. Глибокі науково-технічні перетворення, що відбуваються в процесі глобалізації світової економіки, супроводжуються значними темпами зростання техносфери і, зокрема, інфраструктури транспортного комплексу, як її стратегічного елементу.

© Фомін О. В., Горбунов М. І., Стецько А. А., Коваленко В. В., 2016

За оцінками фахівців залізничний транспорт є провідною складовою транспортної техносфери України, показники функціонування якої входять до вагомих умов ефективної роботи всієї економіки держави.

Реалізація «Державної Цільової Програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки», затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390, передбачає одним з першочергових своїх завдань створення техніко-технологічних передумов для підвищення ефективності роботи рухомого складу залізниць, що є обов'язковою складовою забезпечення необхідного рівня конкурентоспроможності залізничного транспорту України у світовій транспортній системі.

Серед технічних систем, які мають стратегічне значення і є критичною складовою інфраструктури залізничної галузі, важливе місце посідає рухомий склад залізниць. При цьому на сьогодні переважна більшість рухомого складу залізниць України (як і більшості інших країн СНД) припадає (за даними Головного інформаційно-обчислювального центру Укрзалізниці) на морально та фізично застарілий парк вантажних вагонів. Така ситуація свідчить про важливість спрямування науково-технічної політики держави саме на вирішення проблем покращення ефективності роботи та підвищення показників надійності вантажних вагонів. Сказане підтверджується основними завданнями, зазначеними у Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 р., яку схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1555-р. та Комплексній програмі оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 рр., яку затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 р. №1259. До того ж можна відзначити важливість розгляду таких питань і на світовому рівні, наприклад їх представленням серед основних напрямків програми Євросоюзу «Горизонт-2020».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із основних науково-технічних завдань, результати вирішення якого безпосередньо впливають на ефективність роботи вантажного вагонного парку, є розроблення нових чи модернізації вже існуючих моделей вантажних вагонів з метою зниження їх матеріалоємності [2]. При цьому перспективним методом зниження матеріалоємності (з відповідним підвищенням вантажопідйомності) вантажних вагонів є відшукування та реалізація конструктивних надлишкових запасів міцності [2], за рахунок надання їх складовим елементам оптимальних конструктивних форм та їх виконання із матеріалів з направленими властивостями при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності. Результати створення мультифункціональних конструкцій на основі реалізації такого методу доцільно оцінювати за допомогою коефіцієнта використання матеріалу. До того ж результати аналізу [1] впливу експлуатаційних факторів на конструкції несучих систем вантажних вагонів засвідчили, що одним з основних видів пошкоджень їх елементів є тріщини.

Як свідчить позитивний досвід інших галузей, пов'язаних з виготовленням металоконструкцій, одним з перспективних напрямів вирішення обох вище представлених науково-технічних завдань є використання у несучих системах машинобудування попередньо напружених конструкцій. Проте розгляд сучасного науково-технічного заділу [2] з профілю досліджуваних питань засвідчив відсутність змістовної інформації з розгляду такого завдання для вантажних вагонів. Тому дослідження, які спрямовані на розроблення методу створення попередньо напружених несучих конструкцій вантажних вагонів та їх елементів, вважаємо важливими та актуальними [3-7].

Мета статті – висвітлення можливостей та аналіз перспектив застосування попередньо напружених несучих конструкцій в залізничному машинобудуванні, зокрема в конструкціях вантажних вагонів. Основною метою розгляду та застосування такого підходу є збільшення строку життєвого циклу засобів рухомого складу залізниць, зменшення їх матеріалоємності та підвищення вантажопідйомності, покращення ре-

монтопридатності, підвищення тріщиностійкості, зменшення/повне виключення різнознакових напружень. Систематизовано інформацію про застосування попередньо напружених конструкцій в різних засобах машинобудування, які обиралися за принциповою схожістю з блочними та базовими конструктивними виконаннями об'єктів залізничного машинобудування. Проаналізовано теоретичні та практичні особливості сучасних виконань попередньо напружених конструкцій, а також специфічні питання їх використання.

Відповідно до діючої та перспективної нормативної документації при розрахунку всіх типів вагонів встановлюють два основних розрахункових режими: I та III [8].

За I розрахунковим режимом (рідке сполучення екстремальних навантажень) допустимі напруження обираються близькими до границі текучості матеріалу, що використовується, з урахуванням характеру дії навантаження і властивостей матеріалу (від 0,85 до 1,1 мінімальної межі текучості σ_T) з метою не допустити появи залишкових деформацій і руйнувань елементів та деталей вагона.

За III розрахунковим режимом (часте поєднання помірних експлуатаційних навантажень) допустимі напруження обираються, зважаючи на межі витривалості матеріалу на рівні від $0,5 \cdot \sigma_T$ до $0,65 \cdot \sigma_T$ з метою не допустити втомного руйнування вузла або деталі.

Загальні правила розрахунку несучої здатності вагонних конструкцій передбачають:

- розрахунок елементів кузова виконувати за допустимими напруженням і запасом стійкості;
- розрахунок окремих елементів рами виконувати за допустимими напруженням і запасом опору втомі.

Базовими параметрами при розрахунку і проектуванні вантажних вагонів усіх типів є:

1) допустимі напруження, величина яких з урахуванням коефіцієнтів запасу визначається межею текучості матеріалу (σ_T). Коефіцієнт запасу для металопрокату 0,9-0,95 залежно від умов експлуатації. Значення межі текучості, як і інших показників механічних властивостей матеріалу, вибираються з Додатка «Основные механические характеристики металлов, применяемых в вагоностроении» [8];

2) запас стійкості, величина якого, в тому числі, визначається межею текучості матеріалу (σ_T).

Виклад основного матеріалу дослідження. Під попереднім напруженням конструкцій розуміють різноманітні прийоми спрямованого штучного регулювання напружень (керування напружено-деформованим станом) в конструкціях для підвищення їх ефективності роботи по сприйняттю навантажень на етапах життєвого циклу. При цьому втручання в природну роботу об'єкта для спрямованої зміни його потенційної енергії деформації може відбуватися на різних етапах життєвого циклу: в процесі виготовлення, при монтажі, при експлуатації або реконструкції і на різних рівнях. Наприклад, для вантажних вагонів: в модулях, складових, вузлах або базових елементах [1, 7].

Критеріями ефективності застосування попереднього напруження в металоконструкціях можуть бути як економічні вимоги щодо зниження матеріалоемності і вартості об'єктів, так і конструктивно-технологічні (підвищення жорсткості, збереження форми елементів несучих конструкцій після впливу технологічно обумовлених факторів (наприклад, зварювання), поліпшення динамічних характеристик і т.д.). В цьому сенсі металоконструкції мають ширші можливості та більші перспективи застосування попереднього напруження, ніж залізобетонні і сталезалізобетонні, де цей прийом розвинувся, перш за все як засіб боротьби з малою міцністю бетону, при розтягуванні.

У всіх випадках на регулювання внутрішніх зусиль в конструкціях потрібні додаткові трудовитрати і залишається можливість втрати або перебудови наведеного фону

внутрішніх напружень в часі внаслідок розвитку тривалих процесів в матеріалах і зв'язках. Тому впровадження раціональних прийомів управління напружено-деформованим станом в практику створення сучасних залізничних машинобудівних конструкцій вимагає для кожної конструктивної форми розроблення відповідних теоретичних положень, методологічних основ та практичних засобів.

Цілі попереднього напруження в сталевих конструкціях [9]:

- 1) економія металу і засобів у споруджуваних конструкціях завдяки більш вигідному розподілу зовнішніх зусиль, збільшення області пружної роботи;
- 2) підвищення несучої здатності конструкцій, що знаходяться на етапі експлуатації або реконструкції в зв'язку з підвищенням навантажень;
- 3) зниження деформативності всієї конструкції або окремих її елементів, зменшення частоти або амплітуди коливань;
- 4) підвищення стійкості окремих елементів або всієї конструкції в цілому;
- 5) збільшення витривалості окремих елементів при циклічних навантаженнях за рахунок поліпшення характеристики циклу;
- 6) сприятлива зміна деяких властивостей конструкції (динамічних характеристик при динамічних і сейсмічних впливах, аеродинамічних характеристик при вітрових впливах, підвищення протидії температурним навантаженням (наприклад, морозостійкості);
- 7) забезпечення в деяких випадках зручності монтажу, і в зв'язку з цим зниження трудовитрат;
- 8) протидія виникненню негативних залишкових деформацій від технологічних факторів. Наприклад, в вантажному вагонобудуванні попередній прогин зафіксованої загальної конструкції при накладанні великих зварювальних швів: приварювання двотавра до зварених зет-подібних профілів балки хребтової напіввагонів, складальні конструкції об'язувань верхніх напіввагонів і т.д.

Ці ж цілі можуть бути досягнуті та іншими способами (збільшенням площі або зміною типу перерізу, способу з'єднання елементів і ін.), які є більш матеріально витратні. Попереднє напруження доцільне, якщо ефект, отриманий від нього, повністю окупить додаткові витрати [10]. Вибір остаточного варіанта конструкції повинен ґрунтуватися на основі техніко-економічного аналізу.

Класифікація попередньо напружених конструкцій може здійснюватися за низкою ознак (рис. 1).



Рис. 1. Класифікація попередньо напружених конструкцій

Попередньо напружені конструкції можна розділити також на дві категорії – ті, що можуть працювати і без попереднього напруження, і ті, які не можуть існувати без нього, як статично незмінні об'єкти. Це, перш за все, деякі висячі системи, щогли на відтяжках і ін. У таких конструкціях гнучкі елементи не можуть сприймати стискаючі зусилля або утворюють механізми (і миттєво змінні системи), якщо вони попередньо не розтягнуті.

За способами створення попереднього напруження всі конструкції поділяються на дві великі групи: конструкції, у яких попереднє напруження здійснюється за допомогою різних високоміцних елементів – затяжок, шпренгелів, вант тощо., і конструкції, у яких попереднє напруження здійснюється іншими способами. Більш детальна класифікація способів створення попереднього напруження наведена на рис. 2.

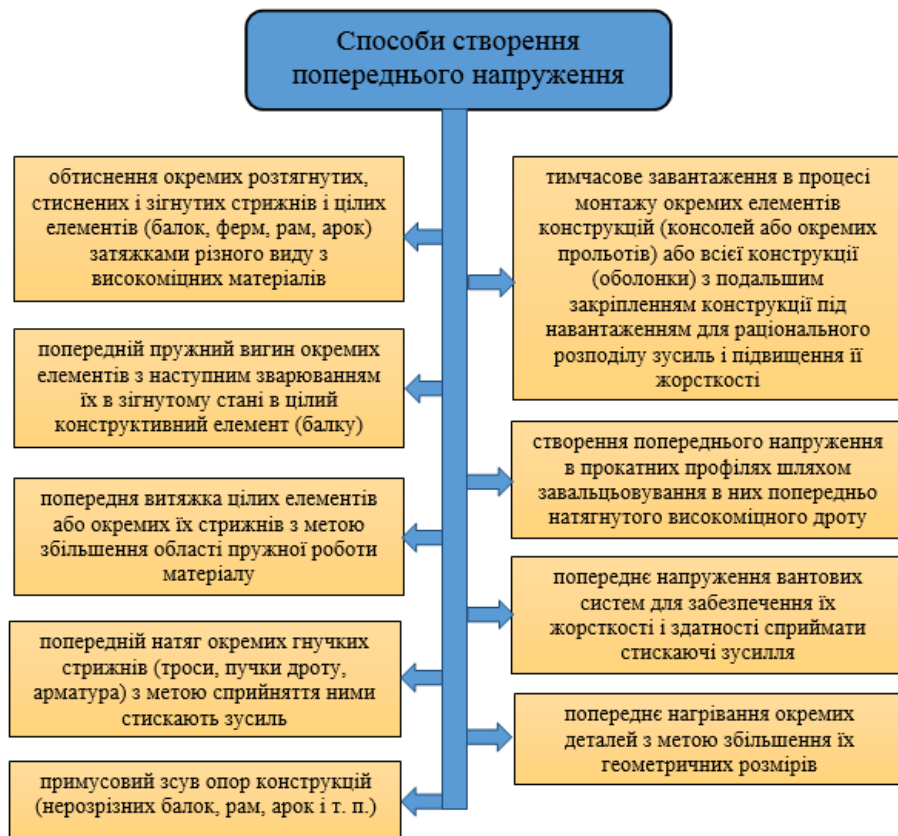


Рис. 2. Класифікація способів створення попереднього напруження

До групи конструкцій, що напружуються, за допомогою високоміцних елементів, належать:

- балки розрізні і нерозрізні з прямолінійними і ламаними попередньо напруженими затяжками і шпренгелями, як в межах висоти балки (рис. 3, а, б, в), так і поза балкою (рис. 3, г, д, е, ж);
- ферми з високоміцними попередньо напруженими елементами, що розташовуються в зоні розтягнутих поясів та інших стержнів;
- ферми з попередньо напруженими шпренгелями різного обрису, розташовані як в межах висоти, так і винесені за габарити ферми;
- покрівельні панелі, посилені шпренгельними системами;

- рами, арки, склепіння та інші системи з включенням попередньо напружених високоміцних елементів;
- балки жорсткості комбінованих систем з попередньо напруженими вантами;
- висячі двопоясні системи з натягом стабілізуючих тросів або однопоясні системи з натягом відтяжок;
- висячі системи з перехресних тросів з натягом стабілізуючих тросів;
- багатоповерхові будівлі з поверхами на попередньо напружених підвісках;
- багатоповерхові будівлі, посилені попередньо напруженими високоміцними елементами;
- щогли і опори на попередньо напружених відтяжках;
- щогли з шпренгелів;
- попередньо напружені сітчасті вежі;
- листові конструкції з навитим високоміцним попередньо напруженим дротом (або стрічками).

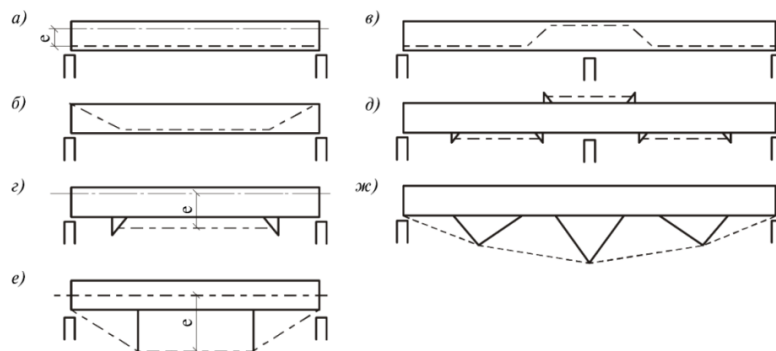


Рис. 3. Балки з попередньо напруженими затяжками і шпренгелями

До групи конструкцій, в якій використовуються інші способи попереднього напруження, належать:

- балки з попередньо вигнутими елементами;
- балки з попередньо розтягнутими тонкими стінками або одним з поясів;
- колони з попередньо розтягнутими тонкими стінками;
- нерозрізні конструкції зі зміщенням рівня опор;
- рами і арки зі зміщенням опор в горизонтальному напрямку;
- просторові структурні плити зі зміщенням рівня опор;
- системи з введеними додатковими опорами або шарнірами;
- конструкції, замикає стягуванням або розклиненням суміжних перерізів елементів;
- нерозрізні, консольні, рамні та інші конструкції з частковими навантаженням або розвантаженням;
- ферми з попередньо вигнутими стержнями;
- панелі і оболонки з натягнутими тонкими листами.

За видами дії на конструкцію розрізняють такі випадки:

- внутрішнє попереднє напруження. Рівновага всередині системи, опорні реакції не змінюються (балки та інші конструкції з затяжками шпренгелів; балки з попередньо вигнутими або розтягнутими елементами і т.п.);
- зовнішнє попереднє напруження. Рівновага внаслідок зміни реакцій (балки і інші системи зі зміною рівня опор, конструкції на відтяжках і т.п.);
- зміна статичної схеми в процесі регулювання напружень.

За матеріалами напружуючих елементів: металеві прокатні профілі, включаючи тонкі аркуші; гнучкі елементи (сталеві дрітні пучки і пасма, канати, стержнева арматура, смуги, а також стержні з склопластиків і інших спеціальних конструкційних матеріалів).

За видами роботи можливе: попереднє центральне та не центральне розтягнення; попередній центральний та нецентральний стиск; попередній вигин.

За місцем здійснення попереднього напруження: на заводі-виробнику металоконструкцій; при монтажі до підйому і установки монтажних блоків; на монтажі після підйому і установки конструкцій, включаючи одноразове і багаторазове попереднє напруження; в процесі реконструкції – на об'єкті або на спеціальному стенді при заміні на нові.

Використання попереднього напруження дозволяє знизити витрати сталі на 15-18 % (при пружній роботі) і на 19-23 % (при пружно-пластичній роботі), а також скоротити вартість на 8-14 % [12] при забезпеченні аналогічної або навіть покращенні несучої здатності.

Розглянемо способи створення попередніх напружень в сталевих конструкціях.

Найчастіше ідеєю попереднього напруження користуються при створенні штучним шляхом в конструкції, стержні або найбільш напруженому перерізі напружень зворотного знаку тим, які виникають при дії експлуатаційного навантаження. При центральному розтягуванні зворотними будуть попередні напруження центрального стиснення. Вони створюються попередньо розтягнутим елементом з високоміцного матеріалу, центр ваги якого сполучений з центром тяжіння жорсткого елемента (рис. 4, а), в якому створюються попередні напруження стиснення σ_0 . Елемент, який напружує в таких випадках називають затяжкою.

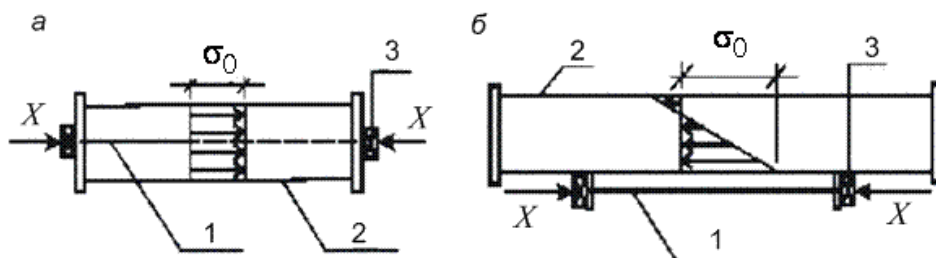


Рис. 4. Створення попередніх напружень:

а – при центральному розтягуванні; б – при згині;
1 – затяжка; 2 – жорсткий елемент; 3 – анкер

Натягування затяжки силою $X = \sigma_0 \cdot A_1$ проводиться домкратом з упором на жорсткий елемент. Закріплення затяжки в натягнутому стані здійснюється за допомогою анкерів. Прикладене зовнішнє навантаження P гасить попередні напруження σ_0 в жорсткому стержні і доводить напруги в затязці до R_2 (повне використання міцності затяжки). Нова необхідна площа перерізу жорсткого елемента

$$A^*_{*1} = \frac{P - \sigma_0 A_1 - R_{y2} A_2}{R_{y1}} < A_1, \quad (1)$$

де A_1 і R_{y1} – площа перерізу жорсткого елемента і розрахунковий опір при відсутності попереднього напруження (і затяжки);

A_2 і R_{y2} – площа перерізу і розрахунковий опір затяжки;

A^*_{*1} – необхідна площа жорсткого елемента при попередньому його напруженні.

З урахуванням того, що міцність затяжки значно вища, ніж міцність жорсткого стержня, вага попередньо напруженого елемента буде меншою, ніж виконаного без попереднього напруження. З урахуванням того, що вартість високоміцних затяжок зростає повільніше, ніж міцність, вартість матеріалів теж буде менше при попередньому напруженні. Залишилося компенсувати витрати на попереднє напружених (ускладнення технології, анкера) – і отримати економічний ефект.

При проектуванні попередньо напруженого згинального елемента попередні напруження в жорсткому елементі потрібно створювати моментом, що технологічно складно здійснити. Попередні напруження, створені затяжкою, яка розташована у нижнього пояса, складаються з двох частин – стиснення і згинання. Якщо експлуатаційне навантаження розтягує нижні волокна, то попереднім напруженням їх необхідно стиснути, і затяжку розташувати у нижнього пояса. Верхній пояс буде розтягнутим (рис. 4, б), а експлуатаційним навантаженням стиснутий – це добре.

Якщо максимальний момент від експлуатаційного навантаження діє тільки в середині прольоту, то і пристрої для кріплення анкерів розташовуються на деякій відстані від опор. Попередні напруження створюються домкратами або електротермічним способом (при використанні високоміцної стержневої арматури). Також доцільно використовувати власну статичну вагу конструкцій.

Оскільки більшою мірою затяжка розвантажує нижній пояс, вздовж якого вона розташована, то переріз жорсткого елемента виконується несиметричним, з більш розвиненим верхнім поясом. Це покращує загальну стійкість балки.

Чим більша відстань від центру ваги жорсткого елемента до центра ваги затяжки, тим ефективніше вона працює – створює більший момент, що напружує жорсткий елемент. Але це ускладнює закріплення затяжки по кінцях і зв'язку затяжки з нижнім поясом по довжині балки, тому така конструкція застосовується рідко.

Затяжки можуть бути прямолінійними і криволінійними, одногілковими і двогілковими – відповідно до епюр моментів від експлуатаційного навантаження [10].

Якщо попередні напруження в елементі створюються ступенями (багатоступеневе попереднє напруження) після прикладання до балки експлуатаційного навантаження по частинам, то ефективність попереднього напруження підвищується.

При створенні попереднього напруження затяжкою економія виходить пропорційною масі матеріалу, тоді як додаткові витрати (трудомісткість, встановлення анкерів) змінюються повільніше. Це створює передумови для більшого зниження питомої вартості в великих конструкціях (з ростом їх маси) [10, 11] і зменшення міцності сталі жорсткого елемента.

Іншою часто використовуваною ідеєю при створенні попередніх напружень є ідея зворотного вигину – створення попередніх деформацій зворотного напрямку в порівнянні з напрямком деформацій від експлуатаційного навантаження. Вона може бути використана при посиленні прокатного двутавра смугами з високоміцної сталі (бістальна балка). В цьому випадку двома розташованими у країв елемента парами сил (моментами, рис. 5) в середній частині жорсткого елемента при відсутності зв'язків між двотавром і смугами створюється вигин. Епюра напружень в двотаврі наведена на рис. 5, а, напруження в смугах з високоміцної сталі поза врахуванням через їхню малу згинальну жорсткість. Після цього проводиться зварювання смуг з двотаврів, і знімаються зовнішні сили (моменти), які створили попередні напруження в бістальній балці (рис. 5, б). Після прикладання експлуатаційного навантаження (моментів або сил зворотного знака) обидва матеріали бістальної балки працюють з повним використанням їх міцності (рис. 5, в).

У нерозрізних балках постійного перерізу (прокатних двотаврів) вирівнювання моментів в прольотах і на опорах може бути здійснене шляхом зміщення опор (рис. 6). При цьому до епюри моментів від експлуатаційного навантаження додається епюра

моментів від зсуву опор. Цей спосіб попереднього напруження вимагає мінімальних витрат [10]. Розглянемо двопрогінну нерозрізну балку, завантажену в середині кожного прольоту зовнішньою силою P . Різниця між опорним і прогінним моментами складе $|M|_{on} - M_{np}$. Для вирівнювання моментів опорний момент необхідно зменшити на $\Delta = \frac{2}{3} |M|_{on} - M_{np}$. При цьому прогінні моменти збільшаться на $\frac{1}{3} |M|_{on} - M_{np}$, тобто відбудеться вирівнювання моментів (рис. 6).

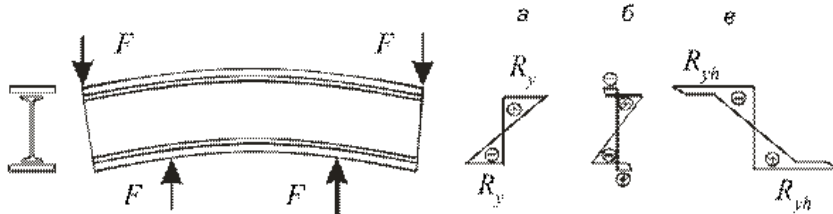


Рис. 5. Схема зміни напружень в балці при використанні методу зворотного вигину

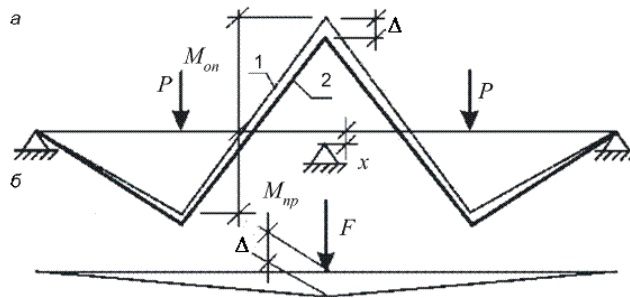


Рис. 6. Вирівнювання моментів в нерозрізній балці зміщенням (зниженням) опори:

а – статична схема вихідної балки; б – вирівнюваний момент;
1 – епюра моментів в нерозрізній балки; 2 – вирівняна епюра моментів

Вирівнюваний момент буде створений силою F при зміщенні балки на опору, опущену на величину x . Вирівняні моменти будуть менші максимального в початковій статичній схемі M_{on} . Це дозволить зменшити розмір перерізу двотавра, витрату сталі і вартість конструкції.

Приклади використання. Попереднє напруження може використовуватися в вертикальних і горизонтальних сталевих циліндричних резервуарах. Створюється воно навіванням з натягом високоміцного дроту, пасм з нього або високоміцної смуги по спіралі на циліндричну поверхню резервуара (рис. 7). Стінки їх сприймають гідростатичний тиск рідини і внутрішній (надлишковий) тиск парів над вільною її поверхнею. При цьому стінки вертикальних резервуарів відчувають кільцеві напруження розтягу, що збільшуються в міру віддалення по вертикалі від вільної поверхні рідини, а також вертикальні напруження, але вплив цього компонента напружень на міцність резервуара невелика [10].

Найчастіше попереднє стиснення виконується в найбільш завантаженій тиском зоні стінки вертикальних циліндричних резервуарів, при цьому стінка стискається. Вичерпання несучої здатності настає одночасно в матеріалі стінки і високоміцній навівці. За

рахунок попереднього напруження можна зменшити до конструктивного мінімуму товщину стінок в нижній зоні. Зі зменшенням тиску і кільцевих напружень крок напружуючих витків високоміцного матеріалу може збільшуватися. Попередні напруження стінки покращують її місцеву стійкість.

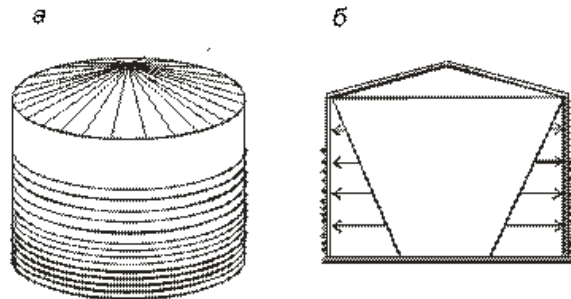


Рис. 7. Попередньо напружений сталевий резервуар:

а – схема попередньо напруженої кільцевої арматури, б – тиск рідини на стінки резервуара

Таким же чином (спіральним навиванням високоміцного матеріалу) здійснюється попереднє напруження високонапірних сталевих трубопроводів та інших технологічних ємностей циліндричної форми, які перебувають під тиском.

Гнучкі стержні, що працюють на центральний стиск і виконані часто з труби, можна посилити, створивши проміжні опори за допомогою чотиристоронніх попередньо напружених шпренгелів (рис. 8), що забезпечують просторову жорсткість. Розпірки шпренгеля забезпечують центральному стержню просторові пружно-податливі опори, перешкоджають вільному горизонтальному переміщенню центрального стержня. Маючи достатню згинальну жорсткість, жорстко з'єднані з центрально-стисненим стержнем і нерухомо прикріплені до елементів шпренгелів розпірки при повороті перерізів центрального стержня (втрата стійкості) створюють протимоменти. Все це дозволяє зменшити переріз центрального стержня, скоротити витрату матеріалу і вартість.

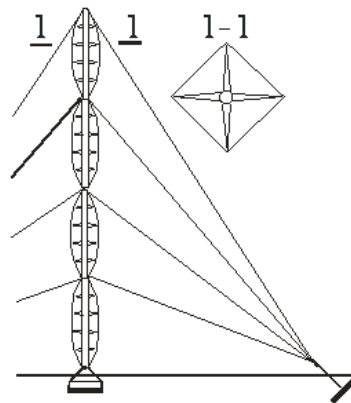


Рис. 8. Багатоярусна щогла з попередньо напружених шпренгелів

Найбільш старими попередньо напруженими шпренгельними конструкціями з полігональними затяжками є використовувані і в даний час шпренгельні балки залізничних вагонів (рис. 9).

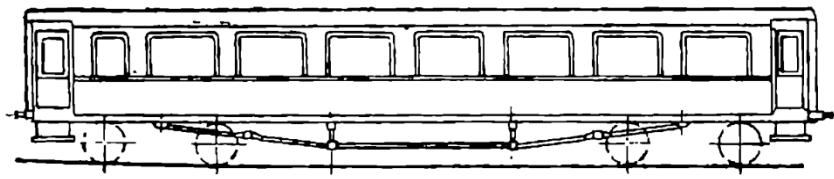


Рис. 9. Застосування шпрингельної конструкції в залізничному вагоні

Розглянемо попередньо напружені центрально розтягнуті стержні. Перерізи жорсткої частини попередньо напружених центрально-розтягнутих стержнів часто повторюють конструкцію центрально-стиснутих сталевих колон (рис. 10), тому що в стадії стиснення вони такими і є. Часто це два двотаври або швелера, з'єднані планками, зварний двотавр або прокат типу Ш або К, можливе використання і труби. По кінцях – упорної плити, через які попереднє напруження передається на жорстку частину, підкріплені ребрами жорсткості. З певним кроком ставляться діафрагми, обрізки труб або ребра жорсткості, якими фіксується стан затяжки в перерізі і скорочується розрахункова довжина жорсткої частини при роботі її на стиснення (рис. 10).

Затяжка виконуються з однієї, двох або чотирьох гілок, при цьому центр ваги затяжки повинен збігатися з центром тяжіння жорсткої частини стержня [13].

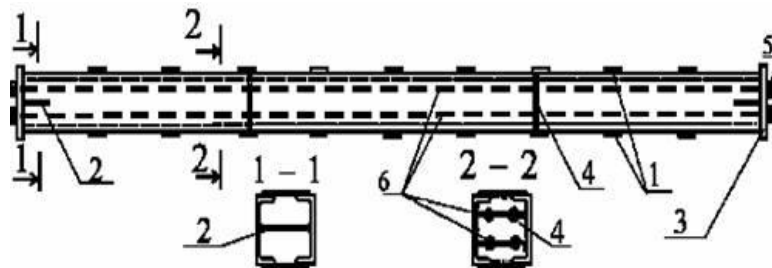


Рис. 10. Центрально-розтягнутий стержень, попередньо напружений затяжкою:

1 – планки; 2 – ребро; 3 – упорна плита; 4 – діафрагма; 5 – анкер; 6 – стержні

Для оптимального перерізу міцність жорсткого стержня і затяжки під зовнішньою силою P повинна виконуватися повністю, тобто [13]

$$P = R_{y1}A_1 + R_{y2}A_2, \quad (2)$$

де R_{y1}, R_{y2} – розрахунковий опір жорсткого стержня і затяжки;

A_1, A_2 – площі перерізів жорсткого стержня і затяжки відповідно;

σ_{01}, σ_{02} – попередні напруження в жорсткому стержні і затяжці.

Враховуючи силу P , можна визначити по збільшенню напружень і відповідним площам

$$P = \sigma_{01} + R_{y1} A_1 + R_{y2} - \sigma_{02} A_2. \quad (3)$$

Виходячи з рівності деформацій жорсткого стержня і затяжки під зусиллям попереднього напруження P

$$\frac{\sigma_{01} + R_{y1}}{E_1} l = \frac{R_{y2} - \sigma_{02}}{E_2} l \text{ позначимо } \frac{R_{y2} - \sigma_{02}}{\sigma_{01} + R_{y1}} = \frac{E_2}{E_1} = m. \quad (4)$$

Позначивши $k = R_{y2} / R_{y1}$ розв'язуємо спільно два рівняння, знайдемо необхідні площі перерізів

$$A_1 = P \frac{k - m \left(\frac{\sigma_{01}}{R_{y1}} + 1 \right)}{\left(\frac{\sigma_{01}}{R_{y1}} + 1 \right) k - m} \quad \text{і} \quad A_2 = P \frac{\frac{\sigma_{01}}{R_{y1}}}{\left(\frac{\sigma_{01}}{R_{y1}} + 1 \right) k - m}. \quad (5)$$

Для підбору перерізів необхідно задатися співвідношенням $\sigma_{01} / R_{y1} \leq 1$, але найбільш доцільно прийняти 1.

Однак у зв'язку з можливими втратами попереднього напруження і можливим перевищенням контрольованого зусилля слід зменшити на 5-6 %. Більш детальний перелік втрат попереднього напруження наводиться в [9].

Величина m в сталевих конструкціях змінюється від 0,8 до 1 і слабо впливає на площу перерізів. Застосування більш міцного матеріалу затяжки підвищує ефективність попереднього напруження. При призначенні перерізів слід враховувати стандарти і технічні умови на матеріали, що використовуються.

За отриманими результатами підбирають переріз жорсткого стержня і затяжки. Перевірка міцності попередньо напруженого стержня виконується за формулами:

$$\sigma_1 = \frac{PE_1}{A_2E_2 + A_1E_1} - \sigma_{02}\gamma_2 \leq R_{y1}, \quad (6)$$

$$\sigma_2 = \frac{PE_2}{A_2E_2 + A_1E_1} + \sigma_{01}\gamma_1 \leq R_{y2}, \quad (7)$$

де σ_{01}, σ_{02} – напруження в жорсткому стержні і затяжці;
 γ_1, γ_2 – коефіцієнти точності натягу.

При надійному контролі зусилля попереднього напруження обидва вони рівні 1. При контролюванні зусилля попереднього напруження непрямыми методами $\gamma_1=1,1$ враховує можливість завищення зусилля попереднього напруження, $\gamma_2=0,9$ враховує можливість його заниження.

Після створення попередніх напружень зусилля в затяжці може знизитися за рахунок релаксації напружень в ній (непружні деформації затяжки), деформації анкерів та інших причин [9]. Компенсують ці втрати, зазвичай підвищуючи контрольовані зусилля в затяжці до величини

$$X_{con} = \frac{X}{0,95} + \Delta_a \frac{A_2E_2}{l_2}, \quad (8)$$

де X – зусилля попереднього напруження затяжки $X = \sigma_{01} \cdot A_1$;
 l_2 – довжина затяжки між анкерами;

Δ_a – податливість анкерів, при закріпленні затяжки гайками або клиноподібними пробками $\Delta_a=1$ мм, при застосуванні анкерів з прокладками $\Delta_a=2$ мм;

0,95 – коефіцієнт релаксації напружень для високоміцного дроту, пучків з нього і канатів, в інших випадках він дорівнює 1.

Після передачі зусилля попереднього напруження на жорсткий стержень він виявляється центрально-стислим. Перевірка його стійкості виконується за формулою Ейлера

$$X\gamma_1 \leq \frac{n+1}{l^2} \pi^2 E_1 I_{\min}, \quad (9)$$

де n – кількість діафрагм;

l – найбільша відстань між ними;

$I_{\min}$ – мінімальний момент інерції жорсткого стержня.

Анкери попередньо напружених балок. Анкери призначені для утримання затяжки в натягнутому стані аж до руйнівного зусилля. Натягування затяжок здійснюється механічним, електротермічним і електротермомеханічним способами [12].

Для натягу механічним способом застосовують гідравлічні і гвинтові домкрати, намотувальні машини та ін.

Суть електротермічного способу натягування полягає в тому, що стержні або дріт, з обмежувачами на кінцях, встановлюють на певній відстані один від одного, розігрівають струмом до 300-350 °С, в результаті чого вона подовжується. Нагріті стержні укладають таким чином, щоб обмежувачі виявилися заведеними за упори. Вони перешкоджають вкорочення стержнів при охолодженні, завдяки чому в стержнях виникають задані напруження розтягу.

Електротермомеханічний спосіб натягу – це поєднання електротермічного і механічного способів.

Закріплення затяжок в натягнутому стані виконується сталевими підкладками, гайками або нерухомими упорами.

По конструкції існують різні анкерні системи.

Різьбові системи (рис. 11). Застосовуються при виконанні затяжки з високоміцного стержня. Включають кінцевий елемент з різьбою зі сталі звичайної або підвищеної міцності, шайби для розподілу обтиску на необхідну площу і гайку. Труднощі використання полягають в необхідності виконання зварного стику з міцністю високоміцного стержня.

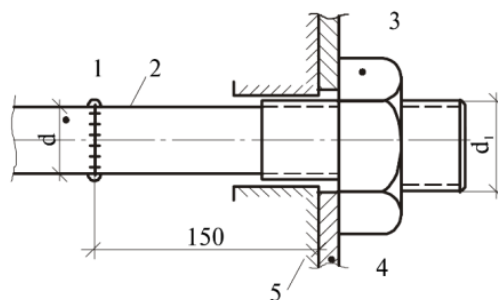


Рис. 11. Різьбовий анкер:

1 – зварний стик, 2 – кінцевий елемент; 3 – гайка; 4 – шайба; 5 – упорна плита

Опресовані системи. Являють собою циліндричні гільзи з пластичної сталі, опресовані на негладкій поверхні затяжки. Застосовуються на високоміцних арматурних стержнях з періодичною поверхнею (рис. 12, а) і пасмах з високоміцного дроту (рис. 12, б).

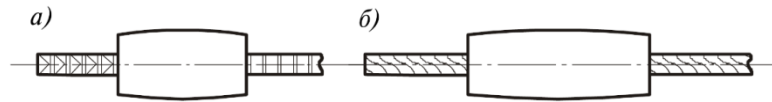


Рис. 12. Опресовані анкери

Петельні системи. Затяжка створюється шляхом безперервного намотування високоміцного дроту на упори криволінійного обрису, змонтовані на жорсткій частині напруженої конструкції. Одна з упор рухома (рис. 13), переміщенням її за допомогою домкрата створюється натяг затяжки. Після створення натягу рухомий упор кріпиться до жорсткої частини конструкції на зварюванні або болтах.

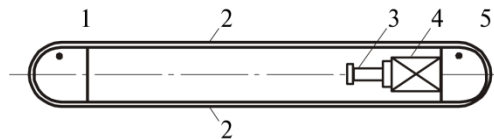


Рис. 13. Петельний анкер:

1 – нерухомий упор; 2 – петельна затяжка; 3 – упор для домкрата;
4 – домкрат; 5 – рухомий упор

Конічні клинові системи. Анкер складається зі сталеві циліндричної колодки з конічним гніздом і сталеві конічної пробки (рис. 14). На конічній поверхні пробка має нарізку для кращого зчеплення з високоміцної дротом. Дріт розташовується по контуру отвору, розклинюються пробкою і утворюють кільцевий пучок.

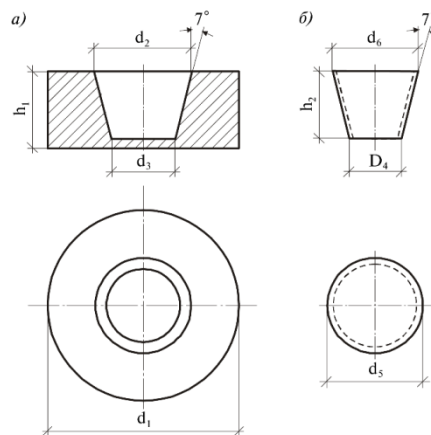


Рис. 14. Конічний клиновий анкер:

1 – колодка; 2 – конічна пробка

Анкери склянкового типу використовуються для закріплення в натягнутому стані сталевих канатів і щільних круглих пучків високоміцного дроту. Закріплення каната

або пучка в склянці здійснюється забиванням сталевих клинів (рис. 15, а) або заливкою легкоплавким сплавом (рис. 15, б). Закріплення анкерів в натягнутому стані здійснюється сталевими прокладками або згвинчуванням гайок з зовнішньої різьби склянок.

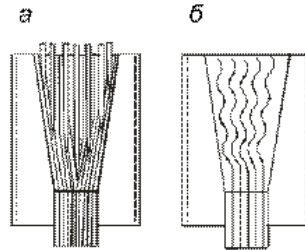


Рис. 15. Анкери скляного типу з закріпленням затяжки:

а – сталевими клинами; б – легкоплавким сплавом

Висновки та пропозиції. Подані в статті приклади застосування попередньо напружених конструкцій в загальному машинобудуванні свідчать про їх економічну ефективність та відчутно позитивний вплив на конструктивно-технологічні якості відповідних об'єктів. До таких позитивних результатів належать: збільшення строку життєвого циклу досліджуваних засобів, зменшення їх матеріалоємності та підвищення вантажопідйомності, покращення ремонтпридатності, підвищення тріщиностійкості, зменшення/повне виключення різнознакових напружень. Однак такий підхід не знайшов гідного впровадження у конструкціях залізничного машинобудування, зокрема вагонобудуванні. Проте попереднє напруження може бути ефективно використане як при проектуванні нових, так і при різноплановому удосконаленні існуючих конструкцій вагонів.

В конструкціях рухомого складу та зокрема вантажних вагонах доцільно впроваджувати попередньо напружені блоки та елементи. При цьому ефективно реалізувати сказане можливо лише на основі наукового обґрунтування структури та параметрів відповідних технічних рішень.

На сьогоднішній день колективом авторів проводяться науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи у досліджуваному напрямку. Так, вже розроблено низку математичних моделей та технічних рішень з ефективного впровадження попередньо напружених конструкцій до складу екіпажних та несучих модулів рухомого складу, подано та отримано ряд патентів на винаходи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін, О.В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва: монографія / О.В. Фомін. – Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 251с.
2. Фомін, О.В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія / О.В. Фомін. – К.: ДЕТУТ, 2014. – 299 с.
3. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції / О.В. Фомін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – № 3. – С. 68-76. – Режим доступу: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>
4. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4 (193). – С. 267–271.

5. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43. [<http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf>].
6. Фомін, О.В. Визначення перспективних напрямків проектування несучих систем у вантажному вагонобудуванні/ О.В. Фомін// Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків. –№ 3/7(57), 2012. – С. 32-35 – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3\(7\)_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
7. Фомін, О.В. Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів/ О.В. Фомін, А.В. Гостра // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2015. – Вип. 26-27. – С. 137-147.
8. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) с изменениями и дополнениями. – ГосНИИВ – ВНИИЖТ. – Москва, 1996.
9. Металлические конструкции: справ. проектировщика. В 3 т. Т. 1. Общая часть / под общ. ред. В.В. Кузнецова. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 576 с.
10. Металлические конструкции. Специальный курс: учеб. пособие для вузов / Е.И. Беленя и др.]; под ред. Е.И. Беленя. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 685 с.
11. Гайдаров, Ю.В. Предварительно напряженные металлические конструкции / Ю.В. Гайдаров. – Л.: Стройиздат, 1971. – 144 с.
12. Михайлов, В.В. Предварительно напряженные комбинированные и вантовые конструкции / В.В. Михайлов. – М.: АСВ, 2002. – 256 с.
13. Ткаченко, О.А. Основы проектирования металлических конструкций: курс лекций. В 3 ч. Ч. 1. / О.А. Ткаченко. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2004. – 116 с.

Alexei Fomin, Doctor of Science (Technical Sciences)
(Associate Professor, Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)
Nikolay Gorbunov, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor
(Professor, Railway Transport Chair, East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl)
Anton Stetsko
(Senior Lecturer, Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)
Vjacheslav Kovalenko
(Deputy Chief Financial Officer TOV «Nerudbudtorg»)

RESEARCH OPPORTUNITIES OF PRESTRESSED STRUCTURES IN RAILWAY ENGINEERING

In the article the analysis of the opportunities and prospects of prestressed bearing structures in railway engineering, including the construction of freight cars. Systematized information on the use of prestressed structures in different engineering vehicles that are elected by the criterion of similarity to the basic block and a design of railway engineering objects. Theoretical and practical features modern designs prestressed structures, as well as specific issues of their use.

Keywords: railway rolling stock, bearing systems, prestress, freight cars.

REFERENCES

1. Fomin, O.V. Optimizacijne proektuvannja elementiv kuzoviv zaliznichnih napivvagoniv ta organizacija ih virobnictva [Optimization design elements ry gondola bodies and organization of production]: Monograph / O.V. Fomin. – Donetsk: DonIZT UkrDAZT, 2013. – 251 p.
2. Fomin, O.V. Doslidzhennja defektiv ta poshkodzen' nesuchih sistem zaliznichnih napivvagoniv [Investigation of defects and damage bearing systems ry gondola]: Monograph / O.V. Fomin. – Kyiv: DETUT, 2014. – 299 p.

3. Fomin, O.V. Pidvishhennja stupenja ideal'nosti vantazhnikh vagoniv ta prognozuvannya stadij ih evoljucii [Increased ideal freight cars and forecasting stages of their evolution] [Text] / O.V Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University. – Dnepropetrovsk: NSU, 2015. – №3. – P. 68-76 – Access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennja-stupenja-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
4. Fomin, O.V. Koncepcija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
5. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43. [<http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf>].
6. Fomin, O.V. Viznachennja perspektivnih naprjamiv proektuvannya nesuchih sistem u vantazhnomu vagonobuduvanni [Definition of perspective directions of designing of bearing systems in the cargo car building] / O.V. Fomin // Eastern European Journal of advanced technologies. – Kharkiv. -№ 3/7 (57), 2012. – S. 32-35 – Access: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3\(7\)_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
7. Fomin, O.V. Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnikh vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gostra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series «Transport systems and technologies.» – Kyiv: DETUT, 2015. – Vyp.26-27. – S.137-147.
8. Normy rascheta i proektirovanija vagonov zheleznyh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh) s izmenenijami i dopolnenijami [Norms calculating and designing railways carriages IPS gage railway 1520 mm (nesamohodnyh) s Changes and additions]. – HosNYVV – VNYZZHT. Moscow, 1996.
9. Metallicheskie konstrukcii: sprav. proektirovshhika [The metal constructions: interior. proektyrovschyka]. In 3 t. T. 1. General part / Pod Society. Ed. V.V. Kuznetsova. – M.: Publishing House of the DIA, 1998. – 576 p.
10. Metallicheskie konstrukcii. Special'nyj kurs [The metal constructions. Special course]: Textbook. posobyje for Universities / E.I. Belenja and other] ed. E.I. Belenja. – 3rd ed., Rev. and add. – Moscow: Stroiizdat, 1991. – 685 p.
11. Haydarov, Y.V. Predvaritel'no naprjazhennye metallicheskie konstrukcii [Preliminary tension metal constructions] / Y.V. Haydarov. – SP: Stroiizdat, 1971. – 144 p.
12. Mikhailov, V.V. Predvaritel'no naprjazhennye kombinirovannye i vantovye konstrukcii [Combined preliminary tension and cable-stayed constructions] / V.V. Mikhailov. – M: ASV, 2002. – 256 p.
13. Tkachenko, A.A. Osnovy proektirovanija metallicheskih konstrukcij [Fundamentals of Designing metallis structures]: Lectures. At 3 hours. Part 1. / A.A. Tkachenko. – Khabarovsk: Publishing House DVHUPS, 2004. – 116 p.

УДК 629.463.001.63

О. В. Бурлуцький

(завідувач навчальними лабораторіями кафедри «Механіка і проектування машин», Український державний університет залізничного транспорту)

О. В. Фомін, д.т.н., доцент

(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту)

В. П. Ткаченко, д.т.н., професор

(професор кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту)

ФОРМАЛІЗАЦІЯ СТРУКТУРНО-РЕЧОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В НЕСУЧИХ СИСТЕМАХ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ У РЕЗУЛЬТАТІ ТЕРМІЧНИХ ВПЛИВІВ У ПРОЦЕСІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ І ПРАВОЧНИХ РОБІТ

Високі швидкості і збільшені навантаження диктують підвищені технічні вимоги не тільки до міцності ходових частин, а й до несучих систем вагона. З метою забезпечення міцності несучих систем, відповідно до нормативної документації, хребтові балки піддають механічній або термічній правці. Термічна правка місцевих деформацій полягає в тому, що після місцевого нагріву листа в металі виникають пластичні деформації «укорочення», які прибирають «зайвий» метал. Ефективність термічної правки залежить від великої кількості параметрів, що є основною проблемою виконання цієї технологічної операції. Один із шляхів вирішення цієї проблеми – оптимізація параметрів нагріву, кількості і розташування плям нагрівання на основі математичного моделювання процесу термічної правки для кожної деформованої ділянки.

Ключові слова: вантажні вагони, несучі системи, хребтова балка, залишкові напруження, зварювальні шви.

Высокие скорости и увеличенные нагрузки диктуют повышенные технические требования не только к прочностным характеристикам ходовых частей, но и к несущим системам вагона. С целью обеспечения прочности несущих систем, соответствующей нормативной документации, хребтовые балки подвергают механической или термической правке. Термическая правка местных деформаций заключается в том, что после местного нагрева листа в металле возникают пластические деформации «укорочения», которые убирают «лишний» металл. Эффективность термической правки зависит от большого количества параметров, что является основной проблемой выполнения этой технологической операции. Один из путей решения этой проблемы — оптимизация параметров нагрева, количества и расположения пятен нагрева на основе математического моделирования процесса термической правки для каждого деформированного участка.

© Бурлуцький О. В., Фомін О. В., Ткаченко В. П., 2016

Ключевые слова: грузовые вагоны, несущие системы, хребтовая балка, остаточные напряжения, сварочные швы.

Постановка проблеми дослідження. Високі швидкості і збільшені навантаження диктують підвищені технічні вимоги не тільки до міцності ходових частин, а й до несучих систем вагона [1-4, 7]. З метою забезпечення міцності несучих систем, відповідно до нормативної документації, хребтові балки піддають механічній або термічній правці [10-15]. Узагальнюючи наявні літературні дані, можна стверджувати, що на сьогоднішній день низьковуглецеві високоміцні сталі являють собою клас перспективних матеріалів, що широко використовуються. До них, перш за все, належать сталі 09Г2 для виготовлення верхньої обв'язки вагонів, хребтових балок, двотаврів і інших деталей вагонобудування [5, 6, 9], а також для будівництва важко навантажених зварних конструкцій відповідального призначення, експлуатація яких ведеться в складних кліматичних умовах [8].

Необхідність отримання в таких сталях високої міцності поряд з високою ударною в'язкістю і опором крихкому руйнуванню обумовлює все зростаючий інтерес до застосування для їх зміцнення замість термічної обробки різних варіантів термомеханічної, що поєднує в собі гарячу деформацію і фазове перетворення.

Аналіз літературних даних свідчить, що до теперішнього часу накопичений великий експериментальний матеріал про закономірності фазових і структурних перетворень в сталях подібного класу.

Відомо, що умови аустенітизації визначають кінетику перетворень переохолодженого аустеніту в низько- і середньовуглецевих сталях. Перші дослідження впливу температури аустенітизації на кінетику перетворення переохолодженого аустеніту, так само, як і попередньої деформації, проводилися на середньовуглецевих і вуглецевих сталях ще в 70-х роках минулого століття. Для вивчення даного явища зразки сталей аустенітизували, потім охолоджували до температури прокатки, здійснювали прокат з певним ступенем обтиску, після чого вивчали кінетику ізотермічного перетворення аустеніту.

Підвищення температури аустенітизації впливає на кінетику перетворення як недеформованого, так і деформованого аустеніту, оскільки з підвищенням температури аустенітизації підвищується ступінь досконалості решітки аустеніту за рахунок усунення дефектів кристалічної будови. Таким чином, чим вище температура аустенітизації, тим більше відрізняється за кількістю дефектів, а, отже, і щодо кінетики, деформований аустеніт від недеформованого. При цьому зниження температури аустенітизації чинить такий самий якісний вплив на кінетику перетворення аустеніту, як і попередня деформація, тобто зменшує стійкість аустеніту.

Мета статті та викладення основного матеріалу. Метою статті є формалізований опис структурно-речових перетворень в несучих системах вантажних вагонів у результаті термічних впливів у процесі зварювальних і правочних робіт. Також в роботі наведено математичні залежності, що характеризують відповідні структурні стани.

На прикладі сталі 09Г2 з мікродобавками було доведено, що підвищення температури аустенітизації приводить до значного збільшення стійкості переохолодженого аустеніту, проте мікродобавки сильних карбідоутворювальних елементів сприяють зниженню стійкості аустеніту внаслідок подрібнення зерна. Разом з тим, при підвищенні температури аустенітизації до температур, що забезпечують перехід ванадію і значної частки ніобію в твердий розчин, спостерігається істотне підвищення стійкості аустеніту в результаті гальмування дифузійних процесів.

Крім того, було встановлено, що при температурах аустенітизації в інтервалі (900-1000) °С зі збільшенням тривалості витримки на початку відбувається зниження швидкості бейнітного перетворення, а потім її підвищення, однак при високих температу-

рах аустенізації (1100-1200) °С зі збільшенням часу витримки відбувається тільки підвищення швидкості перетворення. Такий характер зміни швидкості перетворення пов'язаний з двома факторами, що діють в протилежних напрямках. З одного боку – розчинення карбідів і підвищення легування аустеніту збільшує його стійкість в бейнітній області, а з іншого – збільшення розмірів аустенітного зерна і вдосконалення його внутрізерної будови сприяє протіканню кооперативних процесів $\gamma \rightarrow \alpha$ -переходу при бейнітному перетворенні.

Сучасні дослідження також не залишають це питання без уваги, оскільки відомо, що структура, яка формується в сталі, значною мірою визначається станом вихідного аустенітного зерна. Так, в роботі встановлено, що підвищення температури аустенізації з 1000 °С до 1200 °С призводить до зростання зерна аустеніту від 40 до 90 мкм, а подальша гаряча пластична деформація сталей з вихідним великим зерном призводить до підвищення стабільності аустеніту в порівнянні з дрібним деформованим зерном. Підвищення температури аустенізації призводить до того, що придушується перлітне перетворення і розширюється область існування бейніта, в основному за рахунок сильного зниження температури закінчення бейнітного перетворення.

Підвищений комплекс механічних властивостей сталі типу 09Г2, може бути досягнутий при формуванні певної морфології бейніта (що складається з разорієнтованих фрагментів α -фази). З літературних даних відомо, що морфологія кінцевої структури сталі (навіть той, що має один і той самий хімічний склад), може значно змінюватися залежно від умов протікання $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворення. Актуально це і для низьковуглецевих низьколегованих сталей, в яких розвиток бейнітного перетворення відбувається при високих температурах, коли можливий перерозподіл не тільки вуглецю, але й інших легуючих елементів. Це дозволяє прогнозувати, що навіть при ізотермічному $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворенні в таких сталях можуть існувати різноманітні морфологічні форми бейніта, які по-різному впливають на рівень механічних властивостей сталі.

Згідно з термодинамічною діаграмою утворення бейнітної структури в такій сталі відбувається в температурному інтервалі (600-450) °С. Температура початку і закінчення утворення бейніта знаходиться вище в порівнянні з традиційними конструкційними сталями, в яких бейнітне перетворення розвивається в температурному інтервалі (550-450) °С.

Режим обробки даної сталі був підібраний з урахуванням особливостей температурного інтервалу бейнітного перетворення, і являв собою: нагрів до температури 900° С, витримку 5 хв., охолодження до температур 600° С, 550° С, 500° С, витримку 30 хв., охолодження зі швидкістю 70° С/с. (рис. 1).

Результати металографічних досліджень структури сталі типу 09Г2С після $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворення в ізотермічних умовах при температурах (600-450) °С подані на рис. 2

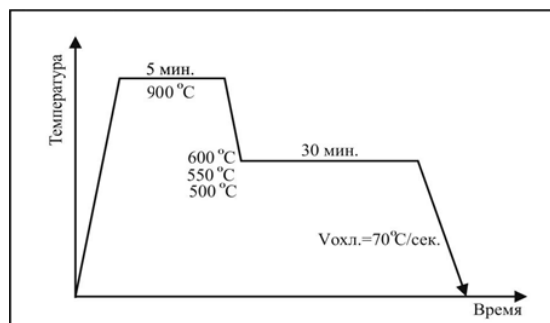
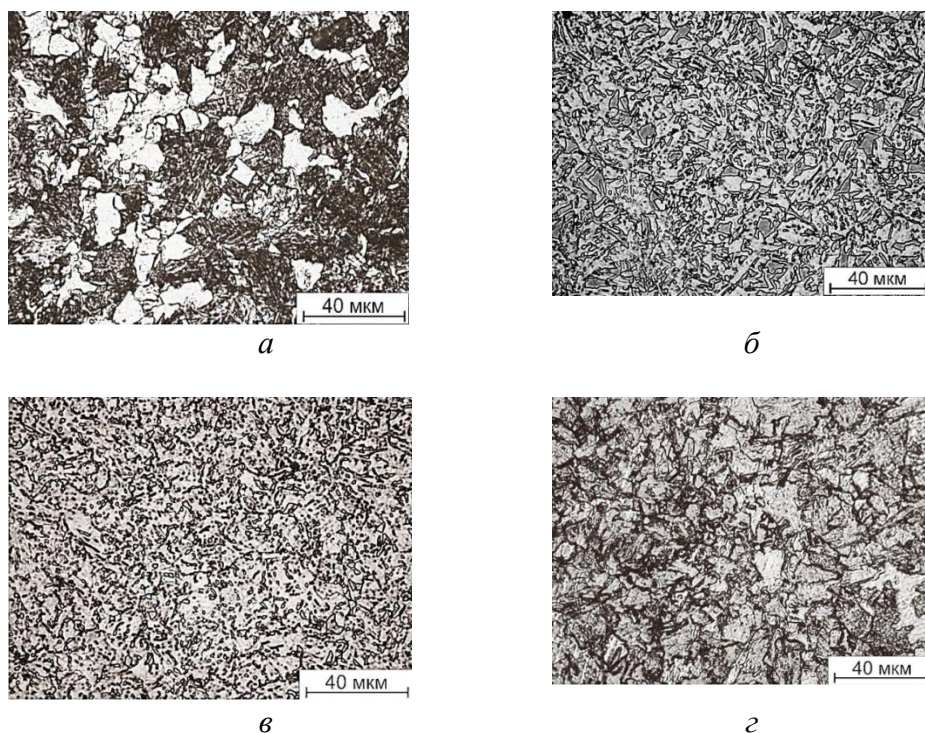


Рис. 1. Схема обробки сталі типу 09Г2С в дилатометрі для вивчення ізотермічного $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворення



**Рис. 2. Мікроструктура зразків сталі типу 09Г2С, які були піддані ізотермічному розпаду при температурах:
а – 650 °С; б – 600 °С; в – 550 °С; г – 500 °С**

Металографічні дослідження свідчать, що ізотермічне перетворення при температурі 600 °С призводить до формування двох структурних складових – глобулярної світлої і темної, що сильно трієть мартенсітоподібну, яка складається з кристалів голчастої форми (рис. 2, а). Аналіз світлої складової при великому збільшенні показав, що вона, безсумнівно, є ферит, однак не є однорідною, а складається з зерен фериту з малою щільністю дислокацій і рівними межами без видимих виділень всередині зерен, а також з фериту зі звивистими межами, званого мезоферитом.

Електронно-мікроскопічне дослідження мікроструктури сталі, яка зазнала ізотермічний $\gamma \rightarrow \alpha$ -розпад при температурі 600 °С, свідчить, що після перетворення структура складається з поліедричного фериту з високою щільністю дислокацій (рис. 3, а) і бейніта з явно вираженою рейковою будовою (рис. 3, б).

Ділянка бейнітної структури, що не володіє рейковою будовою, наведена на рис. 3, в, г. На електроннограмі, знятої з такої ділянки, присутні дві феритні решітки з осями зон: $[001] \alpha_1$ і $[135] \alpha_2$, а також спостерігається решітка аустеніту $[001] \gamma$. Рефлекси на електроннограмі характеризуються сильним азимутним розмиванням, що побічно вказує на наявність в структурі значних напруг (рис. 3, д, е). Між ферритом і аустенітом виконуються орієнтаційні співвідношення Бейна $(001) \gamma \parallel (110) \alpha$.

Виявлений в структурі рейковий бейніт є згруповані в пакети єдино спрямовані рейки α -фази, ширина рейок становить 0,1-0,5 мкм (рис. 3, б). Пакетна будова бейнітної α -фази є відмінною ознакою нижнього бейніта або мартенситу низьковуглецевих конструкційних сталей.

Дослідження довели, що в структурі поряд з ділянками рейкового бейніта спостерігаються широкі кристали α -фази, в яких присутні дрібні частинки пластинчастої форми (рис. 3, ж, з). За допомогою темнопольного аналізу було встановлено, що ці виді-

лення всередині кристала є цементитом, темнопольне зображення структури, отримане в рефлексії цементиту (102) Fe_3C , наведено на рис. 3, з. Наявність частинок цементиту в α -фазі бейніта є результатом самовідпуску бейнітних (або мартенситних) кристалів, що відбувається при охолодженні, і обумовлює підвищене травлення темної складової структури, виявлене при металографічному дослідженні.

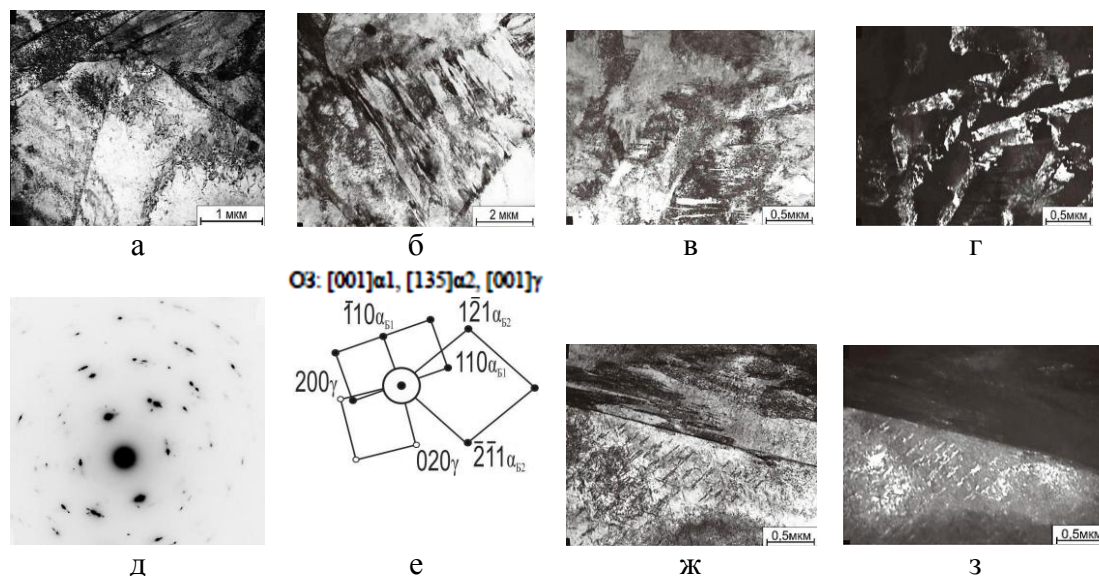


Рис. 3. Мікроструктура зразка сталі типу 09Г2С, який був підданий ізотермічному розпаду при температурі 600 °С:

а – полігональний ферит; **б** – рейковий бейніт; **в** – нереечний бейніт;
г – темнопольне зображення в рефлексії фериту (110) α_1 ; **д** – електроннограма з ділянки «в»;
е – схема її розшифровки; **ж** – бейніт самовідпуску;
з – темнопольне зображення в рефлексії (102) Fe_3C цементиту

Пакетна будова α -фази, виділення цементиту всередині широких кристалів α -фази, наявність залишкового аустеніту в структурі є характерними ознаками розвитку бейнітного перетворення при низьких температурах. Утворення продуктів низькотемпературного бейнітного перетворення в процесі ізотермічного розпаду при такій високій температурі (600 °С) є несподіваним експериментальним фактом, що вимагає пояснень. Безсумнівно, за 30 хв. витримки при 600 °С не відбувається повного $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворення, деяка частина аустеніту відчуває перетворення при більш низькій температурі, тобто при охолодженні. Додаткові досліди показали, що навіть після ізотермічної витримки протягом 5 год. зберігається 20-30% неперетвореного аустеніту, який при охолодженні зазнає бейнітне перетворення при низьких температурах.

При зменшенні концентрації вуглецю максимальна швидкість утворення бейніта зростає і одночасно підвищується верхня температурна межа p бейніта B_H . Звідси був зроблений висновок, що в сплавах заліза при зменшенні вмісту вуглецю до нуля у легованих сталей температура B_H повинна збігтися з мартенситною точкою безвуглецевої основи сплаву, а бейнітне перетворення – перейти в мартенситне. По суті, для низьковуглецевих низьколегованих сталей стираються відмінності між бейнітом і мартенситом.

Зниження температури ізотермічного перетворення аустеніту до 550 °С призводить до формування структури, яка є рівномірною сумішшю більш темних і світлих ділянок невеликих розмірів неправильної форми (рис. 2, б). Металографічні дослідження при гранично

можливих збільшеннях свідчать, що світлі області мають рельєф, пов'язаний з вираженою внутрішньою фрагментарною будовою бейнітного фериту.

Виявлено, що приблизно 50% структури займають ділянки бейніта з субзеренною будовою – кристали α -фази розділені на фрагменти, які дезорієнтують один одного на кут $5-7^\circ$ (рис. 4, а). Інша половина структури має типово рейковий характер (рис. 4, б), на кордонах рейок присутні тонкі прошарки залишкового аустеніту (рис. 4, в). Ділянки бейніта з субзеренною будовою перемежуються з ділянками рейкової будови.

Суміш обох морфологічних типів бейніта при металографічному спостереженні не виявляє голчастої будови і часто в літературі позначається як зернистий бейніт або гранулярний бейніт. Вказують, що така форма бейніта характерна більшою мірою для безперервного охолодження, а при ізотермічних умовах зустрічається вкрай рідко. Її утворення пов'язане з тим, що в ході ізотермічного $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворення відбувається флуктуаційний перерозподіл вуглецю і легуючих елементів між α - і γ - фазами. При утворенні перших порцій α -фази відбувається відтискування вуглецю в аустеніт, який при ізотермічній витримці перетворюється в так звану МА (мартенситно-аустенітну)-складову, що є продуктом перетворення збагаченого вуглецем аустеніту. Таке розташування аустеніту (у вигляді тонких прошарків в МА-складовій) має позитивно позначатися на рівні механічних властивостей сталі.

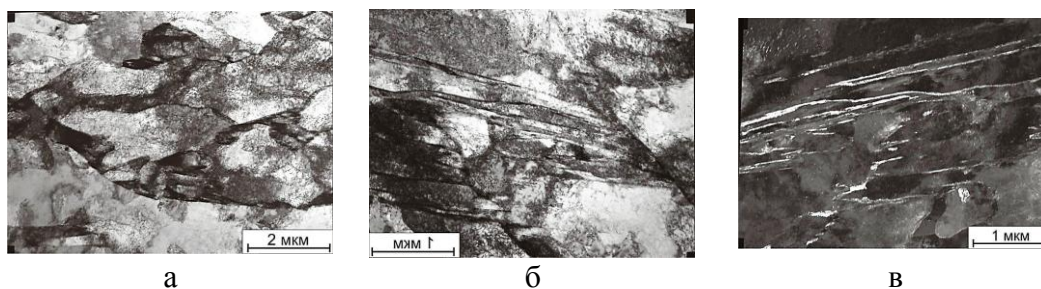


Рис. 4. Мікроструктура зразка сталі типу 09Г2С, який був підданий ізотермічному розпаду при температурі 550°C :

а – бейніт з субзеренною структурою; **б** – рейковий бейніт; **в** – залишковий аустеніт на кордонах рейок, темнопольного зображення в рефлексі аустеніту (200) γ

Після перетворення при температурі 500°C бейніт зернистої морфології є основним типом структури (рис. 2, в). Дослідження тонкої структури виявили, що бейніт зернистої морфології насправді являє собою суміш декількох морфологічних складових. Так, наприклад, в структурі присутні ділянки фериту поліедричної форми з високою щільністю дислокацій (рис. 5, а), на кордонах яких видно прошарок залишкового аустеніту (рис. 5, б). Утворилася також незначна частка голчастого фериту (рис. 5, в). Однак основним морфологічним типом є бейніт з субзеренною будовою (рис. 5, г). Розміри фрагментів різні, проте не перевищують $0,5\text{ мкм}$, а кут їх дезорієнтації один одного становить $5-7^\circ$. Грунтуючись на літературних даних і результатах раніше проведених досліджень можна стверджувати, що переважання в структурі сталі бейніта з розвиненою субзеренною будовою позитивно впливає на комплекс механічних властивостей досліджуваної сталі.

Після ізотермічного перетворення при 500°C мікроструктура сталі складається з неоднорідних травяних зерен неправильної форми з внутрішньою голчастою будовою і дуже викривленими межами, на яких присутні виділення карбідів (рис. 2, г).

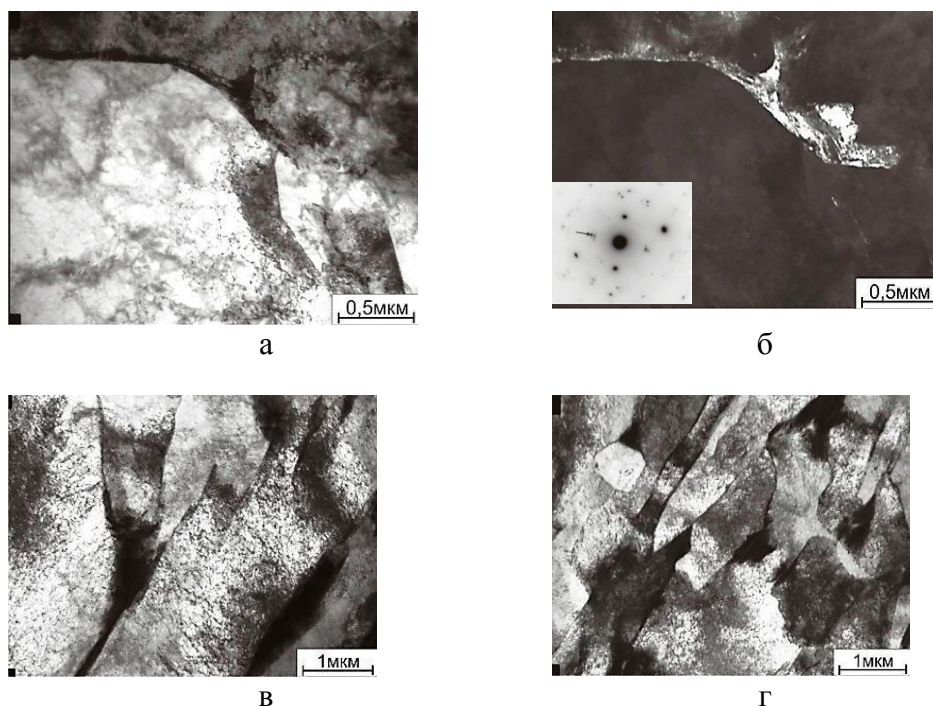


Рис. 5. Мікроструктура зразка сталі типу 09Г2, підданого ізотермічному розпаду при температурі 500 °С:

а – ферит з високою щільністю дислокацій; **б** – залишковий аустеніт, темнопольного зображення в рефлексі аустеніту (200) γ ;
в – голчастий (бейнітний) ферит; **г** – бейніт з субзеренною будовою

Спостереження методом просвічуальної електронної мікроскопії дозволили встановити, що ізотермічні перетворення при 500 °С дійсно призводять до утворення рейкової структури (рис. 6, а). Усередині рейок присутні частки спеціальних карбідів, що декокують дислокації. Ширина рейок становить 0,3-0,8 мкм, щільність дислокацій надзвичайно висока, близька до щільності дислокацій в мартенситі. Крім рейкових кристалів α -фази, присутні і кристали α -фази неправильної форми (рис. 6, б), що розташовуються один щодо одного під гострими і тупими кутами. На кордонах α -кристалів можна спостерігати частинки цементиту розміром 50-100 нм, як це характерно для верхнього бейніта. Розміри кристалів α -фази в кілька разів більше (від 0,8 до 1,5 мкм), ніж в бейніті з субзеренною будовою, в якому вони складають від 0,2 до 0,3 мкм.

Здійснення $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворення в області температур, близьких до 500°С, призводить до формування структури з великими кристалами α -фази і частинками цементиту на їхніх кордонах, що, знижує ударну в'язкість сталі.

Таким чином, можна стверджувати, що найбільш дисперсна структура бейніта формується при ізотермічному розпаді аустеніту в інтервалі температур (550-500) °С.

Розглянемо внутрішні зусилля і деформації при нагріванні краю хребтової балки. Питанням дослідження напруг і деформацій при нагріванні краю хребтової балки присвячено багато робіт, проте характер розподілу залишкових напружень по поперечному перерізу хребтової балки мало вивчений. Що ж стосується розрахунку залишкових внутрішніх зусиль і прогину хребтової балки, то він проводився або суто орієнтовно, або ж експериментальним шляхом для даного випадку нагрівання, або шляхом дуже громіздких обчислень, що ускладнювало їх практичне застосування. Розроблені методи визначення зони активних напруг при зварюванні значно полегшили виконання розрахунку залишкових напружень та деформацій при зварювальному нагріванні.

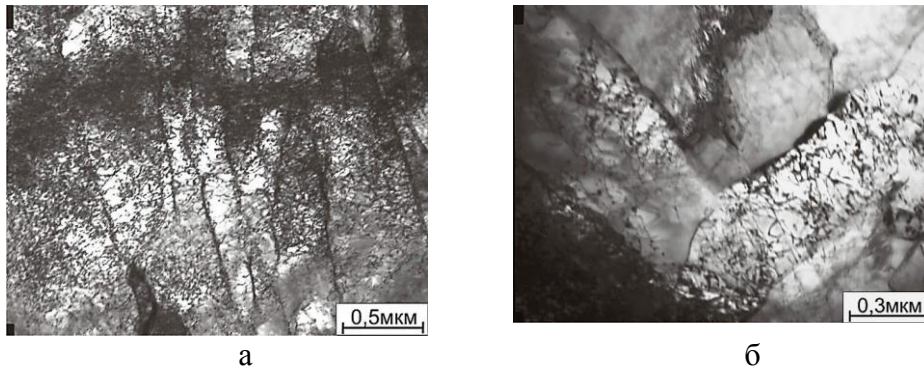


Рис. 6. Мікроструктура зразка сталі типу 09Г2С, який був підданий ізотермічного розпаду при температурі 500° С:

а – рейковий бейніт; **б** – ділянки фериту неправильної форми з виділеннями карбідів

Розрахунок залишкових внутрішніх зусиль і прогину хребтової балки при нагріванні її краю або при вогневому різанні є відносно простим випадком в порівнянні з розрахунком цих самих величин в зварних з'єднаннях і конструкціях. Однак розгляд цього випадку є надзвичайно важливим, тому що пластина, у якій нагрівається один край, є основним елементом при виготовленні зварних з'єднань і конструкцій.

При нагріванні на кромку хребтової балки розподіл температури по перетину 1 – 1 (рис. 7, а) буде вкрай нерівномірний. У момент, коли температура в самому верхньому, найбільш нагрітому волокні перетину 1 – 1, досягне 600 °С, нагріті волокна хребтової балки, прагнучи збільшити свою довжину відповідно підвищенню температури, виявляться стисненими. Балка зігнеться з опуклістю з боку нагрітої кромки (рис. 7, а) і перетин 1 – 1 повернеться в положення 1 – 1.

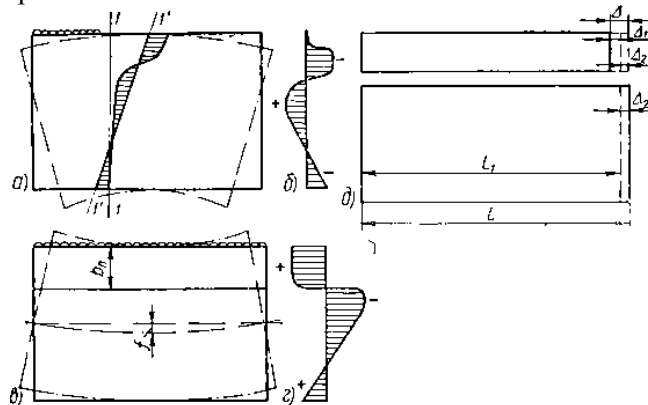


Рис. 7. Напруження і деформації листів сталі хребтової балки при нагріванні:

а – тимчасові деформації і напруги в вільній від закріплення пластині на початку наплавлення;

б – епюра тимчасових напруг в поперечних перетинах пластин в хребтовій балці в процесі нагрівання крайки; **в** – залишковий прогин хребтової балки після охолодження; **г** – випрямлені смуги після розрізу хребтової балки прикордонної активної зони

В наступний момент, коли рухливе джерело тепла перетинає перетин 1 – 1, крайні волокна верхньої кромки хребтової балки нагріваються до розплавлення, а сусідні з ними ділянки хребтової балки нагріваються тільки до пластичного стану. У прилеглих до них ділянках хребтової балки температура стане вище, ніж в попередній момент нагріву, тому перетин стислих ділянок хребтової балки збільшиться. У верхніх волокнах нагрітої кромки хребтової балки, з огляду на їх пластичний стан, напруги спадуть

до нуля, а область волокон з напруженнями стиску переміститься на ділянку хребтової балки, де температура нижче 600 °С. Прилеглі до стиснених волокон менш нагріті ділянки хребтової балки будуть розтягнуті, а крайні волокна нижньої кромки хребтової балки виявляться стисненими через явище вигину (приблизний розподіл напружень в перерізі хребтової балки в цей момент нагріву зображено на рис. 7, б). Потім почнеться вирівнювання температури в перерізі хребтової балки, тобто процес охолодження. Напружений стан цього перетину буде поступово зменшуватися доти, доки нагріті до високих температур волокна не перейдуть з пластичного стану в пружне, тобто температура їх стане нижче 600 °С, а напруження стиску в пружно-пластичній області знизяться до нуля. У цей момент напружений стан в перерізі хребтової балки буде найменшим або може навіть зовсім відсутнім, а характер розподілу температури по цьому перетину хребтової балки в даний період охолодження наближається до прямолинійної закономірності. Прогин хребтової балки буде поступово зменшуватися.

При подальшому охолодженні розглянутого перетину хребтової балки волокна, що піддавалися пластичного стиску, не можуть вільно скорочуватися з огляду на взаємозв'язок їх з іншими ділянками хребтової балки. Ці волокна, після повного вирівнювання температури в перерізі хребтової балки, виявляться розтягнутими. Пластина зігнеться в зворотний бік, як зображено пунктиром на рис. 7, в (розподіл залишкових напружень в перетинах хребтової балки зображено на рис. 7, г). У волокнах хребтової балки, що піддавалися пластичного стиску в процесі зварювального нагрівання, збережуться залишкові напруги розтягнення, зазвичай рівні межі текучості металу σ_T . Крім того, в процесі охолодження в цих волокнах протікають деформації пластичного подовження при пружно-пластичному стані металу.

Така зміна напруг і деформацій відбувається в кожному перетині хребтової балки при нагріванні на її кромку. Величина області b_n , в якій після вирівнювання температури залишаться напруги розтягнення, залежить, головним чином, від потужності джерела тепла, швидкості його переміщення і ширини хребтової балки h . При великій швидкості нагріву вільної хребтової балки форма вигину в процесі нагрівання матиме вигляд, зображений пунктиром на рис. 7, а. Після охолодження пластина набере вигляду, поданого на рис. 7, в.

Якщо вигнуту пластину розрізати по лінії, яка відділяє зону залишкових активних напружень розтягу від іншої частини хребтової балки, як дано на рис. 7, д, то обидві смуги прийдуть у випрямлений стан, і напруги в них зникнуть. При цьому нижня смуга прийме початкові розміри l (які були у неї до нагрівання), а верхня (зона активних напруг b_n) стане коротшою на величину

$$b_n = b_1 + b_2 = \frac{\sigma_T}{E} l_1 + \frac{\sigma_2}{E} l_1, \quad (1)$$

де l_1 – довжина цієї смуги в хребтової балці після охолодження;

σ_2 – величина залишкової реактивної напруги осевого стиснення хребтової балки.

Якщо нагрівати кінець хребтової балки тривалим за часом джерелом тепла, що переміщається з малою швидкістю, то зміна прогину в охолоджених і нагрітих ділянках хребтової балки матиме хвилястий характер (рис. 8, а). Після повного охолодження всієї хребтової балки розподіл залишкових напружень і вид прогину будуть такими самими, як і в коротких пластинах (рис. 8, б).

З наведеної схеми утворення напруженого стану хребтової балки при нагріванні на її кромку видно, що при однакових умовах нагрівання та охолодження кожного перетину пластини, розподіл напружень і вигинальний момент від внутрішніх зусиль у всіх поперечних перетинах хребтової балки можна вважати однаковими. На поверхнях кінців нагрітого краю хребтової балки, через відсутність дії зовнішніх сил, нормальні напруження дорівнюють нулю, тому там існують дотичні напруження τ . Розподіл но-

рмальних напружень σ і дотичних τ по довжині нагрітого краю хребтової балки подано на рис. 9.

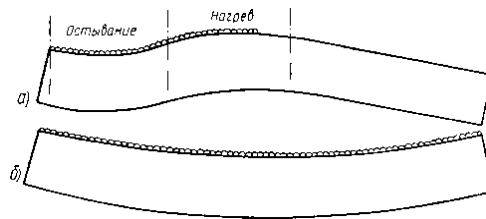


Рис. 8. Зміна прогину вільної від закріплення довгою хребтової балки при нагріванні на її кромку:

a – зміна прогину хребтової балки в процесі наплавлення валика на її кромку;
б – залишковий прогин хребтової балки після повного охолодження

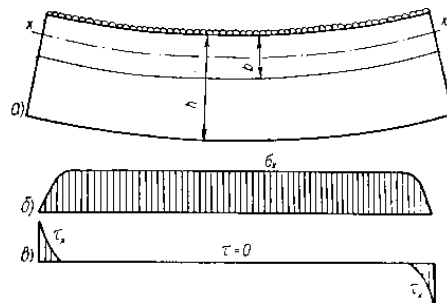


Рис. 9. Розподіл залишкових напружень по довжині кромки хребтової балки після наплавлення валика:

a – прогин хребтової балки після наплавлення валика на її кромку;
б – епюра розподілу нормальних напружень у волокнах активної зони b_n по лінії $x - \lambda$;
в – епюра розподілу дотичних напружень у волокнах активної зони b_n по лінії $x - x$

Таким чином, при нагріванні краю хребтової балки, з огляду на нерівномірний розподіл температури по її перетину, виникають внутрішні зусилля, які викликають у волокнах деформації вздовж осі хребтової балки (подовження або вкорочення) і явище вигину. Для наближеного визначення величини залишкових активних внутрішніх осьових зусиль і прогину хребтової балки приймемо такі припущення:

- 1) в момент, коли прогин хребтової балки в процесі охолодження змінює свій знак, тобто пластина приходить в випрямлений стан, накладемо на неї умовні бічні обмеження, які протидіють поперечному вигину, але не перешкоджають зміні розмірів уздовж осі хребтової балки (рис. 10, а);
- 2) вважаємо, що залишкові напруги розтягнення по перетину розрахункової зони активних напруг b_n розподілені рівномірно;
- 3) зберігаємо умовно гіпотезу плоских перетинів при деформації хребтової балки.

Прийняті допущення є спрощеними передумовами і, природно, накладають на процес деякі умовні обмеження, однак вони допомагають наочніше уявити дискретність досліджуваного явища, створюють більш чітке уявлення про закономірності утворення залишкових внутрішніх зусиль і деформацій і полегшують методику їх розрахунку.

За наявності умовних бічних обмежень (рис. 10, а) явище вигину хребтової балки відсутнє, і залишкові напруги від осьового дії внутрішніх зусиль розподіляються по перетину

хребтової балки, як подано на рис. 10, б. Причому в активній зоні b_n залишкові напруги розтягнення досягають межі текучості σ_T , якщо ширина зони $b_n \leq 0,5h$

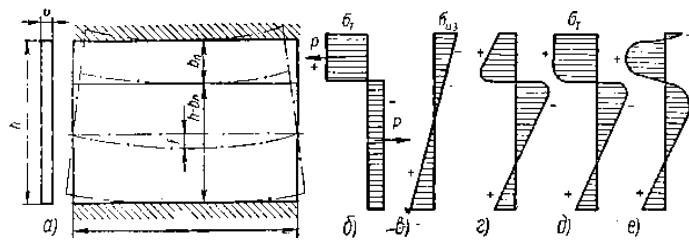


Рис. 10. Напруження і деформації при нагріванні краю закріпленої хребтової балки з подальшим звільненням від закріплень:

a – сталева пластина з умовними бічними обмеженнями; *б* – епюра залишкових напружень від осевого дії внутрішніх зусиль при наявності бічних обмежень; *в* – епюра напружень від вигину хребтової балки від дії внутрішніх зусиль після звільнення її від бічних обмежень; *г* – епюра результуючих залишкових напруг після зняття бічних обмежень; *д* – епюра результуючих залишкових напруг при нагріванні краю хребтової балки, вільної від бічних обмежень; *е* – епюра залишкових напружень при інтенсивному охолодженні нагрітої кромки вільної хребтової балки

Величина залишкового активного внутрішнього осевого зусилля P в нашому випадку буде

$$P = \sigma_T b_n \delta \quad (2)$$

За умовою рівноваги внутрішніх осевих зусиль (рис. 10, б) отримаємо

$$P = \sigma_T b_n \delta = \sigma_2 (h - b_n) \delta \quad (3)$$

Реактивна напруга осевого стиснення визначається за формулою

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_T b_n}{h - b_n} \quad (4)$$

Момент від дії пари осевих внутрішніх зусиль буде

$$M = \frac{Ph}{2} \quad (5)$$

Якщо звільнимо пластини хребтової балки від умовних бічних обмежень, то вона зігнеться від дії моменту пари внутрішніх осевих зусиль, як подано пунктиром на рис. 10, а, і залишковий прогин визначається за відомою формулою

$$f = \frac{Ml^2}{8EJ} = \frac{Phl^2}{16EJ} \frac{3\sigma_T b_n l^2}{4Eh^2} \quad (6)$$

або

$$f = \frac{3\sigma_2 (h - b_n) l^2}{4Eh^2} \quad (6,a)$$

Напруги від вигину (рис. 10, в) визначаються за формулою

$$\sigma_{uz} = \frac{M}{W} = \frac{6Ph}{2\sigma h^2} = \frac{3\sigma_T b_n}{h} \quad (7)$$

Результуючі залишкові напруги в кожному волокні хребтової балки рівні алгебраїчній сумі напруг від осевої і згинальної дії внутрішніх зусиль. Епюра результуючих залишкових напруг при припущенні, що балка остигала з наявністю бічних обмежень, подана на рис. 10, д. Насправді, при нагріванні на кромку вільної хребтової балки і по-

дальшому її охолодженні, залишкові напруги і прогин хребтової балки накопичуються поступово, і залишкові напруги розтягнення в усіх волокнах активної зони b_n дорівнюватимуть межі текучості σ_T , як подано на рис. 10, д. Можливі випадки, коли зовнішні шари нагрітої кромки хребтової балки, через інтенсивність процесу охолодження, перейдуть в пружний стан значно раніше, ніж серединні шари, тоді залишкові напруги розтягнення в цих волокнах будуть менше межі текучості σ_T , а іноді навіть можуть перейти в напруги стиснення, як подано на рис. 10, е. Слід зауважити, що при великій ширині зони активних напруг b_n верхні волокна кромки можуть виявитися стиснутими через явище вигину хребтової балки.

Зі збільшенням зони b_n залишкове активне внутрішнє зусилля P , вигинає момент пари внутрішніх зусиль M і прогин пластини f буде збільшуватися. Найбільших значень ці величини досягнуть при значенні зони активних напруг $b_n = 0,5h$. Остаточний прогин пластини при цьому значенні зони активних напруг буде найбільший і за формулою (6) дорівнює

$$f = \frac{3\sigma_T h l^2}{8Eh^2} = \frac{3\sigma_T l^2}{8Eh^2} \quad (8)$$

де h – ширина хребтової балки;

l – довжина хребтової балки.

При значеннях зони активних напруг $b_n > 0,5h$ залишкові напруги розтягнення в цій зоні будуть менше межі текучості σ_T , оскільки реактивний опір іншої частини хребтової балки через зменшення її поперечного перерізу буде падати.

Графік зміни залишкового прогину хребтової балки при нагріванні на її кромку, залежно від величини відношення $\frac{b_n}{h}$ подано на рис. 11.

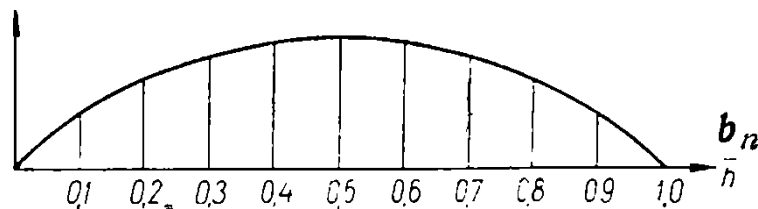


Рис. 11. Зміна прогину хребтової балки f при нагріванні на її кромку залежно від ставлення активної зони b_n до ширини хребтової балки h

Викладемо схему розрахунку залишкового прогину хребтової балки при нагріванні на її кромку за умовним початковим зусиллям P_0 . З цією метою представимо умовно такий стан, коли в активній зоні b_n (рис. 12, а) існують напруги $\sigma_0 = \sigma_T + \sigma_2$, а волокна решти хребтової балки вільні від напружень (рис. 12, б). Умовне початкове зусилля визначаємо за формулою

$$P_0 = \sigma_0 b_n \delta = (\sigma_T + \sigma_2) b_n \delta \quad (9)$$

де σ_2 — реактивна напруга осевого стиснення, знайдене за формулою (3).

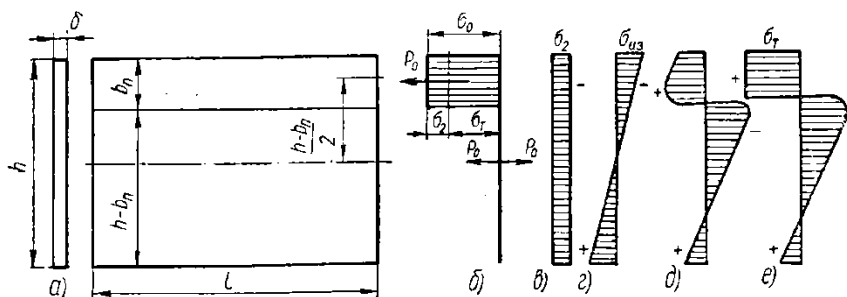


Рис. 12. Епюри напружень при нагріванні на кромку хребтової балки при дії умовного початкового зусилля P_0 :

a – сталеві пластина хребтової балки з умовними початковими напруженнями σ_0 ; b – епюра умовних початкових напружень σ_0 ; c – епюра напружень стиску σ_2 від осьової дії початкового зусилля P_0 ; d – епюра напружень від дії згинального моменту; e – теоретична епюра результуючих залишкових напруг у волокнах хребтової балки; f – дійсна епюра залишкових напружень при нагріванні краю вільної хребтової балки

Приклавши в центрі ваги хребтової балки рівні і протилежні сили P_0 (рис. 12, б), отримаємо осьовий стиск і вигин її

$$M = P_0 \frac{h - b_n}{2} \quad (10)$$

де $\frac{h - b_n}{2}$ – відстань між центром ваги перерізу зони активних напруг і центром ваги перерізу хребтової балки.

Напруга від осьового стиснення хребтової балки зусиллям P_0 визначається за формулою

$$\sigma_2 = \frac{P_0}{h\delta} = \frac{\sigma_0 b_n}{h} \quad (11)$$

Напруга від вигину хребтової балки буде

$$\sigma_{uz} = \frac{M}{W} = \frac{6P_0(h - b_n)}{2\sigma h^2} = \frac{3\sigma_0 b_n(h - b_n)}{h^2} \quad (12)$$

Теоретична епюра результуючих залишкових напруг, рівних алгебраїчній сумі напружень від осьових і згинальних дій умовного початкового зусилля P_0 , подана на рис. 12, д. Епюра дійсних залишкових напружень при нагріванні краю вільної хребтової балки подана на рис. 12, е. У ній залишкові активні напруги розтягнення в зоні b_n накопичуються за весь період охолодження, дорівнюватимуть межі текучості σ_T .

Прогин хребтової балки визначається за загальновідомою формулою

$$f = \frac{Ml^2}{8EJ} = \frac{P_0(h - b_n)l^2}{16EJ} \quad (13)$$

Схема розрахунку за умовним початковим зусиллям P_0 [формули (9), (10), (11) і (13)] буде правильна, якщо результати підрахунків залишкових напружень і прогину хребтової балки збігаються з результатами підрахунків тих самих величин за описаною вище схемою. Для цього необхідно, щоб значення реактивних напружень осьового стиснення в формулах (4) і (11) і значення згинальних моментів за формулами (5) і (10) були тотожні. Остання вимога буде задоволена, якщо величина умовного початкового напруги σ_0 буде дорівнює сумі абсолютних значень активної і реактивної напруг від осьової дії внутрішніх зусиль, тобто

$$\sigma_0 = \sigma_T + \sigma_2 \quad (14)$$

де σ_2 визначається за формулою (4).

Такий вибір величини умовного початкової напруги призводить до однакових значень залишкових напружень в волокнах хребтової балки від осьової дії внутрішніх зусиль.

Справді, складаючи алгебраїчно епюри напружень, зображені на рис. 12, б і 12, в, отримаємо епюру результуючих напружень, яка збігається з епюрою, (зображеною на рис. 10, б).

З формул (4) і (9) видно, що значення моментів за формулою (10) і за формулою (5) однакове:

$$M = \frac{P_0(h-b_n)}{2} = (\sigma_T b_n \delta + \sigma_2 b_n \delta) \frac{(h-b_n)}{2} =$$

$$(\sigma_T b_n \delta + \frac{\sigma_T b_n^2 \delta}{h-b_n}) \frac{(h-b_n)}{2} = \frac{\sigma_T b_n \delta h}{2} = \frac{Ph}{2}$$

що збігається з формулою (5).

Це підтверджує правильність застосування описаної схеми розрахунку за умовним початковим зусиллям і виключає помилки, на які вказувалося раніше.

Застосування схеми розрахунку за умовним початковим зусиллям для визначення залишкового прогину хребтової балки при нагріванні на її кромку нераціонально, оскільки розрахунок по активному внутрішньому осьовому зусиллю Р і моменту пари внутрішніх зусиль [формула (5)] в даному випадку є більш простим і зрозумілим. Застосування обох схем розрахунку при нагріванні краю хребтової балки ми розглянули, щоб шляхом зіставлення їх краще з'ясувати сутність розрахунку за умовним початковим зусиллям P_0 і показати правильне використання цього методу для розрахунку зварювальних напружень і деформацій.

У виготовлених без помітних викривлень зварних конструкціях вагонів залишкова напруги розтягнення часто досягають досить високих значень. Навпаки, в дуже деформованих при зварюванні конструкціях залишкова напруги розтягнення можуть бути невеликі. Внаслідок цього, деякі заходи щодо зменшення залишкових деформацій будуть протилежні заходам щодо зменшення залишкових напружень.

Заходи щодо зменшення деформацій можна розділити на три види: 1) конструктивні, 2) технологічні, що проводяться в процесі зварювання і 3) технологічні, що проводяться після зварювання.

Основна увага при виготовленні зварних конструкції зазвичай приділяється конструктивним і технологічним заходам, що виконуються в процесі зварювання. Головне завдання цих заходів полягає в тому, щоб не допустити викривлення поздовжньої і поперечної осей конструкції і уникнути витріщення або хвилястості листів від втрати стійкості.

До конструктивних заходів належать такі:

- перетин швів не повинен бути більше, ніж потрібно за умовами міцності, оскільки це збільшує активну зону, а, отже, і активні внутрішні зусилля;
- шви треба розташовувати по можливості ближче до осей, які проходять через центр ваги виробу, або на самих осях, щоб зменшити плечі моментів від дії активних внутрішніх зусиль;

- кожен пару паралельних швів слід розташовувати в одній площині, що проходить через центральну вісь виробу, щоб моменти від активних внутрішніх зусиль швів врівноважувалися і не породжували викривлення конструкції щодо цієї осі;

- кількість швів в конструкції має бути по можливості меншим, з метою зниження усадочних зусиль, що діють на конструкцію;

- припуски деталей на усадку повинні бути встановлені правильно, щоб після зварювання розміри конструкції відповідали проектним;

- для обмеження кутової деформації, тобто виходу деталей з площини з'єднання, необхідно зменшувати кут розкряу V-подібних швів або застосовувати Х-подібні шви при великих товщинах зварювальних листів;

- передбачати затискачі в кондукторах для правильної установки деталей при складанні, причому характер дії затискачів передбачає вільне переміщення деталей в їх площині у напрямку поперечної усадки і перешкоджати кутовій деформації. Дія жорстких затискачів повинна забезпечувати створення необхідних обмежень залежно від ходу деформації;

- у конструкціях коробчатого перетину і плоских, що мають замкнуті контури зварних швів, з метою обмеження можливих опуклостей або вогнутостей в листових деталях від втрати стійкості, необхідно передбачати розпірки, діафрагми або ребра жорсткості.

До технологічних заходів щодо зменшення деформацій, що проводяться в процесі зварювання, належить:

- режим зварювання треба вибрати таким, щоб ширина активної зони була по можливості меншою. Для рівномірного нагріву металу по товщині доцільно підвищувати щільність струму, щоб провар металу був глибоким.

Глибокий провар поясних швів тавра і стикових з'єднань сприяє вирівнюванню поперечної усадки по товщині шва і зменшує кутову деформацію.

У деяких випадках при виконанні другого з двох симетричних щодо осі виробу швів доцільно підвищувати режим зварювання для збільшення активної зони з тим, щоб зусиллями другого шва повністю усунути прогин, викликаний накладенням першого шва.

Висновки та рекомендації. За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

- зварювальні шви вагонних конструкцій слід виконувати в такому порядку, при якому деформація від попереднього шва ліквідується зворотного деформацією після накладення подальшого шва. Протилежні паралельні шви доцільно виконувати одночасно або попеременно ділянками;

- оберненоступінчастий метод зварювання викликає менші деформації, оскільки внутрішні зусилля, породжувані усадкою металу, діють на порівняно невеликі області металу і до того ж на сусідніх ділянках вони спрямовані в протилежні боки;

- проковування швів у процесі зварювання помітно зменшує деформації. Останній облицювальний шар шва проковувати не рекомендується, щоб не викликати появи тріщин на поверхні шва;

- попередній підігрів всього зварюваного виробу знижує залишкові напруги і зменшує залишкові деформації;

- штучне охолодження розігрітого металу тепловідвідними підкладками або проточною водою зменшує активну зону і знижує подовжню усадку. Однак такий захід при односторонній дії може викликати нерівномірність нагріву по товщині металу і здатність появи кутових деформацій;

- для усунення прогину можна застосовувати попередній вигин, що зварюється. Це компенсує усадку шва після звільнення виробу від згинальних зусиль і таким чином знижує залишкові напруги і деформації;

- стиснення шва перед початком охолодження знижує деформації. Це має місце при електроконтактному і газопресовому зварюванні. Видавлювання розплавленого металу після нагріву зменшує активну зону, тому залишкові напруги і деформації знижуються;

- для зменшення викривлення і попередження появи хвилястості на вільній кромці широкого листа при приварюванні його другої кромки до якої-небудь деталі, у вільній кромці прихоплюють тимчасові жорсткості у вигляді куточків або смуг;

- зварювання деталей в закріпленому положенні і в кондукторах знижує залишкові деформації.

Розроблений науковий підхід боротьби зі зварними деформаціями вагонних металоконструкцій також доцільно використовувати для вирішення аналогічних проблем в локомотивобудуванні й інших об'єктах транспортного машинобудування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін, О.В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва: монографія/ О.В. Фомін. – Донецьк: ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 251с.
2. Фомін, О.В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія/ О.В. Фомін. – К.: ДЕТУТ, 2014. – 299 с.
3. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції / О.В. Фомін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76 – Режим доступу: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
4. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43.
5. Бурлуцький, О. В. Особливості методу визначення динамічного навантаження кузова напіввагона / О. В. Бурлуцький // Вост.-Европ. журн. передових технологій. – 2012. – Вип. 4/7. – С. 47-50.
6. Фомін, О.В. Особливості методики визначення втомної довговічності напіввагона з урахуванням експлуатаційних ушкоджень / О.В. Фомін, О. В. Бурлуцький // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Вип. 2/7. – С. 12-16.
7. Фомін, О.В. Аналіз експлуатаційних пошкоджень кузовів залізничних напіввагонів / О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький, В.В. Фомін // Будівництво України. – 2013. – Вип. № 3. – С 37-41.
8. Фомін, О.В. Метод оцінки надійності елементів кузовів сучасних залізничних напіввагонів з урахуванням цензурування вибірки/ О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – 2012. – Вип. №.29. – С. 215-221.
9. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) с изменениями и дополнениями. – ГосНИИВ – ВНИИЖТ. Москва, 1996.
10. Ямпольский, В.М. Сварка и свариваемые материалы./Под ред. В.М. Ямпольского. В 3-х т. Технология и оборудование. Справ. Изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. – 574 с.
11. Шляпин, В.Б. Ремонт вагонов сваркой: Справочник./ В.Б. Шляпин, А.Ф. Павленко, В.Ю. Емельянов. – М.: Транспорт, 1983. – 246 с.
12. Винокуров, В. А. Сварочные деформации и напряжения / В.А. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1968. – 235 с.
13. Бурлуцький, О. В. Застосування математичного моделювання процесів правки при виготовленні елементів напіввагонів / О.В. Бурлуцький, О.А. Логвіненко // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2016. – Вип. 28. – С. 110-123.
14. Burlutsky O. Application methods changes plastic deformation after welding sill gondola cars / O.V. Burlutsky / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2015, No. 10 – P.190-197.
15. Бурлуцький, О. В. Визначення зварювальних деформацій, які виникають на етапах життєвого циклу напіввагона/ О.В. Бурлуцький, Н. Кочешкова // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – ДЕТУТ, 2016. – Вип. 28. – С. 110-123.

Oleksiy V. Burlutskyy
(ingeneer, head of the training laboratories in Ukrainian state academy University of Railway Transport)
Alexei V. Fomin, Doctor of Science (Technical Sciences)
(Associate Professor, Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)
Viktor P. Tkachenko, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor
(Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

FORMALIZATION STRUCTURAL AND MATERIAL TRANSFORMATIONS IN THE SUPPORT SYSTEM OF FREIGHT CARS BY THE THERMAL INFLUENCE IN THE PROCESS OF WELDING AND STRAIGHTENING WORKS

High speeds and increased load dictate higher requirements not only to the strength characteristics of running parts, but also to the support system of the car. In order to ensure the strength of bearing systems, appropriate regulatory documentation, spinal beams subjected to mechanical or thermal straightening. Thermal correction of local deformation consists in the fact that after the local heating in the metal sheet having plastic deformation «truncation» that clean «extra» metal. The effectiveness of the thermal changes depends on a large number of parameters, which is the main problem of implementation of this process step. One way to solve this problem – optimization of the heating parameters, number and location of heating spots based on mathematical modeling of the thermal changes for each of the deformed portion.

Keywords: freight wagons, supporting system, center sill, residual stresses, welding seams.

REFERENCES

1. Fomin, O.V. Optimizacijne proektuvannja elementiv kuzoviv zaliznichnih napivvagoniv ta organizacija ih virobnictva [Optimization design elements ry gondola bodies and organization of production]: Monograph / O.V. Fomin. – Donetsk: DonIZT UkrDAZT, 2013. – 251 p.
2. Fomin, O.V. Doslidzhennja defektiv ta poshkodzhen' nesuchih sistem zaliznichnih napivvagoniv [Investigation of defects and damage bearing systems ry gondola]: Monograph / O.V. Fomin. – Kyiv: DETUT, 2014. – 299 p.
3. Fomin, O.V. Pidvishhennja stupnja ideal'nosti vantazhnikh vagoniv ta prognozuvannja stadij ih evoljucii [Increased ideal freight cars and forecasting stages of their evolution] [Text] / O.V Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University. – Dnepropetrovsk: NSU, 2015. – №3. – P. 68-76 – Access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennja-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
4. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43. [<http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf>].
5. Burlutsky O.V. Osoblyvosti metodu vyznachennia dynamichnoho navantazhennia kuzova napivvahonu [Features of the method dynamic load body gondola] Skhidno-Yevropeyskyy zhurnal .peredovukh tekhnolohy [Eastern European of Enterprise Technologies], 2012. – Vol.no 4/7 pp. 47-50.
6. Fomin O.V. Burlutsky O.V. Osoblyvosti metodyky vyznachenayn vtomnoy dovgovizhnosti napivvahonu z urakhuvanniaym ekspluatatsiinykh ushkodzhe [Features method of determination tireless longevity gondola taking into account operating damages] Skhidno-Yevropeyskyy zhurnal .peredovukh tekhnolohy [Eastern European of Enterprise Technologies], 2013.issue no. 2/7, pp. 12-16.
7. Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomin V.V. Analiz ekspluatatsiinykh poshkodzhen kuzoviv zaliznychnykh na pivvahoniv [Analysis of operational damage bodies railway gondol] Budivnytstvo Ukrainy [Construction of Ukraine], Kiev, 2013.vol. 3, .pp37-41.

8. Fomin O.V. Burlutsky O.V Metod otsinky nadiynosti elementiv kuzoviv suchasnykh zaliznychnykh napivvagoniv z urakhuvanniam tsenzuruvannia vybirky] Valuation reliability of bodies of modern railway gondola considering censoring sample]
9. Normy rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh) s izmenenijami i dopolnenijami [Norms calculating and designing railways carriages IPS gage railway 1520 mm (nesamohodnyh) s Changes and additions]. – HosNYVV – VNYYZHT. Moscow, 1996.
10. Yampolskyi V.M. Svarka y svaryvaemye materyaly.[Welding and welding materials] Moskovsky`j gosudarstvennj texnchesky unyversytet imeni N. E. Bauman [Bauman Moscow State Technical University] – M. 1996. -574 p.
11. Shliapyn V.B. Remont vagonov svarkoi. [Repairing welding] Spravochnyk. – M.: Transport, 1983,- 246 p.
12. Vynokurov V. A. Svarochnye deformatsyy y napriazheniya. [Welding deformation and stress] – M.: Mashynostroenye, 1968. – 235 p.
13. Burlutsky O. Zastosuvannya matematichnogo modelyuvannya protsesiv pravki pri vigotovlenni elementiv napivvagoniv [Application mathematical modeling of processes corrections at manufacturing of elements gondola cars] Zbirnik naukovykh pratz DETUT. Seriya Transportni sistemi i tehnologii [Scientific works DETUT. The series Transport systems and technologies]. – K.; 2016, issue no. 28, pp. 110-123.
14. Burlutsky O. Application methods changes plastic deformation after welding sill gondola cars / O.V. Burlutsky / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 10 – P.190-197.
15. Burlutsky O. Viznachennya zvaryvalnih deformatsiy, yaki vinikayut na etapah zhittevogo tziklu napivvagonu [Determination of welding deformations that arise in stages of life cycle gondola cars] Zbirnik naukovykh pratz DETUT. Seriya Transportni sistemi i tehnologii [Scientific works DETUT. The series Transport systems and technologies]. – K.; 2016, issue no. 28, pp. 110-123.

УДК 629.463.004.4:656.211.7

А. О. Ловська, к.т.н.

(доцент кафедри «Вагони», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ЩО ДІЮТЬ НА КУЗОВ НАПІВВАГОНА ПРИ ЗАВАНТАЖЕННІ НА ЗАЛІЗНИЧНИЙ ПОРОМ

Прискорені темпи інтеграції України в систему міжнародних транспортних коридорів зумовлюють необхідність створення комбінованих транспортних систем, однією з найуспішніших серед яких є залізнично-поромні перевезення.

Питанню завантаження/вивантаження вагонів на/з палуби, їх розміщенню на ній та надійності закріплення потрібно приділяти особливу увагу, оскільки саме від цих факторів, головним чином, залежить безпека руху комбінованих перевезень.

Завантаження вагонів на палубу залізничного порому здійснюється через перехідний міст (апарель) на якому прокладені рейкові колії, що взаємодіють з рейковими коліями на палубі залізничного порому. Процес проходження вагона через зону взаємодії перехідного мосту з палубою супроводжується дією на нього динамічних навантажень, зумовлених наявністю зазора між рейковими коліями.

Для забезпечення безпеки процесу завантаження/вивантаження вагонів на/з палуби необхідним є дослідження динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію при переході з апарелі на залізничний пором. Для цього використано математичну модель, яка дозволила отримати уточнені значення прискорень, що діють на вагон при завантаженні/вивантаженні залізничного порому та визначити величину ухилу при якому забезпечується допустима динамічна навантаженість кузова вагона.

Отримані результати сприятимуть підвищенню безпеки процесу завантаження/вивантаження вагонів на/з залізничного порому.

Ключові слова: напіввагон, динаміка, математичне моделювання, навантаженість конструкції, міцність.

Ускоренные темпы интеграции Украины в систему международных транспортных коридоров вызывают необходимость создания комбинированных транспортных систем, одной из самых успешных среди которых являются железнодорожно-паромные перевозки.

Вопросу погрузки/выгрузки вагонов на/с палубы, их размещению на ней и надежности закрепления необходимо уделять особое внимание, так как именно от этих факторов, главным образом, зависит безопасность движения комбинированных перевозок.

Погрузка вагонов на палубу железнодорожного парома осуществляется через переходной мост (аппарель) на котором проложены рельсовые пути для взаимодействия с рельсовыми путями на палубе железнодорожного парома.

© Ловська А. О., 2016

Процес проходження вагона через зону взаємодії перехідного моста с палубой супроводжується дією на нього динамічних навантажень, обумовлених наявністю зазору між рейсовими шляхами.

Для забезпечення безпеки процесу погрузки/випуску вагонів на/з палуби необхідно дослідження динамічних навантажень, діючих на несучу конструкцію при переході з апарату на залізничний паром. Для цього використано математичну модель, яка дозволила отримати уточнені значення прискорень, діючих на вагон при погрузці/випуску залізничного парома і визначити величину кута при якому забезпечується допустима динамічна навантаженість кузова вагона.

Отримані результати будуть сприяти підвищенню безпеки процесу погрузки/випуску вагонів на/з залізничного парома.

Ключові слова: полувагон, динаміка, математичне моделювання, навантаженість конструкції, міцність.

Постановка проблеми. Для підвищення обсягів перевезень вантажів через міжнародні транспортні коридори дістали поширення комбіновані транспортні системи. Можливість виходу України в міжнародне сполучення через акваторії Чорного та Азовського морів зумовило виникнення та успішне функціонування залізнично-поромних перевезень.

На сьогоднішній день залізнично-поромні маршрути сполучають Україну з Болгарією, Грузією, Туреччиною. Враховуючи прискорені темпи розвитку даного виду комбінованих перевезень прогнозується збільшення кількості залізнично-поромних маршрутів через акваторію Чорного моря і відповідно виникає необхідність удосконалення [1-4] відповідних вантажних вагонів.

Для безпеки руху вагонів при комбінованих перевезеннях необхідним є дослідження динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію кузовів та урахування їх уточнених величин на стадії проектування вагонів нового покоління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження динамічних навантажень, що діють на кузова вантажних вагонів при перевезенні залізничним поромом проводиться у [5]. В роботі наведено математичну модель для визначення динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію кузова вагона в умовах основних видів коливального процесу залізничного порому. Отримані теоретичні результати досліджень перевірено шляхом комп'ютерного моделювання коливань залізничного порому з вагонами на його борту. Проведені дослідження дозволили отримати уточнені значення прискорень, що діють на кузова вагонів при перевезенні залізничним поромом.

Оцінка зовнішніх зусиль, які діють на вагони при перевезенні залізничним поромом наведена в [6]. При цьому прискорення, які діють на кузова вагонів в умовах хвилювання моря визначені на підставі розрахунку хитамиці залізничного порому, яка відбувається з шістьма ступенями вільності при нерегулярному тривимірному хвилюванні та русі зі швидкістю 6,5 вузлів.

Важливо зазначити, що в розглянутих працях не приділяється уваги питанню дослідження динамічних навантажень, які діють на кузова вагонів при завантаженні на залізничний пором, а саме при їх проходженні зони взаємодії перехідного моста та залізничного порому.

Методика визначення динамічних навантажень, які діють на кузова вагонів при перевезенні залізничним поромом наведена в [7]. При цьому визначення прискорень, що діють на вагон проводилося на підставі диференціювання закону руху морської хвилі. Розрахунки проведені стосовно залізничного порому «Советский Азербайджан», який сполучав Азербайджан з Дагестаном та Туркменістаном (Баку з Махачкалою, Баку з Туркменбаши). Отримані при цьому результати наведені в п. 2.18 «Нормы

для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» [8]. Необхідно зауважити, що у зв'язку з інтенсифікацією розвитку залізнично-поромних перевезень, створенням нових залізничних поромів, різних гідрометеорологічних характеристик акваторій плавання залізничних поромів необхідним є розширення п. 2.18 «Норм...». Крім того, дослідження динамічних навантажень, які діють на вагон при накочуванні на залізничний пором в роботі не проводиться.

Виклад основного матеріалу дослідження. Процес завантаження вагонів на залізничний пором здійснюється шляхом їх накочування через перехідний міст на палубу (рис. 1).



Рис. 1. Перехідний міст для завантаження/вивантаження вагонів на/з залізничного порому
а) на станції «Крим»; б) на станції «Іллічівськ-Поромна»

Для дослідження динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію кузова вагона при проходженні зони взаємодії перехідного моста з залізничним поромом використано математичну модель, наведену у [9]. Модель описує процес коливань вагона при проходженні нерівності та враховує транспортне запізнення збуджуючої дії на елементи конструкції вагона. У моделі також враховано вплив вітру на торцеву стіну кузова вагона. Чисельне значення тиску вітру прийнято 1,47 кПа (для акваторії Чорного моря), відповідно до [7].

Розрахункову схему напіввагона при переході зони взаємодії рейкових колій перехідного мосту та залізничного порому наведено на рис. 2.

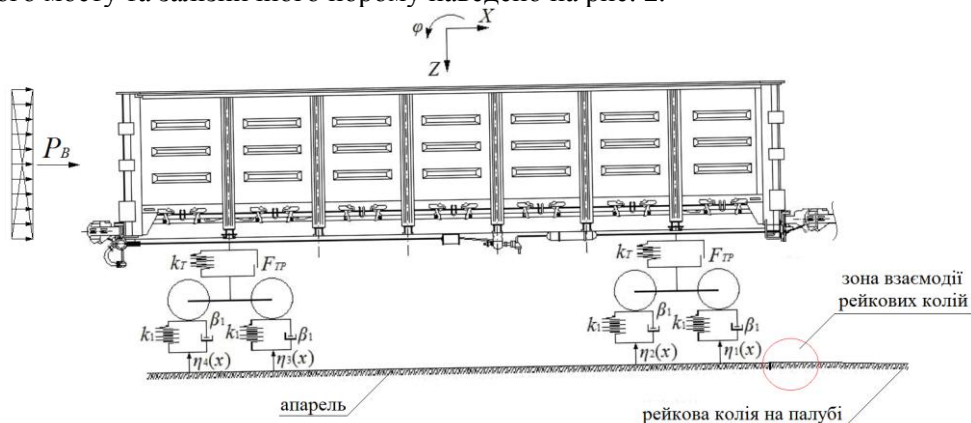


Рис. 2. Розрахункова схема напіввагона при переході зони взаємодії рейкових колій перехідного мосту та залізничного порому

Система нелінійних диференціальних рівнянь, якою описуються коливання вагона при проходженні зони взаємодії рейкових колій перехідного мосту та залізничного порому має вигляд:

$$M_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot q_1 + C_{1,1} \cdot q_1 + C_{1,3} \cdot q_3 + C_{1,5} \cdot q_5 = -F_{TP} \cdot \left(\operatorname{sign} \left(\frac{d}{dt} \cdot \delta_1 \right) + \operatorname{sign} \left(\frac{d}{dt} \cdot \delta_2 \right) \right), \quad (1)$$

$$M_2 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot q_2 + C_{2,2} \cdot q_2 + C_{2,3} \cdot q_3 + C_{2,5} \cdot q_5 = F_{TP} \cdot l \cdot \left(\operatorname{sign} \left(\frac{d}{dt} \cdot \delta_1 \right) - \operatorname{sign} \left(\frac{d}{dt} \cdot \delta_2 \right) \right) + P_B \cdot \frac{h_k}{2}, \quad (2)$$

$$M_3 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot q_3 + C_{3,1} \cdot q_1 + C_{3,2} \cdot q_2 + C_{3,3} \cdot q_3 + B_{3,3} \cdot \frac{d}{dt} \cdot q_3 = F_{TP} \cdot \operatorname{sign} \left(\frac{d}{dt} \cdot \delta_1 \right) + k_1 \cdot (\eta_1 + \eta_2) + \beta_1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \cdot \eta_1 + \frac{d}{dt} \cdot \eta_2 \right), \quad (3)$$

$$M_4 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot q_4 + C_{4,4} \cdot q_4 + B_{4,4} \cdot \frac{d}{dt} \cdot q_4 = -k_1 \cdot a \cdot (\eta_1 - \eta_2) - \beta_1 \cdot a \cdot \left(\frac{d}{dt} \cdot \eta_1 - \frac{d}{dt} \cdot \eta_2 \right), \quad (4)$$

$$M_5 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot q_5 + C_{5,1} \cdot q_1 + C_{5,2} \cdot q_2 + C_{5,5} \cdot q_5 + B_{5,5} \cdot \frac{d}{dt} \cdot q_5 = F_{TP} \cdot \operatorname{sign} \left(\frac{d}{dt} \cdot \delta_2 \right) + k_1 \cdot (\eta_3 + \eta_4) + \beta_1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \cdot \eta_3 + \frac{d}{dt} \cdot \eta_4 \right), \quad (5)$$

$$M_6 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot q_6 + C_{6,6} \cdot q_6 + B_{6,6} \cdot \frac{d}{dt} \cdot q_6 = -k_1 \cdot a \cdot (\eta_3 - \eta_4) - \beta_1 \cdot a \cdot \left(\frac{d}{dt} \cdot \eta_3 - \frac{d}{dt} \cdot \eta_4 \right) \quad (6)$$

де M_1 – маса кузова; M_2 – момент інерції кузова; $M_{3,5}$ – відповідно, маса першого з боку дії збурення візка та другого; $M_{4,6}$ – відповідно, момент інерції першого з боку дії збурення візка та другого; $C_{1,1-6,6}$ – ненульові елементи матриці пружних коефіцієнтів; $B_{1,1-6,6}$ – дисипативні коефіцієнти; d – амплітуда стикової нерівності; k_1 – жорсткість колії; F_{TP} – сила сухого тертя, яка діє в підвішуванні візка; a – половина бази візка; l – половина бази вагона; β_1 – коефіцієнт демпфірування колії; $\delta_{1,2}$ – деформації пружних елементів ресорного підвішування; $\eta_{1,4}$ – нерівність колії; P_B – тиск вітру на торцеву стіну кузова вагона; h_k – висота кузова вагона; $q_{1,2}$ – узагальнені координати, що визначають, відповідно, поступальне та кутове переміщення кузова; $q_{3,4}$ – узагальнені координати, що визначають, відповідно, поступальне та кутове переміщення першого з боку збурення візка; $q_{5,6}$ – узагальнені координати, що визначають, відповідно, поступальне та кутове переміщення другого з боку збурення візка.

Вхідними параметрами математичної моделі є геометричні та масові характеристики кузова напіввагона, візків, колії, а також вітрове навантаження, яке діє на торцеву стіну кузова напіввагона.

Модель враховує, що вагон рухається пружно-в'язкою колією, при цьому реакція колії пропорційна як її деформації, так і швидкості цієї деформації [9].

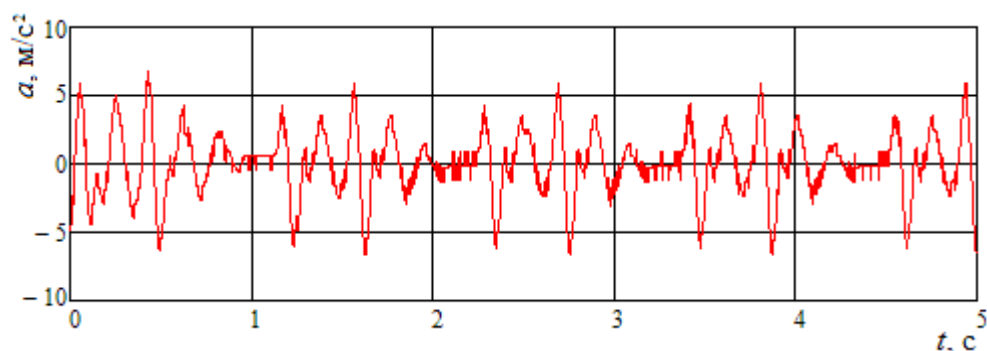
Також в моделі прийнято припущення, що вантаж розподілений рівномірно відносно горизонтальної площини, тобто без «шапки», а також відсутні переміщення вантажу відносно кузова напіввагона.

Розв'язання диференціальних рівнянь здійснено за допомогою метода Рунге-Кутта в середовищі програмного забезпечення MathCad [10, 11]. Початкові переміщення та швидкості прийняті рівними нулю.

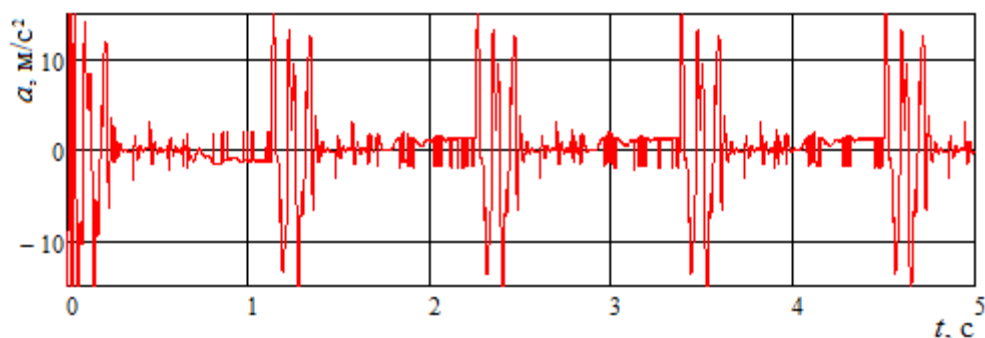
Результати досліджень дозволили визначити величину ухилу у зоні взаємодії перехідного мосту з залізничним поромом, яка дозволяє забезпечити допустиму динамічну навантаженість несучої конструкції кузова напіввагона відповідно до [4]. Величина ухилу на 1 м склала $1^{\circ}1'12''$.

Прискорення напіввагона при переході зони взаємодії рейкових колій перехідного мосту та залізничного порому наведені на рис. 3.

а)



б)



в)

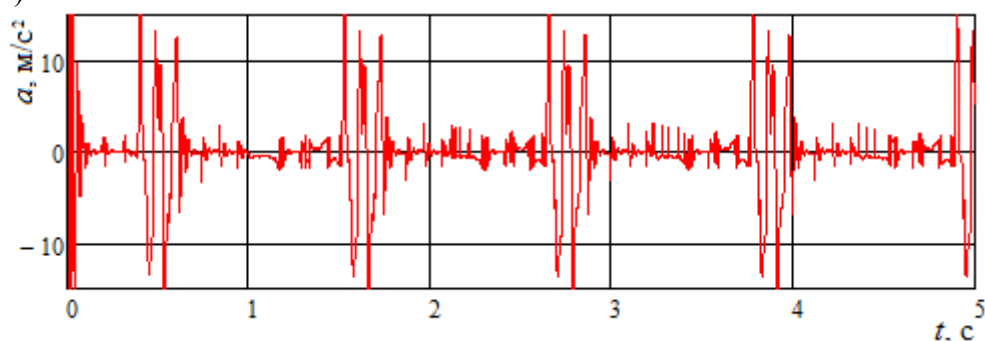


Рис. 3. Прискорення напіввагона при переході зони взаємодії рейкових колій перехідного мосту та залізничного порому
а) кузов вагона; б) перший з боку дії збурення візок;
в) другий з боку дії збурення візок

Аналізуючи отримані залежності можна зробити висновок, що максимальна величина прискорень, які діють на несучу конструкцію кузова напіввагона при завданій величині ухилу складає 8 м/с^2 , на перший з боку дії збурення та другий візок – близько 11 м/с^2 .

Висновки та пропозиції. На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Проведені дослідження дозволили визначити величину ухилу в зоні взаємодії перехідного мосту з залізничним поромом при накочуванні вагонів на палубу, який забезпечує допустиму динамічну навантаженість кузова на піввагона.

2. Отримані результати сприятимуть підвищенню безпеки процесу завантаження/вивантаження вагонів на/з залізничного порому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
2. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції / О.В. Фомін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – № 3. – С. 68-76
3. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43.
4. Фомін, О.В. Визначення перспективних напрямків проектування несучих систем у вантажному вагонуобудуванні/ О.В. Фомін// Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків. – № 3/7(57), 2012. – С. 32-35 – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3\(7\)_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
5. Lovska Alena. Research of dynamic loads acting on the supporting structures of car bodies in train ferries / Alena Lovskaya // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – №4. – P. 34 – 41.
6. Наставление по креплению груза для т/х «Петровск» ПР. № 002CNF001 – ЛМПЛ – 805. – Офіц. изд. – Одесса: МИБ, 2005. – 52 с.
7. Землезин И. Н. Методика расчета и исследования сил, действующих на вагон при транспортировке на морских паромках / И. Н. Землезин – М.: Транспорт, 1970. – 104 с.
8. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
9. Дьомін Ю. В. Основи динаміки вагонів: навч. посіб / Ю. В. Дьомін, Г. Ю. Черняк. – К.: КУЕЕТ, 2003. – 270 с.
10. Дьяконов В. MATHCAD 8/2000: специальный справочник / В. Дьяконов. – СПб: Питер, 2000. – 592 с.
11. Кирьянов Д. В. Mathcad 13 / Д.В. Кирьянов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 608 с.

Alyona O. Lovskaya, PhD (Technical Sciences)
(Associate Professor of Wagons Chair, The Ukrainian State University of Railway Transport)

INVESTIGATION INTO THE DYNAMIC FORCE INFLUENCING THE BODY OF OPEN BOXCARS DURING THEIR LOADING ON TRAIN FERRIES

Increased rates of Ukraine's integration into the system of international transport corridors suggest the need to create combined transport systems, among which one of the most successful is rail-ferry transportation.

The issue of loading and unloading on and from the deck, placement and reliable fastening requires a special attention because these are the factors which mainly provide safety of combined transportation.

The loading of wagons on the deck of train ferries is being conducted through a loading ramp with rails on intended for jointing with rails located on the ferry's deck. When the wagon passes through the zone where the ramp connects with the deck, the wagon is under the influence of dynamic loads exerted by joints in rail tracks.

So that to provide safe loading and unloading processes on and from the deck there is a need for research into dynamic loads influencing the supporting structure while it passes from the ramp to the train ferry. To conduct this research a mathematical model has been used; it has allowed obtaining improved values of accelerations influencing the wagon while loading and unloading the train ferry, and defining the gradient at which the admissible dynamic load of the wagon body is provided.

The results obtained will improve safety of the loading and unloading processes on and from train ferries.

Keywords: open boxcar, dynamics, mathematical simulation, structure loading, stability.

REFERENCES

1. Fomin, O.V. Koncepcija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
2. Fomin, O.V. Pidvishhennja stupenja ideal'nosti vantazhnikh vagoniv ta prognozuvannya stadij ih evoljucii [Increased ideal freight cars and forecasting stages of their evolution] [Text] / O.V. Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University. – Dnepropetrovsk: NSU, 2015. – №3. – P. 68-76 – Access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennja-stupenja-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
3. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43.
4. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – 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).
5. Lovska Alena. Research of dynamic loads acting on the supporting structures of car bodies in train ferries / Alena Lovskaya // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – №4. – P. 34 – 41.
6. *Nastavlenie po krepleniju gruzha dlya t/h «Petrovsk» PR. № 002SNF001 – LMPL – 805.* – Ofits. izd. – Odessa: MIB, 2005. – 52 p.
7. Zemlezin I. N. Metodika rascheta i issledovaniya sil, deystvuyuschih na vagon pri transportirovke na morskikh paromah / I. N. Zemlezin – M.: Transport, 1970. – 104 p.
8. *Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyih dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyih).* – M.: GosNIIIV – VNIIZhT, 1996. – 319 p.
9. Domin Yu. V. Osnovi dinamiki vagoniv: navch. posib / Yu. V. Domin, G. Yu. Chernyak. – K.: KUEET, 2003. – 270 p.
10. Dyakonov V. MATHCAD 8/2000: spetsialnyi spravochnik / V. Dyakonov. – SPb: Piter, 2000. – 592 p.
11. Kiryanov D. V. Mathcad 13 / D.V. Kiryanov. – SPb.: BHV – Peterburg, 2006. – 608 p.

УДК 629.4.067.4:629.4.063.8

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

*М. В. Ковтанец, к.т.н.
(доцент кафедры «Железнодорожный, автомобильный транспорт и подъемно-транспортные машины», Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, г. Северодонецк)*

*О. В. Просви́рова
(младший научный сотрудник, Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, г. Северодонецк)*

*Д. В. Собо́ль
(студент, кафедра «Эксплуатация и ремонт подвижного состава», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта (УкрДУЗТ), г. Харьков)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРУЙНО-АБРАЗИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РЕЛЬСЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТРИБОКОНТАКТА «КОЛЕСО-РЕЛЬС»

Статья посвящена описанию результатов экспериментальной проверки эффективности струйно-абразивного воздействия на рельсы, как одного из возможных способов повышения эффективности использования песка, для улучшения фрикционных свойств контакта «колесо-рельс». Струйно-абразивное воздействие обеспечивает направленную подачу абразивного материала под действием сжатого воздуха на поверхность рельса, оказывая воздействие на фрикционное состояние контакта колесо-рельс, которое заключается в удалении поверхностных загрязнений, формировании шероховатости поверхности, собственно подаче песка в контакт колеса с рельсом. Под фрикционными свойствами понимается зависимость коэффициента трения скольжения при качении со скольжением от температуры в контакте. По данным зависимостям построены характеристики сцепления для выбранных фрикционных состояний. В качестве исходных фрикционных состояний поверхности рельса использовались: чистая и сухая поверхность; влажная поверхность; поверхность, покрытая дизельным топливом; поверхность, покрытая отработанным маслом.

Ключевые слова: абразивный материал, коэффициент сцепления, струйно-абразивное воздействие, КПД фрикционной передачи.

Стаття присвячена опису результатів експериментальної перевірки ефективності струменево-абразивного впливу на рейки, як одного з можливих способів підвищення ефективності використання піску, для поліпшення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка». Струменево-абразивна дія забезпечує спрямовану подачу абразивного матеріалу під дією стисненого повітря на поверхню рейки,

© Горбунов Н. И., Ковтанец М. В., Просви́рова О. В., Собо́ль Д. В., 2016

оказуючи вплив на фрикційний стан контакту колесо-рейка, який полягає у видавленні поверхневих забруднень, формуванні шорсткості поверхні, та подачі піску в контакт колеса з рейкою. Під фрикційними властивостями мають на увазі залежність коефіцієнта тертя ковзання при коченні з ковзанням від температури в контакт. За даними залежностей побудовані характеристики зчеплення для обраних фрикційних станів. Як вихідні фрикційні станів поверхні рейки використовувалися: чиста і суха поверхня; волога поверхня; поверхня, покрита дизельним паливом; поверхня, покрита відпрацьованим мастилом. Статистична обробка отриманих експериментальних даних свідчить, що пісок незначно підвищує коефіцієнт зчеплення і створює більш несприятливі умови контактування для взаємодіючих поверхонь. При струминно-абразивному впливі відбувається руйнування забруднень на поверхні рейки, а так само їх винесення відбитим ударом, який відносить продукти очищення із зони контакту. При цьому на поверхні рейки практично не залишається абразивного матеріалу, який може викликати опір руху, як у випадку із застосуванням піску при досліджуваній продуктивності подачі.

Ключові слова: абразивний матеріал, коефіцієнт зчеплення, струменево-абразивний вплив, ККД фрикційної передачі.

Постановка проблеми. На сегодняшний день проведен большой объем теоретических и экспериментальных исследований различных методов и устройств увеличения коэффициента сцепления [1-7]. Большинство из методов активного воздействия на фрикционный узел колесо-рельс обеспечивают значительное повышение коэффициента сцепления. Однако, по разным причинам, все они (за исключением подачи в зону контакта кварцевого песка) не получили широкого распространения.

Анализ последних исследований и публикаций. Учитывая сказанное, можно утверждать, что, в реальных условиях эксплуатации, надежная работа железнодорожного транспорта достигнута исключительно за счёт применения кварцевого песка. Этот метод широко используется во всем мире, но наряду с неоспоримыми преимуществами (высокая эффективность, удобство использования, относительная дешевизна) имеет и явные недостатки [2, 8]. Эти недостатки заставляют ученых и инженеров искать методы использования песка (электризация песка, подача песчаной пасты, использование брикетов и др.), которые бы уменьшали негативные последствия его использования.

Одним из возможных способов повышения эффективности использования песка является струйно-абразивное воздействие (САВ) на поверхности рельса (или колеса и рельса) [1, 9-11]. В этом случае абразивный материал (песок) под действием сжатого воздуха направлено подается на поверхность рельса, оказывая воздействие на фрикционное состояние контакта колесо-рельс, которое заключается в:

- удалении поверхностных загрязнений;
- формировании шероховатости поверхности, которая в зависимости от режима воздействия может обеспечить значительное повышение коэффициента сцепления;
- собственно подаче песка в контакт колеса с рельсом. В работах [12, 13] показано, что, с точки зрения тяги, наилучший результат обеспечивается при подаче песка в один слой с некоторым расстоянием между песчинками ($0,06 \text{ кг/м}^2$).

Цель статьи. Проведение экспериментальных исследований и их обработка для проверки эффективности использования разработанного нового метода струйно-абразивного воздействия на взаимодействующие поверхности трибосистемы «колесо-рельс» для повышения их коэффициента сцепления.

Изложение основного материала исследования. Данная статья посвящена описанию результатов экспериментальной проверки эффективности САВ на рельсы для улучшения фрикционных свойств контакта колесо-рельс. Проверка осуществлялась

путем исследования фрикционных свойств контакта колесо-рельс до и после использования САВ. Для сравнения исследовались так же фрикционные характеристики контакта при нанесении на поверхность рельса песка в количестве, соответствующем нормативной подаче песка песочной системой локомотива ($\approx 0,1-0,2 \text{ кг/м}^2$).

Под фрикционными свойствами здесь понимается зависимость коэффициента трения скольжения при качении со скольжением от температуры в контакте.

Испытания проводились на оригинальной машине трения, созданной на кафедре железнодорожного транспорта ВНУ им. В. Даля [14] (рис. 1). Функционально машина трения состоит из тележки (рис. 1) с размещенными на ней разгонным устройством (I), ориентирующим (II) и измерительным узлом (III), а так же микропроцессорным измерительным блоком (IV).

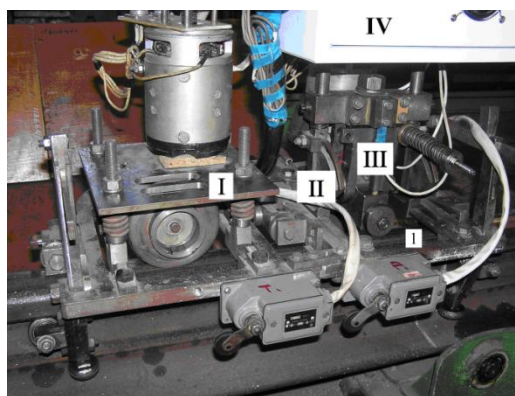


Рис. 1. Машина трения

В качестве исходных фрикционных состояний поверхности рельса использовались: чистая и сухая поверхность; влажная поверхность; поверхность, покрытая дизельным топливом; поверхность, покрытая отработанным маслом М8.

Методика проведения экспериментов предусматривала четыре серии поездок со следующей последовательностью действий:

- рельс приводился в одно из перечисленных фрикционных состояний, после чего осуществлялась серия измерительных поездок машины трения;

- далее на рельс наносился кварцевый песок в количестве ($\approx 0,1-0,2 \text{ кг/м}^2$), что соответствует нормативной подаче песка 1 кг/мин песочной системой при скорости движения локомотива 5 км/ч и определялись характеристики данного модифицированного фрикционного состояния;

- после этого рельс подвергался струйно-абразивному воздействию (рис. 2) с использованием наиболее эффективного режима, и вновь определялись фрикционные характеристики.

Результаты исследования представлены на рис. 3-6.

Используя результаты, представленные на рис. 3-6, с помощью программы VDEUNU CONTACT [15], разработанной по математической модели сцепления колес с рельсами [15, 16], для выбранных фрикционных состояний построены характеристики сцепления. Все расчеты проводились для случая контакта новых, неизношенных колес локомотива (ГОСТ 11018-2000) и рельсов Р65 (ГОСТ 51685-2000) при центральном расположении колесной пары относительно рельсовой колеи. Вертикальное усилие со стороны колесной пары принято $P=230 \text{ кН}$. Результаты расчетов представлены на рис. 7-10.

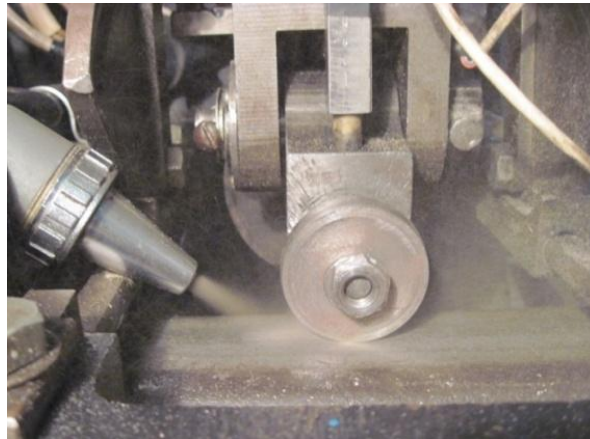


Рис. 2. Струйно-абразивное воздействие на стендовой установке

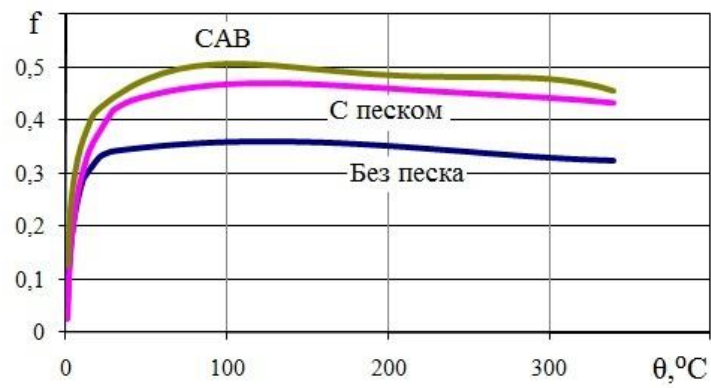


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения скольжения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс чистый, сухой)

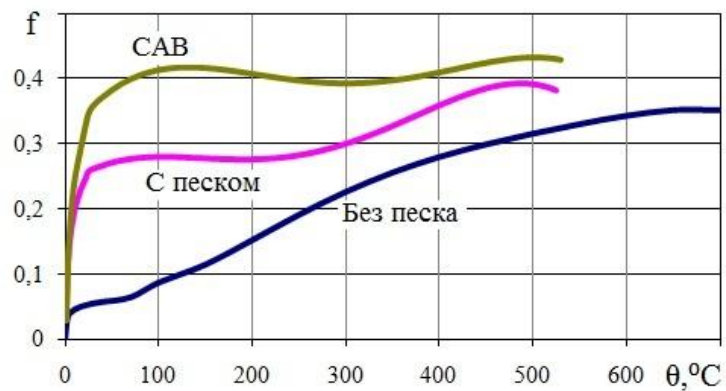


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс, покрытый водой)

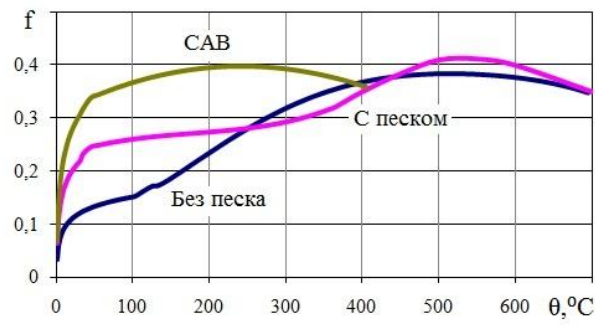


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс, покрытый дизельным топливом)

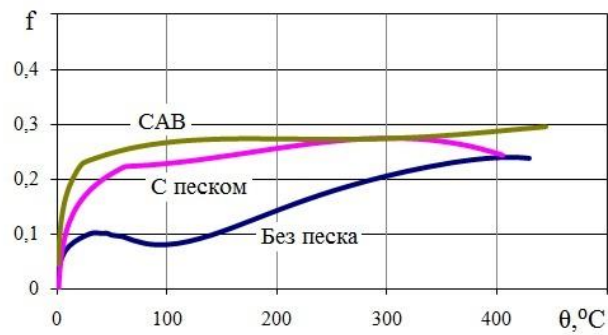


Рис. 6. Зависимость коэффициента трения при качении со скольжением от температуры в контакте (рельс, покрытый отработанным маслом)

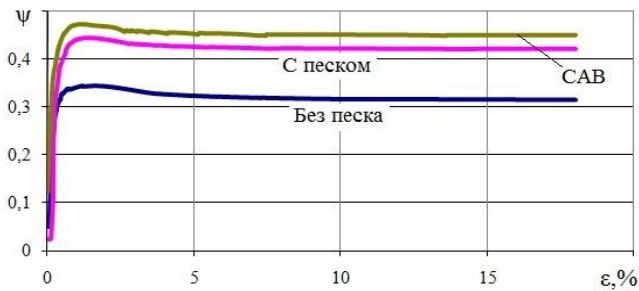


Рис. 7. Характеристики сцепления (чистые, сухие поверхности)

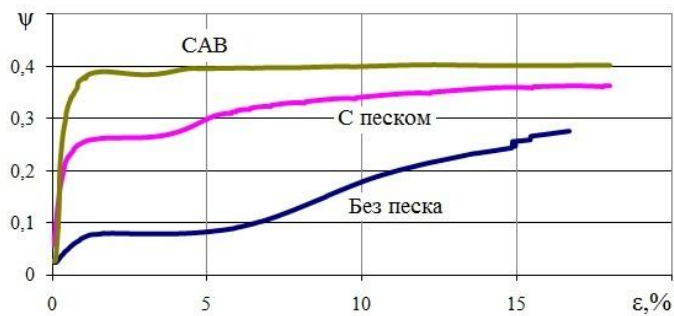


Рис. 8. Характеристики сцепления (влажные поверхности)

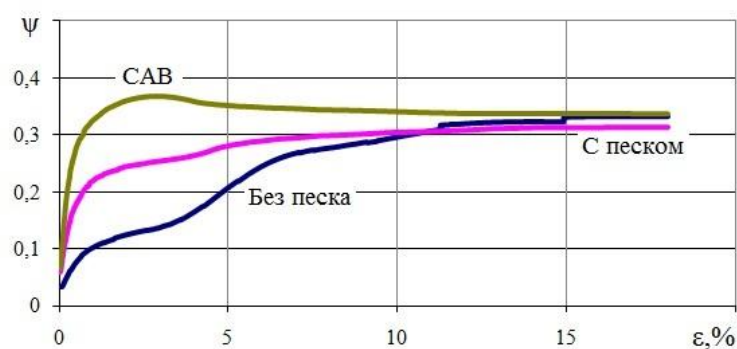


Рис. 9. Характеристики сцепления
(поверхности покрыты дизельным топливом)

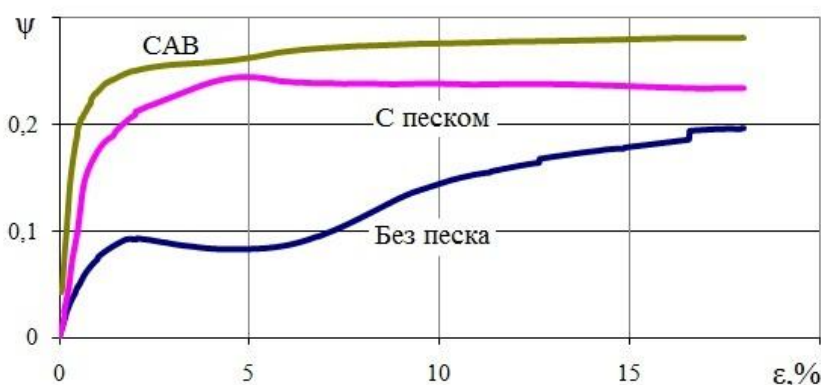


Рис. 10. Характеристики сцепления
(поверхности покрыты отработанным маслом)

В работе [13] рассмотрено понятие КПД фрикционной передачи «колесо-рельс». Для расчета КПД предложено использовать следующую формулу,

$$\eta = \frac{W_n}{W_{об}} = \frac{F_{сц} \cdot V_l}{F_{сц} \cdot V_l + F_{сц} \cdot V_{ск}} = \frac{1}{1 + \frac{V_{ск}}{V_l}}, \quad (1)$$

где η – КПД передачи; W_n – полезная мощность; $W_{об}$ – общая мощность; $F_{сц}$ – сила сцепления колеса с рельсом; V_l – скорость движения локомотива; $V_{ск}$ – скорость скольжения колеса относительно рельса.

Учитывая, что $V_{ск}/V_l$ представляет собой относительное скольжение ε , преобразуем формулу (1) к виду:

$$\eta = \frac{1}{1 + \varepsilon}. \quad (2)$$

Используя формулу (2) по результатам, представленным на рис. 7-10 определены величины скольжения (Ск.) и рассчитан КПД фрикционной передачи «колесо-рельс» при реализации силы тяги, соответствующей коэффициенту сцепления 0,2. Результаты расчетов сведены в табл.1.

Таблиця 1. КПД фрикционной передачи «колесо-рельс»

№	Фрикционное состояние рельса	Без песка		С песком		САВ	
		Ск., %	КПД, %	Ск., %	КПД, %	Ск., %	КПД, %
1.	Чистый, сухой	0,2	0,999	0,17	0,999	0,08	0,999
2.	Покрыт водою	11,1	0,900	0,39	0,999	0,26	0,999
3.	Покрыт ДТ	4,8	0,954	0,75	0,999	0,25	0,999
4.	Покрыт ОМ	17	0,854	1,7	0,983	0,53	0,999

Выводы и перспективы дальнейшего использования. Анализируя результаты, представленные на рис. 7-10 и в табл.1, можно сделать следующие выводы:

- вне зависимости от исходного фрикционного состояния САВ обеспечивает величину коэффициента сцепления не хуже 0,25;
- использование САВ при всех исследованных фрикционных состояниях оказывается более эффективным, по сравнению с подачей песка;
- при реализации силы тяги, соответствующей коэффициенту сцепления 0,2 КПД фрикционной передачи «колесо-рельс» при САВ превышает 0,999, за счет уменьшения критического скольжения на характеристике сцепления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів / О.В. Фомін // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 6(83). – С. 87-91.
2. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СЛУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
3. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності [Текст] / О.В. Фомін // Науковий журнал «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 4/1(24) – С. 83-89.
4. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text] / A. V. Fomin // East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. – № 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – 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).
5. Лужнов Ю.М. Сцепление колёс с рельсами (природа и закономерности) / Ю.М. Лужнов. – М.: Ин-текст, 2003. – 144 с.
6. Осенін Ю.І. Фрикційна взаємодія колеса з рейкою / Ю.І. Осенін, Д.М. Марченко, І.О. Шведчікова. – Луганськ: Вид-во СУДУ, 1997. – 227 с.
7. Gorbunov N. Clutch control in the system of «wheel-rail» / N. Gorbunov, M. Kovtanets, O. Prosvirova, E. Garkushin // Silesian University of Technology Faculty of Transport(Poland). – Transport Problems 2011, p. 432-440.
8. Горбунов Н.И. Обеспечение безопасности эксплуатации железнодорожных транспортных средств созданием инновационных решений песочной системы локомотива / Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, Н.Н. Горбунов, В.С. Ноженко, Е.А. Кравченко // Наукові вісті Дніпровського університету. Технічні науки. Електронне наукове фахове видання. – №3. – 2011. – http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_3/Tehno/11gnipsl.pdf – Дата доступу: 22.12.2011.
9. Голубенко А.Л. Повышение сцепных качеств локомотивов управлением фрикционным взаимодействием «колесо-рельс» / А.Л. Голубенко, Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, В.С. Ноженко, И.А. Цыгановский, В.В. Чмельов // Вісник СЛУ ім. В. Даля. – 2010. – Ч.1, № 5 (147). – С. 7-14.

10. Горбунов Н.И. Математическая модель процесса взаимодействия единичной абразивной частицы с очищаемой поверхностью рельса / Н.И. Горбунов, М.В. Ковтанец, И.А. Цыгановский, М.Н. Коршко, В.А. Левандовский // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2011. – Ч.2. – № 4 (158). – С. 38-45.
11. Ковтанец М.В. Улучшение сцепных характеристик локомотива струйно-абразивным воздействием на зону контакта движущего колеса с рельсом [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / М.В. Ковтанец; ВНУ им. В. Даля. – Северодонецк, 2015. – 206 с.
12. Патент на корисну модель №65999, кл. G01N 3/40 Машина тертя для вивчення фрикційних властивостей контакту «колесо-рейка» / Костюкевич О.І., Горбунов М.І., Ковтанець М.В., Ноженко В.С., Черніков В.Д., Цигановський І.О.; заявник і власник СХУ ім. В.Даля. – u201105040; заявл. 20.04.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24. – 4 с.
13. Голубенко А.Л. Экспериментальные исследования фрикционных свойств контакта «колесо-рельс» / А.Л. Голубенко, А.И. Костюкевич, Е.А. Кравченко, С.В. Попов, В.С. Ноженко, М.В. Ковтанец // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2010. – Ч.1. – № 5 (147). – С. 14-20.
14. Слащов В.А. Тягові та гальмові розрахунки на рейковому транспорті / В.А. Слащов. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2005. – 182 с.

Nikolay Gorbunov, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor
(Professor, Railway Transport Chair, East Ukrainian National University named after V. Dahl)
Maksim Kovtanets, PhD (Technical Sciences)
(Associate Professor of Railway Transport Chair, East-Ukrainian National University named after V. Dahl)
Olga Prosvirova
(Junior Researcher, East-Ukrainian National University named after V. Dahl)
Dmitry Sobol
(student of Rolling Stock Maintenance and Repair Chair, Ukrainian State University of Railway Transport (UkrSURT))

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE EFFECTIVENESS OF JET ABRASIVE IMPACT ON THE RAILS TO IMPROVE THE FRICTION PROPERTIES OF «WHEEL-RAIL» TRIBOCONTACT

The article describes the results of experimental verification of the effectiveness of jet abrasive impact on rails as one of the possible ways of increase of efficiency of use of sand to improve frictional contact properties of «wheel-rail» system. Jet-abrasive impact ensures a directed flow of abrasive material under the action of compressed air on the surface of the rail, affecting the friction condition of the wheel-rail contact, which consists in the removal of surface contamination, the formation of surface roughness, the actual supply of sand in the contact of the wheel with the rail. Under frictional properties means the dependence of coefficient of sliding friction rolling sliding temperature in contact. According to the dependencies characteristics of the clutch for the selected friction conditions were built. As the initial frictional state of the surface of the rail were used: clean and dry surface; moist surface; surface covered with diesel fuel; surface covered with used oil. Statistical processing of obtained experimental data shows that the sand slightly increases the coefficient of friction and creates more adverse conditions of contacting for interactive surfaces. In jet-abrasive impact is the destruction of contaminants on the surface of the rail, as well as their carryover reflected shock, which carries refined products from the zone of contact. Thus on the surface of the rail is virtually no abrasive material that can cause a resistance to movement, as in the case of the use of sand in the studied feeding performance.

Keywords: *abrasives, friction coefficient, abrasive jet impact, frictional transmission efficiency.*

REFERENCES

1. Fomin O.V. Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv / O.V. Fomin // Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho». – Kremenchuk: KDPU, 2013. – Vyp. 6(83). – S. 87-91.
2. Fomin, O.V. Koncepcija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
3. Fomin, O. V. Vprovadzheniya of cruglic pipes in NESC systems napowan W zabezpecheny razvaliny pokaznikov mcnet [Text] / O. In Fomn // [the journal «Technology audit and production reserves». – Kharkiv, 2015. – № 4/1(24) – S. 83-89.
4. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text] / A. V. Fomin // East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. – № 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – 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).
5. Luzhnov Ju.M. *Sceplenie koljos s rel'sami (priroda i zakonornosti)* [Clutch wheel rails (nature and regularity)]. Moscow, Intekst Publ., 2003. 144 p.
6. Osenin Ju.I., Marchenko D.M., Shvedchikova I.O. *Frikcijna vzaemodija koleasa z rejkoju* [Friction interaction with rail wheels]. Lugansk, EUSU Publ., 1997. 227 p.
7. Gorbunov N. *Clutch control in the system of «wheel-rail»* / N. Gorbunov // Silesian University of Technology Faculty of Transport(Poland). – Transport Problems 2011, p. 432-440.
8. Gorbunov N.I., Kovtanec M.V., Gorbunov N.N., Nozhenko V.S., Kravchenko E.A. Obespechenie bezopasnosti jekspluatatsii zheleznodorozhnyh transportnyh sredstv sozdaniem innovacionnyh reshenij pesочноj sistemy lokomotiva [Ensuring the safety of operation of rail vehicles provide innovative solutions to the sand of the locomotive system]. *Naukovi visti Dalivskogo universitetu – Science news Dahl University*. 2011. issue 3. Available at: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_3/Tehno/11gnipsl.pdf
9. Golubenko A.L., Gorbunov N.I., Kovtanec M.V., Nozhenko V.S., Cyganovskij I.A., Chmel'ov V.V. Povyshenie scepnykh kachestv lokomotivov upravleniem frikcionnym vzaimodejstviem «koleso-rel's» [Increasing the quality of coupling locomotives operated frictional interaction «wheel-rail»]. *Visnik Shidnoukraińskogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl]. Lugansk, Vladimir Dahl EUNU Publ, 2010, issue 1, № 5 (147), pp. 7-14.
10. Gorbunov N.I., Kovtanec M.V., Cyganovskij I.A., Korshko M.N., Levandovskij V.A. Matematicheskaja model' processa vzaimodejstviya edinichnoj abrazivnoj chasticy s ochishhaemoj poverhnost'ju rel'sa [A mathematical model of the interaction of a single abrasive particles from the cleaning surface of the rail]. *Visnik Shidnoukraińskogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl]. Lugansk, Vladimir Dahl EUNU Publ, 2011, issue 2, № 4 (158), pp. 38-45.
11. Kovtanets M.V. *Uluchshenie scepnykh harakteristik lokomotiva strujno-abrazivnym vozdejstviem na zonu kontakta dvizhushhego koleasa s rel'som* PhD Diss. [Improving the cohesion characteristics of the locomotive with the jet-abrasive impact on the contact zone of the driving wheel and rail PhD Diss.]. Severodonetsk, 2015. 206 p.
12. Kostjukevich O.I., Gorbunov M.I., Kovtanec' M.V., Nozhenko V.S., Chernikov V.D., Ciganov'skij I.O. *Mashina tertja dlja vivchennja frikciynih vlastivostej kontaktu «koleso-rejka»* [Machine to study friction frictional contact properties «wheel-rail»]. Patent UA, no. u201105040, 2011.
13. Golubenko A.L., Kostjukevich A.I., Kravchenko E.A., Popov S.V., Nozhenko V.S., Kovtanec M.V. Jeksperimental'nye issledovanija frikcionnyh svojstv kontakta «koleso-rel's» [Experimental studies of frictional contact properties «wheel-rail»]. *Visnik Shidnoukraińskogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Vladimir Dahl]. Lugansk, Vladimir Dahl EUNU Publ, 2010, issue 1, № 5 (147), pp. 14-20.
14. Slashhov V.A. *Tjagovi ta gal'movi rozrahunki na rejkovomu transporti* [Traction and braking calculations rail transport]. Lugansk, Vladimir Dahl EUNU Publ, 2005, 182 p.

УДК 621.315.612

В. І. Данілевський, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

Т. М. Мельник, к.х.н.

(технічний директор ООО НПП «Укрпромвпровадження»)

Ю. М. Черних, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

В. М. Олійник

(аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

СУЧАСНІ ВІТЧИЗНЯНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Система електричної ізоляції «Термоліт» заснована на ізоляційних матеріалах, вироблення НВП «Укрпромвпровадження», поєднує в собі передові технології світових лідерів в області електричної ізоляції, вони виготовлені відповідно до національних стандартів.

«Укрпромвпровадження» в даний час забезпечує виробництво повного спектру електричних ізоляційних матеріалів в Україні

Ключові слова: електрична ізоляція, Термоліт, «Укрпромвпровадження».

Система электрической изоляции «Термолит» основана на изоляционных материалах, производимых НПП «Укрпромвнедрение» и сочетающих в себе передовые технологии мировых лидеров в области электрической изоляции, они изготовлены применительно к национальным стандартам.

«Укрпромвнедрение» в настоящее время обеспечивает производство полного спектра электрического изоляционного материала в Украине.

Ключевые слова: электрическая изоляция, Термолит, «Укрпромвнедрение».

Протягом 2010-2015 років науковці, спеціалісти підприємств різних галузей виробництва, які зайняті ремонтом тягових електричних машин та трансформаторів проводили аналіз їх роботи за участю наукових працівників НВП «Укрпромвпровадження» та Державного економіко-технологічного університету транспорту. При проведенні ремонту застосовувалась електрична ізоляція вітчизняного виробництва різних класів нагрівостійкості [6].

У серпні 2015 р. відбулася презентація ПАТ «Українські залізниці», на якій були визначені основні напрями розвитку залізничної галузі, в тому числі і завдання з відновлення технічного стану залізничного рухомого складу шляхом проведення капітальних та відновлювальних ремонтів на підприємствах галузі [4]. Як свідчить аналіз роботи, більше 30% електровозів відмовили через передчасний вихід із ладу тягових електричних машин [3].

© Данілевський В. І., Мельник Т. М., Черних Ю. М., Олійник В. М., 2016

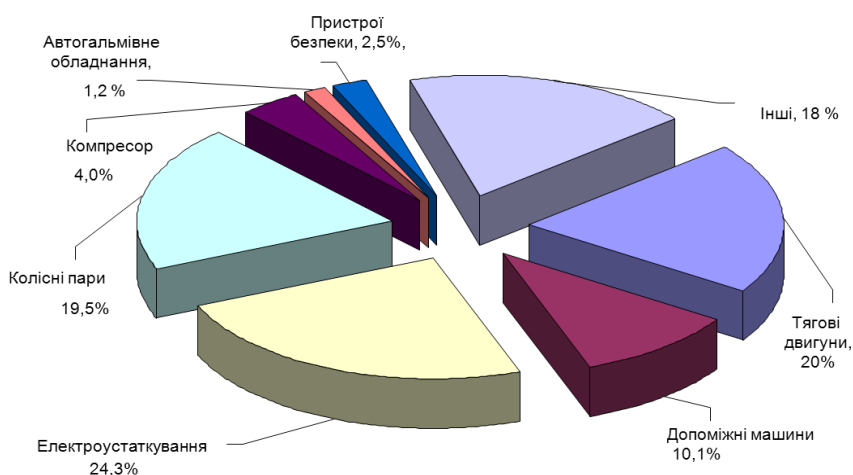


Рис. 1. Розподіл причин позапланових ремонтів електровозів

При тому розподіл несправностей тягових електродвигунів такий:

- биття колектора 3%;
- злом вала 2%;
- потрапляння мастила в остов 7%;
- пробій ізоляції та міжвиткове замикання в якорі 30%;
- пробій ізоляції та міжвиткове замикання головних та додаткових полюсів, компенсаційних обмоток 8%;
- пошкодження якорних бандажів 4%;
- пошкодження з'єднань між полюсами, виводів котушок полюсів 3%;
- пошкодження вивідних проводів 2%;
- виплавлення припою із півників колектора 6%;
- пошкодження якорних підшипників 10%;
- пошкодження кронштейнів, траверс, щіткотримачів 2%;
- пошкодження інших вузлів ТЕД 9%;
- низька ізоляція обмоток 6%;
- інші пошкодження 8%.

Як виявилось, причина передчасного виходу із ладу тягових двигунів є ненадійні властивості електричної ізоляції, які не відповідають основним вимогам: термічним (стійкість до змін температури, низька теплопровідність), фізико-механічним (абразивна стійкість до пилу, низька міцність під час розтягування, стискання, здвигів та стійкість до вібрації), електричним і діелектричним (низька електрична міцність та стійкість до довгочасних високих напруг), іншим (вологостійкість, стійкість до хімічних дій).

Протягом багатьох років при будівництві і ремонті тягових електричних машин застосовувалась електрична ізоляція, яка була виготовлена на основі натуральних матеріалів: тканин, азбесту, міканіту, скла, паперу, бітуму та інших. Основним недоліком електричної ізоляції є безсистемне застосування матеріалів з різним класом нагрівостійкості, різним хімічним складом та механічними і електричними властивостями, що не давало можливості створити систему, та в свою чергу скорочувало термін експлуатації і зменшувало міжремонтний пробіг тягового і моторвагонного рухомого складу.

З моменту виготовлення тягових електричних машин і до сьогоднішнього дня вирішується питання удосконалення електричної ізоляції електричних машин, застосовуючи матеріали з кращими електричними і механічними властивостями порівняно з матеріалами, які застосовуються. Тривалий час основні компоненти електричної ізо-

ляції постачалися із-за кордону, переважно з російських підприємств, що стримувало розвиток власного виробництва на підприємствах України. Особливо треба відзначити вартість електричної ізоляції. В сучасних технологіях ремонту електричних машин вартість ізоляції складає 50-80% вартості інших матеріалів. Враховуючи той момент, що в процесі експлуатації і при ремонті електрична ізоляція міняється повністю або частково то складова вартості значно зростає. В сучасних системах електроізоляційних матеріалів застосовується більш широка номенклатура матеріалів, яка дає можливість збільшити міжремонтні пробіги, що дасть можливість зменшити витрати на експлуатацію електричних машин і транспорту в цілому [1], [2], [7].

Починаючи з 1998 р. підприємства України активізували власне виробництво електроізоляційних матеріалів. Серед лідерів з розробки і виробництва електроізоляційних матеріалів і обладнання щодо їх використання було і є на сьогоднішній день Науково-виробниче підприємство «Укрпромвпровадження». Перелік матеріалів та документації, згідно з якою вони випускаються, наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Перелік нормативно-технічної документації на електроізоляційні матеріали виробництва НВП «Укрпромвпровадження»

Найменування матеріалу, марка	Документація
Мікастрічка	ГОСТ 4268-75
Матеріали електроізоляційні плівкомісткі	ТУ У 25.2-35141676-005:2012
Лакотканини електроізоляційні	ТУ У 20.3-35141676-007:2014
Склотканина просочена	ТУ У 20.3-35141676-008:2014
Мастика електроізоляційна термореактивна	ТУ У 20.3-35141676-006:2014
Компаунд просочувальний електроізоляційний ЕЛПЛАСТ®-155 ІД, ЕЛПЛАСТ®-180 ІД	ТУ У 20.3-35141676-010:2016
Склотекстоліт електротехнічний листовий	ГОСТ 12652-74
Матеріал термостійкий Гаматерм ®	ТУ У 17.5-35141676-003:2010
Матеріал Гамалайт®	ТУ У 17.5-35141676-004:2010

Ефективність нових електроізоляційних матеріалів реалізується головним чином через системи ізоляції тягових електричних машин і трансформаторів, які, загалом, визначають експлуатаційні характеристики – довговічність і надійність в експлуатації. На сьогоднішній день підприємство освоїло виробництво матеріалів з яких є можливість створювати системи електроізоляційних матеріалів, в основу яких покладено сучасні матеріали вітчизняного виробництва, серед них слюда і матеріали на її основі, склотканини і склопапір, полімерні плівки, натуральний і синтетичний папір і картон, різні просочувальні і покривні склади(лаки, компаунди, емалі). Властивості цих матеріалів дозволяють підвищити експлуатаційну надійність роботи тягових електричних машин. Вона залежить перш за все від класу нагрівостійкості матеріалів, які застосовуються, їх електричної та механічної міцності та вологостійкості. Зміст системи ізоляції та область застосування подані в табл. 2 і табл. 3.

Пропонуються системи електричної ізоляції, які застосовуються при ремонті тягових електричних машин і трансформаторів, як силових, так і низьковольтних, новітні вітчизняні системи електричної ізоляції, які відповідають основним вимогам до просочувальних складів: висока діелектрична характеристика, забезпечення класу нагрівостійкості, низька в'язкість, короткий час гелеутворення, висока текучість, достатній час життя, безпека і екологічність [5].

Таблиця 2. ТЕРМОЛІТ F(т) – система ізоляції для виготовлення та ремонту ТЕД локомотивів на основі ЕІМ виготовлення НВП «Укрпромвпровадження»

Область застосування	Обмотка статора			Обмотка якоря
	Котушка головного полюса Котушка додаткового полюса		Компенсаційна котушка	
	Resin Rich	VPI		
1	2	3	4	5
Виткова ізоляція	—	—	—	Стрічка слюдяна просочена ЕЛІЗ-ТЕРМ-155-ТПл т. 0,08 мм У 26.8-35141676-002:2009
Корпусна ізоляція	Стрічка слюдяна просочена ЕЛІЗ-ТЕРМ-155-ТПл т. 0,1-0,13 мм ТУ У 26.8-35141676-002:2009	Стрічка слюдяна непросочена ЛСКН-160-ТТ т. 0,13 мм ТУ У 22.2-35141676-009:2015	Стрічка слюдяна просочена ЕЛІЗТЕРМ-155-ТПл т. 0,10 мм ТУ У 26.8-35141676-002:2009	Компаунд просочувальний ЕЛПЛАСТ-155 ІД ТУ У 20.3-35141676-010:2016
	Компаунд просочувальний ЕЛПЛАСТ-155 ТУ У 20.3-35141676-010:2016	Компаунд просочувальний ЕЛПЛАСТ-155 ІД ТУ У 20.3-35141676-010:2016		
Міжвиткова ізоляція	Склолакотканина просочена ПС-ІФ ТУ У 20.3-35141676-008:2014	Склолакотканина просочена ПС-ІФ ТУ У 20.3-35141676-008:2014	Стрічка слюдяна просочена ЕЛІЗТЕРМ-155-ТПл т. 0,10 мм ТУ У 26.8-35141676-002:2009	—
Покрівна изоляція	Стрічка скляна електроізоляційна ЛЕСБ 0,2х20 ГОСТ 5937-81	Стрічка скляна електроізоляційна ЛЕСБ 0,2х20 ГОСТ 5937-81	Стрічка скляна електроізоляційна ЛЕСБ 0,1х20 ГОСТ 5937-81	Стрічка скляна електроізоляційна ЛЕСБ 0,1х20 ГОСТ 5937-81
Пазова ізоляція	—	—	—	Композиційні матеріали на основі плівок, склотканин і синтетичного паперу Ізофлекс, синтофлекс ТУ У 25.2-35141676-005:2012
Бандаж	—	—	—	Склобандажна стрічка ЛСБЕ – F(Y) 0,2 (прискореного сушіння) ТУ У 17234445771-001-2006

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5
Міжламельна ізоляція колектора	—	—	—	Пластини ізоляційні з колекторного слюдопласту КИФЕ, КИФЕ-А ТУ У 24.3-35141676-011:2016
Колекторні манжети	—	—	—	Формувальний міканіт ФФГ-А, ФМГ-А, 0,3-0,5 ГОСТ 6122-75
Допоміжні матеріали	Склотканина просочена ПС-ІФ ТУ У 20.3-35141676-008:2014, шнур-панчоха ШС ТУ У 26.1-31337015.002.2003, ланотканини ізоляційні ТУ У 20.3-35141676-007:2014, матеріал термостійкий Гаматерм ТУ У 17.5-35141676-003:2010, матеріал Гамалайт ТУ У 17.5-35141676-004:2010			
Конструкційні матеріали	Склотекстоліт СТЕФ-1 ГОСТ 12652-74			
Заповнення пустот	Мастика електроізоляційна термореактивна МЕТ ТУ У 20.3-35141676-006:2014			

Таблиця 3. ТЕРМОЛІТ Н(т) – система ізоляції для виготовлення та ремонту ТЕД локомотивів на основі ЕіМ виготовлення НВП «Укрпромвпровадження»

Область за-стосування	Обмотка статора			Обмотка якоря
	Котушка головного полюса Котушка додаткового полюса		Компенсаційна котушка	
	Resin Rich	VPI		
1	2	3	4	5
Виткова ізоляція	—	—	—	Стрічка слюдяна просочена ЕЛІЗТЕРМ-180-ТПм т. 0,10 мм ТУ У 26.8-35141676-002:2009
Корпусна ізоляція	Стрічка слюдяна просочена ЕЛІЗТЕРМ-180-ТПм т. 0,1-0,13 мм ТУ У 26.8-35141676-002:2009 Компаунд просочувальний ЕЛПЛАСТ-180 ІД ТУ У 20.3-35141676-010:2016	Стрічка слюдяна непросочена ЛСКН-160-ТТ т. 0,13 мм ТУ У 22.2-35141676-009:2015 Компаунд просочувальний ЕЛПЛАСТ-180 ІД ТУ У 20.3-35141676-010:2016	Стрічка слюдяна просочена ЕЛІЗТЕРМ-180-ТПм т. 0,10 мм ТУ У 26.8-35141676-002:2009	Компаунд просочувальний ЕЛПЛАСТ-180 ІД ТУ У 20.3-35141676-010:2016

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

Закінчення табл. 3

1	2	3	4	5
Міжвиткова ізоляція	Склолакотканина просочена ПС-ІФ ТУ У 20.3-35141676-008:2014	Склолакотканина просочена ПС-ІФ ТУ У 20.3-35141676-008:2014	Стрічка слюдяна просочена ЕЛІЗТЕРМ-180-ТПм т. 0,10 мм ТУ У 26.8-5141676-002:2009	—
Покрівна ізоляція	Стрічка скляна електроізоляційна ЛЕСБ 0,2х20 ГОСТ 5937-81	Стрічка скляна електроізоляційна ЛЕСБ 0,2х20 ГОСТ 5937-81	Стрічка скляна електроізоляційна ЛЕСБ 0,1х20 ГОСТ 5937-81	Стрічка скляна електроізоляційна ЛЕСБ 0,1х20 ГОСТ 5937-81
Пазова ізоляція	—	—	—	Композиційні матеріали на основі плівок, склотканин і синтетичного паперу Імідофлекс, синтофлекс ТУ У 25.2-35141676-005:2012
Бандаж	—	—	—	Склобандажна стрічка ЛСБЕ – Н(У) 0,2 (прискореного сушіння) ТУ У 17234445771-001-2006
Міжламельна ізоляція колектора	—	—	—	Пластини ізоляційні з колекторного слюдопласту КИФЕ, КИФЕ-А ТУ У 24.3-35141676-011:2016
Колекторні манжети	—	—	—	Формувальний міканіт ФФГ-А, ФМГ-А, 0,3-0,5 ГОСТ 6122-75
Допоміжні матеріали	Склотканина просочена ПС-ІФ ТУ У 20.3-35141676-008:2014, шнур-панчоха ШС ТУ У 26.1-31337015.002.2003, лакотканини ізоляційні ТУ У 20.3-35141676-007:2014, матеріал термостійкий Гаматерм ТУ У 17.5-35141676-003:2010, матеріал Гамалайт ТУ У 17.5-35141676-004:2010			
Конструкційні матеріали	Склотекстоліт СТ-ЕТФ ГОСТ 12652-74			
Заповнення пустот	Мастика електроізоляційна термореактивна МЕТ ТУ У 20.3-35141676-006:2014			

Аналіз роботи по ремонту тягових електричних машин на підприємствах: ПАТ Київський ЕВРЗ, ПАТ Запорізький ЕРЗ, ПАТ Львівський ЛРЗ, ПАТ Дніпропетровський ТРЗ, ПрАТ Смілянський ЕМЗ, свідчить, що є актуальні питання, які необхідно вирі-

шувати уже сьогодні, а саме: актуалізація конструкторської документації електричних машин; заміна морально застарілого обладнання (мийні машини, просочувальні автоклави, сушильні пічки, контрольно-вимірювальне, діагностичне і випробувальне обладнання); розширення асортиментна електронно-вимірювального обладнання вітчизняного виробництва.

Для покращення якості ремонту електричних машин необхідне використання нової системи ізоляції Термоліт F(т) і Термоліт Н(т), що дасть зменшення товщини ізоляції в пазу, з'явилася можливість збільшення поперечного перетину провідника міді котушок якорів та обмоток полюса, відповідно і потужності електричних машин.

З впровадженням вищезазначених систем електроізоляційних матеріалів вітчизняного виробництва значно зменшиться відсоток позапланового виходу із ладу тягових двигунів із роботи.

Висновки

1. Системи ізоляції ТЕРМОЛІТ мають високі термічні, діелектричні, технологічні властивості, що дозволить зменшити вартість ремонту і виготовлення електричних машин при одночасному покращенні якості ізоляції.

2. Використання систем ТЕРМОЛІТ дозволяє збільшити міжремонтний пробіг електрорухомого складу;

3. При використанні систем ізоляції ТЕРМОЛІТ і нових технологій можна збільшити потужності електричної машини на 10-15% за рахунок збільшення теплопровідності систем електричної ізоляції та збільшення перетину проводів обмоток якоря та головних і додаткових полюсів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дубинець Л. В., Момот О. І., Маренич О. Л. Електричні машини. Трансформатори. Асинхронні машини. – Д.: Вид-во. Дніпропетровський нац. ун-ту залізнич. транс. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 208 с.
2. Дубинець Л. В., Момот О. І., Маренич О. Л. Електричні машини. Синхронні електричні машини. Машини постійного струму. – Д.: Вид-во. Дніпропетровський нац. ун-ту залізнич. транс. ім. акад. В. Лазаряна, 2007. – 200 с.
3. Мельник Т. М. Обзор современных систем изоляции: критерии выбора. Опыт внедрения систем изоляции Термолит в Украине. // ООО НПП «Укрпромвнедрение» – Киев, 2016. – 44 с.
4. Департамент локомотивного господарства. Концепція експлуатації локомотивного парку у вантажному, пасажирському русі та приміських перевезеннях. Серпень, 2015 р.
5. Данилевський В. І., Тарасюк В. М. Конструкція електричних машин електропоїздів залізниць України: Монографія. – К.: ДЕТУТ, 2014. – 92 с.
6. Данилевський В. І., Мельник Т. М. Підвищення надійності роботи тягових двигунів тягового моторвагонного рухомого складу залізниць України // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Серія «Техніка, технологія». – К.: ДЕТУТ, 2008. – С. 38-40.
7. Черних Ю. М. Засновки впровадження нових електроізоляційних матеріалів при ремонті тягових електричних машин залізничного рухомого складу. – В кн.: Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології. // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. Серія «Техніка, технологія». – К.: ДЕТУТ, 2011. – С. 147-149.

V. I. Danylevskyi, PhD (Technical Sciences)

(Associate Professor of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

T. M. Melnyk, PhD (Chemistry Sciences)

(Technical Director ООО NPP «Ukrpromvprovdzhennia»)

Yu. M. Chernykh, PhD (Technical Sciences), Associate Professor

(Professor of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

V. M. Oliinyk

(Graduate Student Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

MODERN DOMESTIC SYSTEMS OF ELECTRIC INSULATING MATERIALS

Analysis of work electric locomotives shows that more than 30% of failures due to premature failure of electric traction vehicles, while the breakdown of insulation anchors, the main and additional poles, compensating windings, damaging connections between the poles, reels pole terminals account for 42% of failures. Usin insulation does not meet basic thermal, physical, mechanical, electrical and dielectric requirements. Scientific Production Enterprise «Ukrpromvprovadzhennya» insulation system developed for manufacturing and repairing locomotives traction motors Termolit F(t) and Termolit H(t), which meet the basic requirements of impregnating compositions, high dielectric characteristics, providing thermal class, low viscosity, short gelation time, high fluidity, sufficient time «life», safety and environmental friendliness.

When using isolation Termolit and new technology may increase the power of the electric machine by 10-15%, by increasing the thermal conductivity and electrical insulation systems increase winding wires crossing the anchor and head and poles, and increase turnaround of electromotive run.

Keywords: electrical insulation, Termolit, insulation materials.

REFERENCES

1. Dubynets L. V., Momot O. I., Marenych O. L. Elektrychni mashyny. Transformatory. Asynkhronni mashyny (Electrical machinery. Transformers. Asynchronous machines), Vyd-vo. Dnipropetrovskiyi nats.. un-tu zaliznych. trans. im. akad. V.Lazariana, 2004, 208 p.
2. Dubynets L. V., Momot O. I., Marenych O. L. Elektrychni mashyny. Synkhronni elektrychni mashyny . Mashyny postiinoho strumu (Electric cars. Synchronous electric cars. DC machines), Vyd-vo. Dnipropetrovskiyi nats.. un-tu zaliznych. trans. im. akad. V.Lazariana, 2007, 200 p.
3. Melnik T. M. Obzor sovremennyih sistem izolyatsii: kriterii vyibora. Opyit vnedreniya sistem izolyatsii Termolit v Ukraine. (Overview of modern insulation systems: the selection criteria. Experience of implementing insulation systems Termolit in Ukraine), ООО NPP «Ukrpromvnedrenie» Kiev, 2016, 44 p.
4. Departament lokomotyvnoho hospodarstva. Kontseptsiiia ekspluatatsii lokomotyvnoho parku u vantazhnomu, pasazhyrskomu rusi ta prymiskykh perevezenniakh (Department of locomotive economy. The concept of operation of the locomotive fleet of cargo, passenger traffic and commuter traffic). August 2015
5. Danylevskiy V. I., Tarasiuk V. M. Konstruktsiia elektrychnykh mashyn elektropoizdiv zaliznyts Ukrainy (Design of electric machines electric railways of Ukraine). Monohrafiia DETUT, 2014, 92 p.
6. Danilevskiy V. I., Melnyk T. M. Pidvyshchennia nadiinosti roboty tiahovykh dvyhuniv tiahovoho motorvahnnoho rukhomoho skladu zaliznyts Ukrainy (Increased reliability of traction motors traction motor-wagon rail transport Ukraine). Materialy chetvertoi mizhnarodnoi naukovo praktychnoi konferentsii. Seriia «Tekhnika, tekhnolohiia», K.: DETUT, 2008, pp. 38-40
7. Chernykh Yu. M. Zasnovok vprovadzhennia novykh elektroizoliatsiinykh materialiv pry remonti tiahovykh elektrychnykh mashyn zaliznychnoho rukhomoho skladu (Premise of introducing new insulating materials in the repair of traction electric cars rolling stock), V kn.: Problemy ta perspektyvy rozvytku transportnykh system v umovakh reformuvannia zaliznychnoho transportu: upravlinnia, ekonomika i tekhnolohii: Materialy V mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Seriia «Tekhnika, tekhnolohiia», K.: DETUT, 2011, pp. 147-149.

УДК 629.423

С. В. Каращук

(аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

АНАЛІЗ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

У статті виконано аналіз існуючих систем тягового електроприводу, визначено їх основні переваги та недоліки, розглянуто досвід використання різних типів електроприводів країнами світу.

Ключові слова: електропривід, електровоз, електропоезд, тяговий двигун.

В статті виконано аналіз існуючих систем тягового електроприводу, визначено їх основні переваги та недоліки, розглянуто досвід використання різних типів електроприводів країнами світу.

Ключевые слова: электропривод, электровоз, электропоезд, тяговый двигатель.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день існує велика кількість систем та засобів для регулювання тягового привода рухомого складу. Проте перед впровадженням тієї чи іншої системи слід проаналізувати, які характеристики вплинуть на роботу локомотива, його пристосованість до існуючих засобів технічного обслуговування, наявність достатньо кваліфікованого персоналу для роботи з обладнанням, економічна обґрунтованість впровадження системи на тяговий рухомий склад тощо.

Аналіз основних досліджень і публікацій. В публікаціях [1-3] проаналізовано режими роботи електрорухомого складу (ЕРС) та обґрунтовано необхідність підвищення його коефіцієнта корисної дії, проаналізовано вплив джерела живлення моделі тягового електропривода з широтно-імпульсним регулюванням напруги на якість його вихідних характеристик, розглянуті та обґрунтовані системи захисту напівпровідникових ключів від негативних наслідків комутації.

Мета статті – проаналізувати існуючі системи тягового електропривода. Визначити їх переваги та недоліки. Визначити економічну доцільність впровадження нових систем регулювання, проаналізувавши досвід їх експлуатації країнами світу, з'ясувати чи доцільне застосування подібних на тяговому рухомому складі залізниць України.

Виклад основного матеріалу

На перших етапах розвитку залізниць, локомотиви приводились у рух завдяки паровій тязі, відтоді розвиток науки та техніки настільки пройшов уперед, що існує велика кількість засобів для створення сили тяги [4]

Для ЕРС принцип створення сили тяги полягає у взаємодії магнітних полів. Серед них можна виділити роторні машини, та лінійні двигуни. Застосування лінійних двигунів, які реалізують силу тяги не внаслідок сил зчеплення колеса з рейкою, а шляхом взаємодії активних частин машини, укладених на рухомому складі й колії, є дуже проблематичним, принаймні в найближчому майбутньому, тому що потребує створення повністю автономних спеціальних магістралей зі своєю інфраструктурою, з колосальними капітальними витратами на їх створення, оснащення і експлуатацію [5].

© Каращук С. В., 2016

Отже, в подальшому актуально буде розглядати лише роторні електричні машини. Розподіл типів тягових передач залежно від джерела енергії тягового рухомого складу (ТРС) зображено на рис. 1.

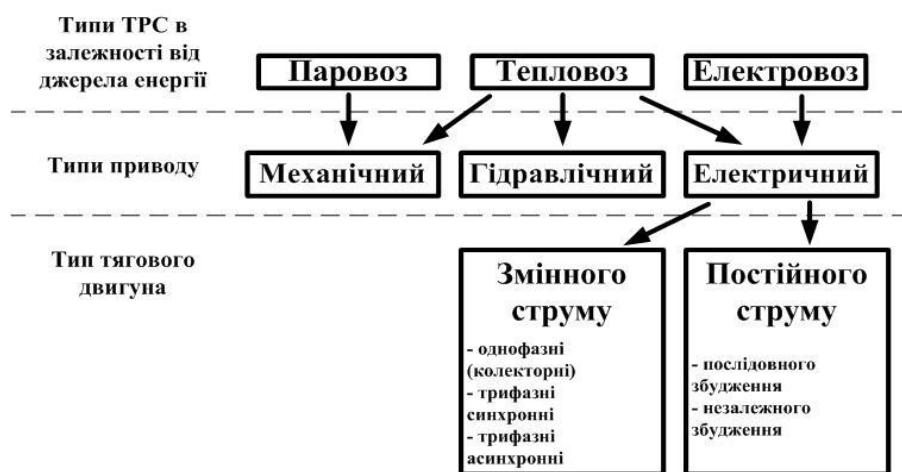


Рис. 1. Типи засобів створення сили тяги залежно від типу джерела енергії ТРС

Для кожного типу електричної машини характерні свої особливості експлуатації та систем регулювання. Відомо, що для машин постійного струму управління здійснюється шляхом зміни напруги, підведеної до тягового електродвигуна (ТЕД) та регулюванням величини магнітного потоку машини, для машин змінного струму – управління зміною амплітуди та частоти підведеної напруги. На рис. 2 зображено класифікацію ЕРС залежно від типу перетворювача та ТЕД.

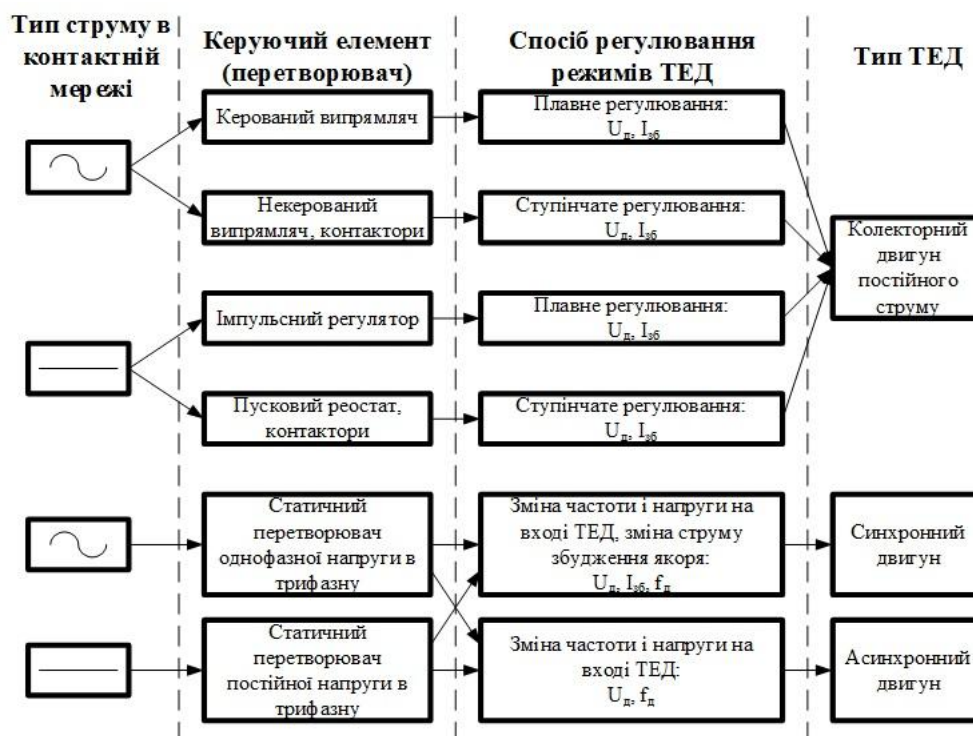


Рис. 2. Класифікація ЕРС залежно від типу перетворювача та ТЕД

Застосування громіздких контакторних (з індивідуальним чи груповим приводом) засобів регулювання тяговими двигунами не є ефективним. Такі пристрої потребують значних витрат на обслуговування і ремонт, адже мають низьку надійність та значну ресурсоемність ремонту.

Сучасний темп розвитку напівпровідникової та мікропроцесорної техніки, а також нові системи автоматизації та комп'ютерного управління дозволяють здійснювати один з найефективніших методів управління – імпульсне регулювання.

Очевидними перевагами імпульсного регулювання є повна або часткова відмова від контакторного методу регулювання. З'являється можливість застосування більш економічних типів тягових двигунів, підвищення надійності та зниження собівартості експлуатації локомотива.

Застосування імпульсного регулювання дозволить покращити плавність регулювання сили тяги, зменшити масу та габарити обладнання, підвищити надійність, що в свою чергу збільшить міжремонтні пробіги, а також забезпечить максимальне використання зчіпної ваги локомотива.

Процес переходу від контакторного (ступеневого) методу управління тяговим електроприводом до імпульсного (безступеневого) продовжується і дотепер. Адже кожен з існуючих методів управління двигуном локомотива має як переваги, так і недоліки. Згідно з класифікацією виділено п'ять поколінь систем регулювання ЕРС. Перше та друге покоління характеризуються застосуванням статичних перетворювачів з некерованими ртутними (перше покоління) та кремнієвими (друге покоління) випрямлячами. Системи регулювання з такими типами перетворювачів мають досить низький ККД, значну масу та великі габарити обладнання, що необхідно розмістити в електровозі. Тому продовжилась дослідницька робота науковців світу з покращення параметрів перетворювачів.

З розробкою керованого випрямляча (тиристора) розпочалась історія імпульсного регулювання тяговим електроприводом ЕРС. Дослідження проводились у двох напрямках: імпульсне регулювання напруги на ТЕД постійного струму та у напрямі розробки електровозів з трифазними тяговими двигунами змінного струму.

Трифазний тяговий двигун змінного струму в тяговому електроприводі електрорухомого складу

Роботи по створенню електровозів з асинхронними тяговими двигунами (АТД) були розвернуті у 1963 р. Після випробувань було створене та встановлене необхідне обладнання на перший експериментальний локомотив з асинхронними тяговими двигунами Вє4/4 12001. На електровозі проводились дослідження роботи електропривода, впливу роботи статичного перетворювача на мережу живлення та роботи по оптимізації конструкції обладнання. Було визначено низку недоліків такого приводу, та визначені основні напрями удосконалення [6].

У 1980 р. був побудований перший серійний локомотив з АТД. Це був універсальний чотиривісний електровоз змінного струму серії Е-120 потужністю 5600кВт і максимальною швидкістю 200км/год. Вже у 1987 р. почався серійний випуск електровозів, що склав 60 одиниць для Державної залізниці Німеччини.

Після цього для Державної залізниці Данії (DSB) була побудована партія електровозів подібного типу серії ЕА3000, а також декілька високошвидкісних електропоїздів ICE1, кінцеві вагони яких фактично являли собою окремі електровози з тяговим електроприводом електровоза серії 120.

Перші тягові перетворювачі були створені на основі одноопераційних тиристорів. Такі системи обов'язково обладнувалися схемами примусової комутації силових ключів та масивними фільтрами сторонніх гармонік струму, що зменшувало ККД та погіршувало масо-габаритні показники локомотивів.

У 1980-х рр. у Японії був винайдений двоопераційний тиристор GTO, що значно спростило конструкцію перетворювачів. Було створено низку перетворювачів та багато серій ЕРС різних систем живлення, силові системи управління тяговим електроприводом яких базувалися на двоопераційних тиристорах GTO.

Проте перетворювачі, в основі конструкцій яких були тиристори GTO, мали певні недоліки. Паралельно силовим виводам GTO тиристора обов'язково необхідно підключати демфуючі (снаберні) схеми захисту напівпровідникового приладу від перенапруги. При цьому в снабері втрачається частина потужності, яка залежить від навантаження тягового перетворювача. Це однозначно вимагало підвищення вимог до демфуючих схем, застосування підвищеного класу точності безіндуктивних ланцюгів, що в свою чергу збільшувало вартість тягового електроприводу. Також втрати в снаберних колах знижували ККД приводу.

Технічним рішенням щодо підвищення ефективності силових напівпровідникових приладів, яке б дозволило об'єднати позитивні якості як біполярних транзисторів, так і польових транзисторів було створення монолітної структури названих IGBT, тобто біполярних транзисторів з ізолюваним затвором.

В 1983 р. вперше було запатентовано технологію IGBT, які з 1990-х рр. успішно застосовувались в різних галузях господарства.

Біполярні транзистори з ізолюваним затвором IGBT не мають недоліків GTO. Вони представлені приладами, що управляються електричним полем між затвором та емітером і тому для його керування не потрібно великої кількості енергії. Для управління ним не потрібен великий струм, який заряджає та розряджає затвор приладу.

Створення новітніх IGBT електронних пристроїв призвело до створення нового покоління сучасного парку вантажних та пасажирських електровозів, швидкісних електропоїздів та рухомого складу метрополітену з трифазними тяговими двигунами, а також модернізації існуючого ЕРС з іншими системами регулювання тяговим електроприводом.

Основою системи регулювання ЕРС з асинхронним тяговим двигуном (АТД) (рис. 3) є тяговий перетворювач. Тягові перетворювачі ЕРС можуть мати різну структуру. При виборі структури перетворювача треба виходити з конкретних умов роботи тягового електропривода і забезпечити необхідний техніко-економічний рівень.

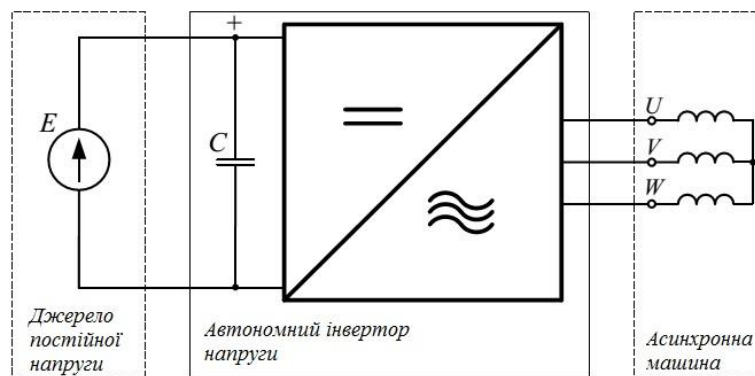


Рис. 3. Принципова схема ЕРС з АТД

Для управління АТД існує три основні принципи регулювання:

- регулювання за абсолютною частотою ковзання;
- регулювання кута моменту (векторне управління);
- пряме керування моментом.

Основою методу регулювання за абсолютною частотою ковзання є залежності струму статора та обертового моменту залежно від частоти ковзання. Основною перевагою методу є відносна простота системи управління, а основними недоліками такого принципу є:

- використання параметричної залежності струму статора та моменту від частоти ковзання, що можуть відрізнятися у різних двигунів однієї серії;
- необхідність корегування частоти ковзання залежно від температури обмотки ротора;
- неможливість безпосереднього вимірювання температури обмотки короткозамкненого ротора.

Регулювання по куту моменту (векторне регулювання) дає більш точніші результати ніж по абсолютному ковзанню, оскільки кут моменту не залежить від зміни температури обмотки ротора. Проте недоліком є наявність великої кількості датчиків та складність системи управління, що в свою чергу значно підвищує вартість як системи управління, так і системи діагностики, та може призвести до зниження надійності локомотива в цілому.

Система прямого керування моментом використовує лише датчики струму та напруги, що значно спрощує систему управління та систему діагностики. Система управління побудована без використання датчиків швидкості, що спрощує також і монтаж системи управління. Пряме управління електромагнітним моментом АТД здійснюється комутацією ключів інвертора з таким розрахунком, щоб перехід від одного можливого положення вектора напруги статора до іншого забезпечував необхідні значення потокозчеплення статора і кута між векторами потокозчеплення і струмом ротора. Це потребує спеціалізованих систем та алгоритмів керування і впливає на складність, а отже і вартість системи управління та діагностики. Задовільну якість перехідних процесів буде забезпечено, якщо похибка оцінок опорів обмоток статора і ротора не перевищить 5%. Тому в системі повинні бути передбачені алгоритми адаптації до нагрівання обмоток двигуна.

За структурою силової схеми можна виділити декілька типів. Проте в основному на залізничному транспорті в тяговому електроприводі використовують лише автономні інвертори напруги для живлення АТД. Умовно їх можна поділити на:

- ЕРС з груповим живленням АТД, коли від одного інвертора напруги живляться декілька тягових асинхронних двигунів;
- ЕРС з індивідуальним живленням АТД, коли для кожного асинхронного двигуна встановлено окремий інвертор напруги.

До ЕРС з груповим живленням АТД належать пасажирські електропоїзди та електровози (електровози ДСЗ, ЕП10, електропоїзди НРCS2, ЕКp1, ІСЕ тощо). При груповому живленні АТД зменшується кількість статичних перетворювачів напруги, яку необхідно встановити на електровози, та зменшується складність системи управління, що впливає на початкову вартість локомотива. Проте це знижує зчіпні властивості локомотива, адже відсутня можливість повісного регулювання сили тяги, також можливий несиметричний перерозподіл навантаження на АТД при незначних відхиленнях в їхніх параметрах.

Ці недоліки відсутні у електрорухомому складі з індивідуальним живленням АТД. При цьому кожен тяговий двигун має свій інвертор напруги. Отримавши завдання на створення сили тяги, такий локомотив здатний самостійно виявити найнедовантаженішу колісну пару, та збільшити (або зменшити при наявності буксування) підведену до неї потужність. Така система зазвичай встановлюється на вантажних локомотивах, коли важливо отримати максимально допустимі сили тяги.

Зважаючи на вищезазначене, можна зробити висновок про ефективність електрорухомого складу з АТД, проте впровадження таких технологій передбачає значні витра-

ти на розвиток інфраструктури, особливо з регулювання та управління витратами електричної енергії на тягу поїздів, необхідності залученні при обслуговуванні більш кваліфікованого персоналу і новітніх засобів діагностики та ремонту, відкриття нових дільниць та цехів в депо та пунктах технічного обслуговування, що також передбачає значні витрати. Якщо взяти до уваги критерій енергоефективності, то порівняємо коефіцієнти корисної дії електровозів постійного струму з реостатно-контакторною системою управління і колекторним ТЕД та з АТД. Електровоз ВЛ11м з ККД тривалого режиму без врахування допоміжних машин складає не менше 90%, аналогічний показник для електровоза постійного струму з асинхронним тяговим електроприводом 2ЭС10 складає не менше 87,5%. З цього випливає необхідність у пошуку іншого методу підвищення енергоефективності електрорухомого складу постійного струму.

ЕРС з імпульсним регулюванням напруги ТЕД постійного струму

Імпульсні системи управління тяговим приводом, називаються такі в яких використовується один або декілька імпульсних перетворювачів для регулювання параметрів засобами дискретної (переривчастої) зміни іншого параметра.

В основі принципу роботи імпульсного перетворювача енергії лежить ключовий режим роботи напівпровідникового пристрою, який здійснює періодичне підключення напруги живлення до вхідної схеми перетворювача.

При імпульсному регулюванні напруги на ТЕД економиться частина електричної енергії, яка на існуючому ЕРС постійного струму безповоротно витрачається в пускових резисторах. Це особливо стосується рухомого складу міського та приміського сполучення, який має часті зупинки [8].

Заміна контакторної системи управління на безконтактні імпульсні системи управління дозволяють отримати такі переваги, а саме:

- застосування безреостатного пуску і рекуперативного гальмування у всьому діапазоні робочих швидкостей рухомого складу, що працює з частою зміною режиму руху, під час розгону дозволяє знизити витрату електроенергії на 25-40%;
- безступінчасте регулювання струму в тягових електродвигунах забезпечує плавність пуску і гальмування рухомого складу;
- заміна контактної апаратури більш надійними в експлуатації безконтактними елементами дозволяє знизити витрати на поточне обслуговування електрообладнання;
- зменшення струмів тягової мережі при пусках і повернення електроенергії в мережу при рекуперативному гальмуванні зменшують падіння напруги в тяговій мережі і, отже, підвищують середній рівень напруги в ній, що дозволяє додатково збільшити швидкість рухомого складу;
- дозволить створити більш сучасніші системи автоматичного регулювання процесів тяги та гальмування;
- створення безреостатних систем тяги з граничними силами тяги по умовах зчеплення;
- через відсутність неефективного реостатного регулювання, з'являється можливість застосування ТЕД з високими швидкісними характеристиками, що сприятиме підвищенню швидкості руху ТРС.

Перші дослідження та експериментальні впровадження імпульсного регулювання напруги на ТЕД постійного струму було проведено в багатьох країнах (Німеччина, Японія, Англія, США та ін.) після створення перших силових тиристорів. Так в 1963-1965 рр. у Німеччині було створено дослідні зразки деяких промислових електровозів невеликої потужності та акумуляторний електровагон [8].

В 1965-1970 рр. вперше були досліджені тиристорно-імпульсні системи управління тяговим електроприводом на залізницях СРСР. Вони були випробувані на електропоїздах постійного струму СРЗА6М, ЭР2 та ЭР22. Переобладнані електропоїзди досить тривалий період часу експлуатувалися на Прибалтійській залізниці. Одночасно

проводились дослідження можливості впровадження тиристорно-імпульсної системи управління на метрополітені. Вони виконувалися двома науковими групами спеціалістів МПТА під керівництвом професора В.С. Хвостова і доцента А.І. Хоменко. В 1966 р. на Тбіліському електровозобудівному заводі за участі наукової групи МЕІ під керівництвом професора В.Е. Розенфельда був побудований експериментальний електровоз постійного струму з частотно-імпульсними перетворювачами [9].

На електропоїзди ЕР2 для плавного підвищення напруги ТЕД була прийнята широтно-частотна система, при якій спочатку (протягом 1 сек.) проводився частотний пуск, при якому частота змінювалась від 150 до 400 Гц, а потім при досягненні напруги біля 600 В стабілізувалась на рівні 400 Гц. В подальшому напруга підвищувалась широтно-імпульсним методом і при досягненні 92% напруги контактної мережі, коли попарно послідовно увімкнені ТЕД, практично повністю знаходились під напругою контактної мережі – перетворювач закорочувався [10].

У вересні 1965 р. у Японії були проведені дослідження щодо застосування імпульсного регулювання на електропоїзді постійного струму. На дослідному вагоні з напругою живлення 600 В, було встановлено тиристорний імпульсний перетворювач для безреостатного пуску і реостатного гальмування. Перетворювач мав потужність 110 кВт і регулював напругу на двох двигунах потужністю 55 кВт одного візка з струмами тяги та гальмування 200 А. Також було створено ряд декількох дослідних зразків моторних вагонів з імпульсною модуляцією регулюючого сигналу з змінною частотою в діапазоні 30-80 Гц.

Проте така низька частота комутації призводила до неможливості згладжування пульсацій струмів та напруги мережі живлення вхідними індуктивно-ємнісними фільтрами. Тому в результаті досліджень була створена дослідна серія з двох моторних вагонів з чотирма двигунами потужністю 4х95кВт на кожному вагоні, які були постійно увімкнені послідовно. ТЕД були підключені до загальної системи живлення за допомогою паралельних переривачів через роздільний дросель. Робота всіх перетворювачів була синхронізована таким чином, що спожитий струм, від загального індуктивно-ємнісного фільтра мав в 4 рази більшу частоту ніж частота кожного окремого переривача. Частота переривача змінювалась від 45 до 200 Гц. Установка налічувала 52 тиристора та 44 діода. Досліджені в 1968-1969 рр. схемні рішення були прийняті за основу і впровадженні у розробці електропоїздів метрополітену Токіо «Гейто» з імпульсним регулюванням [8].

У 1964 р. спеціальне конструкторське бюро по електровозах Грузинської РСР, використало проведені Московським енергетичним інститутом дослідження, розробило технічний проект восьмивісного електровоза постійного струму, розрахованого на роботу під напругою як 3кВ так і 6кВ. Проектом передбачалося використання кузова, візків, тягових електродвигунів і допоміжних машин електровоза ВЛ8. При роботі електровоза від мережі 3кВ всі його тягові параметри збереглися, як у серійного локомотива; при напрузі 6кВ потужність ТЕД зменшилася до 312 кВт, а швидкість годинного режиму до 23 км/год. Перетворювальна установка була спроектована з 12-ма тиратронами та інверторним трансформатором; постійний струм високої напруги спочатку перетворювався в трифазний струм підвищеної частоти, який потім трансформувався в струм більш низької напруги, випрямлявся і надходив для живлення ТЕД. Спеціальні тиратрони розраховувалися на середній струм 85 А і напругу 15 кВ. Електровоз отримав індекс та став називатись ВЛ8^н.

На іншій секції був змонтований імпульсний частотний статичний перетворювач постійного струму в постійний струм регульованої напруги. Цей перетворювач складався з шести фаз, у кожній з яких були реактори, конденсатори, тиристори й діоди. При цьому потужність тягових електродвигунів при напрузі в контактній мережі 6 кВ використовувалася повністю, а при напрузі 3 кВ – на 80%; максимальна напруга на

виході перетворювачів становила відповідно 3600 і 2400 В, тобто напруга на ТЕД – 1800 і 1200 В. Частота імпульсів тиристорів при регулюванні напруги змінювалася від 14 до 400 Гц, тобто частота пульсації струму секції від 84 до 2400 Гц.

Секція електровоза з тиристорним перетворювачем мала 120 тиристорів ВКДУ-150-6 (150 А, 6-й клас) і 156 діодів ВКД-200-7. Вага цієї секції близько 92 т, тобто перевищувала вагу секції серійного електровоза ВЛ8.

У 1969 р. секція тиратронів була переобладнана згідно з тиристорною, також згодом було встановлено обладнання для здійснення рекуперації.

У 1970 р. на електропоїзді ЕР2-830 було замінено реостатно-контакторну систему управління на імпульсні перетворювачі у двох моторних вагонах. У 1971 р. було замінено ще на двох тобто електропоїзд був повністю переобладнаний на імпульсний пуск. Електропоїзд в подальшому отримав індекс і отримав назву серії ЕР2и.

Досвід експлуатації електропоїздів з імпульсним регулюванням напруги було використано при конструюванні нової серії електропоїздів з імпульсним регулюванням напруги. У вересні 1976 р. Ризький вагонобудівний завод випустив електропоїзд ЕР12-6001 з тиристорно-імпульсним перетворювачем.

На електропоїзді було встановлено двофазні тиристорно-імпульсні перетворювачі ТИП-1320/3У, в яких використовувався широтно-імпульсний метод регулювання напруги з постійною частотою 400 Гц. За допомогою перетворювача плавно регулювалася напруга на двох послідовно увімкнених ТЕД, в межах від 5 до 95% від напруги контактної мережі, а також плавне регулювання збудження двигунів від 100 до 50%. Плавна зміна напруги дозволила підвищити уставку пускового струму до 220 А (на електропоїздах ЕР2 уставка становила 190 А), тобто збільшилось прискорення. У 1978 р. були проведені тягово-енергетичні випробування електропоїзда, які, у порівнянні з електропоїздом ЕР2, на відстані розгону 1,5 км середнє прискорення з $0,57 \text{ м/с}^2$ (у електропоїзда ЕР2) підвищилось до $0,71 \text{ м/с}^2$, витрата електроенергії зменшилась на 8,5-10% [11].

Проте в подальшому серійного випуску електропоїзда не відбувалось. Завод виробник відмовився від електропоїздів з дорогим устаткуванням, що також не мали достатню надійність статичних перетворювачів. Ремонт електропоїздів був дуже затратним. Тому більшість електропоїздів була переобладнана на систему серійних одиниць електропоїздів ЕР2 з пусковими резисторами та реостатними контролерами.

Впровадження тиристорних схем в тяговому електроприводі призвело до необхідності вимірювання впливу роботи таких перетворювачів на роботу силового устаткування, лінії зв'язку та систем СЦБ. Тому були проведені дослідження впливу роботи тиристорних перетворювачів, та створені спеціальні засоби вимірювання.

Тиристорно-імпульсна система управління тяговим електроприводом застосовувалася на рухомому складі міського транспорту. Так серед дослідних зразків імпульсна система застосовувалася на вагонах трамвая КТМ-5М, 71-608 і 71-619Т, а також малосерійних РВ3-7, ЛВС-86Т, ЛВС-86М, 71-605М [7]. Досить широкого поширення в СРСР з 1987 р. отримали імпортовані чеські трамваї ТАТРА-Т6В5. На їх основі Дніпропетровським підприємством «Южмаш» і Свердловським «Уралмаш» були згодом створені свої моделі трамваїв з імпульсною системою. В Білорусі імпульсна система управління тяговим приводом використовується у вагонах АКСМ-1М, АКСМ-60102 і АКСМ-743. З кінця 1980-х рр. завод імені Урицького у м. Енгельс Саратовської області налагодив серійний випуск членованих тролейбусів ЗиУ-683 (ЗиУ-10) (пізніше – ЗиУ-6205) на базі регулятора РТ-300 / 700Б2М. У Санкт-Петербурзі в 1996 р. одна машина ЗиУ-682В00 № 1639 при капітальному ремонті була обладнана тиристорно-імпульсною системою регулювання МЕРА-2.

Технології імпульсного регулювання напруги на ТЕД постійного струму застосовувались на електропоїзді «Яуза», побудованого ЗАО «Метровагонмаш» у 1998 р. Поїзд

отримав номер моделі 81-720/81-721. Розробником і постачальником перетворювачів для вагонів був завод «Динамо». Усього до 2000 р. було побудовано 56 вагонів метрополітену (8 семивагонних поїздів). Проте проведені тягово-енергетичні випробування довели, що у електропоїзда у порівнянні з серійним електропоїздом 81-717/81-714 з реостатно-контакторною системою управління витрата електроенергії на тягу збільшилася на 7,5%, а гальмівні шляхи збільшились з швидкості 40-90 км/год на 8-15%. Також було зафіксовано вплив імпульсної системи регулювання на роботу приладів регулювання і безпеки руху (АРС, СЦБ, радіозв'язок та ін.). Тому в подальшому у компанії «Alstom» було закуплено 40 комплектів асинхронного приводу, якими були обладнані вагони типу «Русич».

В основу розглянутих тягових електроприводів лежать статичні перетворювачі з напівпровідниковими переривачами на одноопераційних тиристорах, найпростіша принципова схема кола комутації якого зображена на рис. 4.

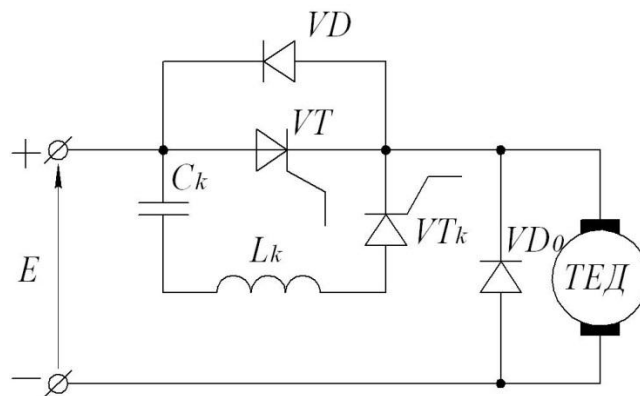


Рис. 4. Принципова схема імпульсного перетворювача з пристроями комутації одноопераційного тиристора

Як видно з принципової схеми, для комутації тиристора VT необхідно застосовувати допоміжні комутуючі пристрої (додатковий тиристор VT_k , комутаційний конденсатор C_k та дросель L_k) значної потужності, що призводить до зменшення коефіцієнта корисної дії схеми перетворювача. Також реактивні елементи комутуючої апаратури мають значні габарити, що ускладнює її установку на рухомому складі. Схеми з подібними перетворювачами не можуть працювати з високою частотою комутації, що призведе до впливу системи регулювання засоби безпеки руху (СЦБ та радіозв'язку), якщо не застосовувати згладжувальні фільтри, а це також призведе до підвищення вартості обладнання та зниження коефіцієнта корисної дії.

Позбутися цих недоліків можна застосовуючи двоопераційні напівпровідникові прилади (GTO-тиристори та IGBT-транзистори). Це дозволить зменшити вплив процесів комутації на роботу інших пристроїв залізниці та підвищити ефективність роботи електропривода.

Подальші дослідження імпульсних систем тягового електропривода привела до появи розробок, основні з яких проводились у напрямках:

- дослідження у підвищенні енергетичних та масо-габаритних показників, шляхом зменшення числа напівпровідникових елементів та встановленні нових зв'язків;
- підвищення надійності електропривода за рахунок обмеження перенапруги на силовому ключі і покращення форми вихідної напруги LC-фільтра;
- підвищення точності регулювання, шляхом вилучення статистичної помилки, яка викликана останнім значенням опору елементів в колі зворотного зв'язку, та шля-

хом виключення похибки обробки кутів керування тиристорним перетворювачем, а також забезпечування спрощення його за рахунок скорочення кількості складних елементів;

- підвищення надійності та розширення діапазону можливостей регулювання;
- підвищення ефективності імпульсного електропривода постійного струму за рахунок оптимізації електродинамічного гальмування;
- дослідження моделі електропривода з імпульсним регулюванням та системи регулювання в просторі пакета Simulink програми MATLAB.

Висновки та пропозиції. Сучасні темпи підвищення вартості енергоносіїв змушують наукове співтовариство все більш ретельніше досліджувати проблему енергоефективності. Тому подальше дослідження засобів для зменшення енергоємності устаткування залізничного транспорту є актуальним питанням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карацук С.В., Гаюрі А.В. Системи захисту напівпровідникових пристроїв від негативних наслідків комутації // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 23. – К.: ДЕТУТ, 2013. – С. 87–91.
2. Черняк Ю.В., Гатченко В.О., Ревчук М.О., Карацук С.В., Малюк С.В. Вплив джерела живлення моделі тягового електропривода на якість його вихідних характеристик // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 24. – К.: ДЕТУТ, 2014. – С. 140–144.
3. Черняк Ю.В., Гатченко В.О., Гаюрі А.В., Карацук С.В. Оцінка енергетичної ефективності існуючої системи рекуперативного гальмування електропоїздів // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 26-27. – К.: ДЕТУТ, 2015. – С. 83–91.
4. José A. Lozano, Jesús Féliz, Juan de Dios Sanz and José M. Mera (2012). Railway Traction, Reliability and Safety in Railway, Dr. Xavier Perpinya (Ed.), ISBN:978-953-51-0451-3, InTech, Available from: URL: intechopen.com/books/reliability-and-safety-in-railway/railway-traction. – Date of Access: 26 October 2016.
5. Безруденко В.М. Варченко В.К. Чумак В.В. Тягові електричні машини електрорухомого складу. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
6. Le moteur asynchrone en traction électrique par. Marcel desponds, article, Bulletin technique de la Suisse romande, 102(1976) № 12. Access Mode: URL dx.doi.org/10.5169/seals-72934. – Date of Access: 16 February 2016.
7. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.
8. Розенфельд, В. Е. Электропоезда постоянного тока с импульсными преобразователями / Под. ред. В. Е. Розенфельда. – М.: «Транспорт», 1976. – 280 с.
9. Мнацаканов, В.А. Форсажный тяговый привод [Virtual Resource] / В.А. Мнацаканов // Access Mode: URL: tomakltd.com/files/ftp.pdf. – Date of Access: 26 October 2016.
10. Раков В.А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1966-1977 гг.). – М.: Транспорт, 1979. – 213 с.
11. Раков В.А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1976-1985 гг.). – М.: Транспорт, 1980. – 238 с.

Sergiy Karashchuk

(Postgraduate Student at the Department of Traction railway rolling stock, State Economy and Technology University of Transport)

ANALYSIS OF ELECTROMOTIVE SYSTEMS FOR ELECTRIC LOCOMOTIVES

In the article the analysis the existing systems of electric traction, identified their main advantages and disadvantages, discussed the experience of using different types of drives countries. Determined that the use of pulse regulation allows for the machine to an AC electromotive part and impulse control voltage to a DC motor.

Different methods of control induction motors of electric and generalized that the introduction of asynchronous traction drive on electric vehicles involves significant costs for infrastructure, the need for the application to maintain a qualified staff and expensive diagnostic tools and repair, opening new stations and shops in the depot and maintenance sites which also involves significant costs.

Analyzed different types of impulse control voltage DC motors, their advantages and disadvantages. The experience of application of DC motors with pulse control on the railways in the world. Prospects use this method to control the domestic rolling stock.

Comparison of the efficacy of pulsed regulation of DC motors with asynchronous motors, and the main areas for further research.

Keywords: Electric drive, electric locomotive, traction engine.

REFERENCES

1. Karashchuk S.V., Gajur A.V. *Sistemi zahistu napivprovodnikovih pristroiv vid negativnih naslidkiv komutatsiy* [Protection systems for semiconductor devices from the negative effects of switching] // Zbirnik naukovih prac' derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universitetu transportu serija transportni sistemi i tehnologii. vipusk 23, [Collected Works of Public Economics and Technology University of Transport Series transportation systems and technologies. issue 23] Kiev-2013 – p. 87-91.
2. Chernyak Y.V., Gatchenko V.O., Revchuk M.O., Karaschuk S.V., Malyuk S.V. *Vpliv dzhherela zhivlennya modeli tyagovogo elektropivodu na yakist yogo vihidnih harakteristik* [Effect of power supply for quality characteristic model traction electric drive] // Zbirnik naukovih prac' derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universitetu transportu serija transportni sistemi i tehnologii. vipusk 24 [Scientific Papers of State Technological University of Economics and Transport series transport systems and technologies. issue 24], Kiev-2014. – p. 140-144.
3. Chernyak Yu.V., Gatchenko V.O., Gayur A.V., Karaschuk S.V. *Otsinka energetichnoyi efektyvnosti isnuyuchoyi sistemi rekuperativnogo galmuvannya elektropoyizdiv* [Analysis of existing and perspective directions of energy storage in transport order to increase its energy efficiency] // Zbirnik naukovih prac' derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universitetu transportu serija transportni sistemi i tehnologii. vipusk 26-27 [Scientific Papers of State Technological University of Economics and Transport series transport systems and technologies. issue 26-27], Kiev-2015. – p. 83-91.
4. José A. Lozano, Jesús Félez, Juan de Dios Sanz and José M. Mera (2012). *Railway Traction, Reliability and Safety in Railway*, Dr. Xavier Perpinya (Ed.), ISBN: 978-953-51-0451-3, InTech, Available from: URL: intechopen.com/books/reliability-and-safety-in-railway/railway-traction. – Date of Access: 26 October 2016.
5. V.M. Bezrychenko, V.K. Vharchenko, V.V. Chumak / *Tyagovi electrichni mashynu electrorhythmogo skladu*. Vud. Dniepropetr. nac. Univ. zaliz. transp. im. acad. V. Lazaryana, 2003. – 252 p.
6. *Le moteur asynchrone en traction électrique par*. Marcel desponds, article, Bulletin technique de la Suisse romande, 102(1976) № 12. Access Mode: URL dx.doi.org/10.5169/seals-72934. – Date of Access: 16 February 2016.
7. Zabrodin Y.S. *Promyshlennaya elektronika* [Industrial Electronics]. Moscow, High school Publ., 1982. – 496 p.
8. Rozenfeld, V. E. *Elektropoezda postoyannogo toka s impulsnyimi preobrazovatelyami* [Electric trains with direct current pulse converters]. Moscow, Transport Publ., 1976. – 280 p.
9. V.A. Mnatsakanov, *Forsazhnyiy tyagovyy privod* [The afterburner traction drive], Access Mode: URL: tomakltd.com/files/ftp.pdf. – Date of Access: 26 October 2016.
10. Rakov V.A. *Lokomotivy i motorvagonnyiy podvizhnoy sostav zheleznih dorog Sovetskogo Soyuza (1966-1977)* [Locomotives and multiple unit of railways of the Soviet Union (1966-1977)], Moscow, Transport Publ., 1979. – 213 p.
11. Rakov V.A. *Lokomotivy i motorvagonnyiy podvizhnoy sostav zheleznih dorog Sovetskogo Soyuza (1976-1985)* [Locomotives and multiple unit of railways of the Soviet Union (1976-1985)], Moscow, Transport Publ., 1980. – 238 p.

УДК 666.972.16

О. Ю. Дорошенко, к.т.н., доцент
(доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

Ю. М. Дорошенко, к.т.н., професор
(професор кафедри «Будівельні матеріали і хімія», Національний транспортний університет, м. Київ)

ВПЛИВ КОМПЛЕКСНОЇ ДОБАВКИ НА ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНУ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

У статті розглядаються властивості цементного бетону з використанням комплексної добавки на основі прискорювача твердіння та гідрофобізатора.

Ключові слова: бетон, транспортні конструкції, добавки, прискорювачі твердіння, гідрофобні добавки.

В статье рассматриваются свойства цементного бетона с использованием добавки на основе ускорителей твердения и гидрофобизатора.

Ключевые слова: бетон, транспортные конструкции, добавки, ускорители твердения, гидрофобные добавки.

В період різкого збільшення транспортних потоків до якості бетону висуваються підвищені вимоги щодо міцності, морозостійкості, водонепроникності, стійкості проти агресивного впливу рідких середовищ, стирання, тріщиностійкості та довговічності. Ці вимоги до бетону транспортних споруд можуть бути задоволені шляхом застосування добавок у цементобетон. В Україні хімічні добавки застосовуються практично у всіх технологіях виробництва бетону, що сприяє появі нових технологій, реалізувати які без добавок було б просто неможливо. Завдяки ефективним хімічним добавкам, сучасний бетон перетворюється у все більш складний композиційний матеріал, властивості якого можуть набагато перевищувати традиційні склади.

Однак для отримання бетонів високої міцності найбільш ефективно застосування не окремих добавок, а спеціально підібраних комплексних добавок поліфункціональної дії залежно від призначення бетону і вимог, що висуваються до нього. Склад комплексної добавки повинен відповідати обраній технології і заданим властивостям бетону.

На сьогоднішній день ми перебуваємо на новому етапі розвитку технологій цементобетону – цілеспрямованого управління властивостями бетону за допомогою комплексних добавок нового покоління.

На вирішення цих завдань спрямовані дослідження авторів даної статті. Результати цих досліджень підтверджують, зокрема, особливу перспективність широкого застосування комплексних добавок поліфункціональної дії.

Бетонна суміш належить до складу бетонних сумішей, які вміщують модифікуючі добавки і можуть бути застосовані при виготовленні монолітних, збірних бетонних і залізобетонних конструкцій для шахтного і транспортного будівництва при бетонуванні покриття летовищ, місць для зупинок літаків.

© Дорошенко О. Ю., Дорошенко Ю. М., 2016

Задача досліджень – підвищення ранньої міцності литого бетону, його водонепроникливості, зчеплення арматури з бетоном, а також заощадження цементу.

При проведенні досліджень були використані такі матеріали:

- портландцемент – ПЦ І – 500-Н (ДСТУ Б В.2.7.-46-96) (15,16...17,16 %);
- пісок кварцовий, дніпровський намівний, $M_{кр} = 1,41$; насипна маса в сухому стані – 1500 кг/м³ (25,00...27,00 %);
- щебінь гранітний (ДСТУ Б В.2 ,7-75-98) фракції 5...10 мм, 10...20 мм, насипна маса в сухому стані 1350 кг/м³ (45,40...51,44 %);
- комплексна добавка: прискорювач твердіння бетону $CaCl_2$ і NH_4NO_3 (ГОСТ 450-77, ГОСТ 2-85Е) (1% + 1%); гідрофобізатор АДЕ-3 (ТУ 6–02–573–87) (0,01...0,06%) зі складом діетіламінометилтріетоксілан $(C_2H_5)_2 NCH_2 Si (OC_2H_5)_3$, використовується як активний отверджувач кремнійорганічних і органічних смол.

Комплексну хімічну добавку вводять в бетонну суміш у вигляді водних розчинів разом з водою зачинення. Швидкий набір міцності бетонної суміші на запропонованому в'язучому з комплексною хімічною добавкою дозволить майже в три рази скоротити час витримування бетону в опалубці (5-8 годин замість 24 години на звичайному портландцементі).

Запропонована бетонна суміш характеризується більшою пластичністю, що пояснюється наявністю водноцементної суспензії іонів Cl^- , NH_4^+ , які, як відомо, є негативно гідратуючими і змінюють властивості води: підвищують рухомість молекул води навколо іонів і потенціальну енергію, зменшують в'язкість води та інше. Спільне введення у воду зачинення іонів NH_4^+ і Cl^- , які упорядковано розміщуються разом в структурній сітці води, діє на систему цемент-вода, створює умови для кращої диспергації частинок цементу внаслідок зменшення в'язкості води. Такий комплексний вплив добавки дозволяє максимально використовувати в'язучі властивості цементу, підвищувати ступінь його використання в бетоні, отримати бетон з меншою кількістю мікро- і макротріщин. Крім того при взаємодії з цементом утворюється невелика кількість аміаку, який частково підвищує пластичність бетонної суміші і утворює дрібнопористу структуру цементного каменю, яка дозволяє прогнозувати більш високу морозостійкість бетону, покращити його водонепроникність і зменшити водопоглинання.

З наведених у табл. 1 результатів бачимо, що міцність при стиску ($R_{ст}$) та осьовому розтягу ($R_{о.р}$) підвищується після 28 діб нормального твердіння на 11%...15%. Поряд з основними показниками визначались співвідношення цих характеристик, які дозволяють зробити висновки щодо якості структури бетону. Такими показниками є співвідношення $R_{ст}/R_{о.р}$. (чим більше значення даного співвідношення, тим нижча однорідність та якість бетону), коефіцієнт призменної міцності КПМ ($КПМ = R_{пр}/R_{ст.куб}$), показники умовної розтяжності $R_{р.зг}/E_{0,5R_{пр}} \times 10^5$ та $R_{р.зг}/R_{ст.куб}$. Зразки тверділи 28 діб в нормальних умовах (табл. 2).

Дані дослідження морозостійкості, водонепроникності, стирання та міцності на удар наведені в табл.3. Морозостійкість досліджувалась при заморожуванні при $t = -20 \pm 5^\circ C$ і відтаюванні у 5% розчині NaCl. Водонепроникність визначалась за стандартною методикою до появи «мокрої плями» на зразках. Стирання визначалося в сантиметрах після 840 та 1120 обертів на крузі ЛКІ-3, міцність на удар – на копрі Пейджа. За даними, наведеними в табл. 3, видно, що добавка підвищує морозостійкість (на 7...10%), водонепроникність (в 2,5...3,0 раза), міцність на удар (на 26...30%) та зменшують стирання (на 50...58%), що обумовлюється впливом домішок на процеси структуроутворення бетону.

Таблиця 1. Вплив комплексної добавки на міцнісні і деформативні властивості цементного бетону

Назва показника	Час твердіння, доби	Еталон	Комплексна добавка
Міцність при стиску $R_{ст}$ (МПа)	7	30,00	38,50
	14	36,90	39,60
	28	40,00	42,30
	90	46,70	51,90
	180	49,10	54,70
Міцність на розтяг при згині $R_{зг}$ (МПа)	7	3,10	3,49
	14	3,63	4,10
	28	4,55	4,98
	90	5,14	5,98
	180	5,68	6,25
Міцність на осьовий розтяг $R_{о.р.}$ (МПа)	7	2,00	2,92
	14	2,60	2,89
	28	2,81	3,14
	90	3,29	3,88
	180	3,45	3,98
Міцність при стиску призм $R_{пр}$ (МПа)	7	22,90	23,20
	14	26,40	29,10
	28	30,00	32,60
	90	33,80	36,80
	180	35,50	37,80

Таблиця 2. Показники якості цементного бетону з комплексною добавкою

Назва показників	Еталон	Комплексна добавка
$R_{ст}/R_{о.р.}$	14,23/100*	13,47/95
$R_{пр}/R_{ст.куб}$ (КПМ)	0,750/100	0,771/103
$R_{р.зг}/R_{ст.куб}$	0,114/100	0,118/104
$R_{р.зг}/E_{0,5}R_{пр}$	1,326/100	1,491/112

* - відсотки

Таблиця 3. Вплив комплексної добавки на морозостійкість, водонепроникливість, стирання та міцність на удар цементобетонну

Наяв-ність домішок КОС	Морозостійкість (200 циклів)			Водоне-проникливість, МПа після діб		Міцніс ь при ударі, Дж/см ₃	Стирання, см, після обертів
	R _{ст} , МПа	Середовище відтаювання					
		H ₂ O	5%NaCl	28	90		840/1120
		R _{ст} /K _м , МПа	R _{ст} /K _м , МПа				
Без домішок	59,5	56,5/0,95	50,0/0,84	0,4	0,8	2,50	0,26/0,32
Комплексна добавка	66,8	66,4/1,00	59,1/0,97	1,2	1,4	3,15	0,11/0,17

Таким чином, встановлено, що комплексна добавка дозволяє одержати цементобетон з підвищеними фізико-механічними властивостями і значною довговічністю.

З табл. 2 встановлено, що запропонована комплексна добавка на основі прискорювача і гідрофобізатора дає можливість підвищити міцність бетону при стиску і згині, водонепроникність, зчеплення з арматурою сульфатостійкість, зменшити витрати цементу на 20 – 30%

ЛІТЕРАТУРА

1. Баженов Ю. М. Бетон с химическими добавками / Ю.М. Баженов, Ф.М. Иванов. – М.: ЦМИПКС, 1987. – 59 с.
2. Батраков В. Г. Применение суперпластификатора в бетоне / В.Г. Батраков, Ф.М. Иванов, В.Р.Фаликман // Строительство и архитектура: Обзорная информация. Серия: Строительные материалы и изделия. – М.: 1981. – 285 с.
3. Бертов В. М. Модифицированные бетоны высоких эксплуатационных свойств на строительстве Зейской ГЭС / В.М. Бертов, В.Г. Батраков // Бетон и железобетон – пути развития. Т. 3. Технология бетона. Сборник трудов II Всероссийской конференции. – М., 2005. – С. 636–642.
4. Добролюбов Г. Прогнозирование долговечности бетона с добавками / Г. Добролюбов, В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1983. – 212 с.
5. Дорошенко Ю. М. Добавки, повышающие прочность и водонепроницаемость цементных бетонов / Ю.М. Дорошенко, В.Б. Вишневский, В.В. Чистяков // Повышение долговечности конструкций водохозяйственного назначения. Тезисы докладов Всесоюзной конференции. – Ростов-на-Дону, 1981. – С.133 – 135.
6. Демьянова В. С. Высокоэффективные гидрофобизаторы для цементных композиций. / В.Ю. Нестеров, Г.Н. Казина, И.Е. Ильина // Экспресс-информация, 2004. – Вып. 1. – С. 42–47.
7. Демьянова В. С. Гидрофобизаторы для сухих строительных смесей / П.Г. Василик, К.Н. Махамбетова // Пластические массы, 2003. – № 7 С.43–44.
8. Инчик В. В. Использование отходов химического производства для гидрофобизации строительных материалов // Строительные материалы, 1998. – № 11. – С.40.
9. Коваль С. В. Модифицирование – магистральное направление совершенствования технологии и свойств бетона / С.В. Коваль // Будівельні матеріали та вироби, 2004. – № 4. – С.20-24.
10. Каддо М. Б. Гидроизоляция – важный этап реставрации и реконструкции.// Строительные материалы, 1998. – № 11. – С.30–31.
11. Смирнов С. В. Отечественные гидроизолирующие материалы на основе вяжущих. / Л.Ю. Латышева // Строительные материалы. –1999. –№9. – С.16–17.
12. Структура и морозостойкость гидротехнического бетона с добавкой ГКЖ-94 / В. М. Москвин, В. Г. Батраков, О. В. Кунцевич и др. // Бетон и железобетон. – 1980. – № 7 – С.20–22.
13. Трамбовецкий В. П. Рекомендация применения суперпластификаторов в США // Бетон и железобетон. – № 4. – 1995. – С. 31–32.
14. Чистяков В. В. Интенсификация твердения бетона / В.В. Чистяков, Ю.М. Дорошенко, И.Г. Гранковский. – К.: Будівельник, 1988. – 16–49 с.

Oleksandra Doroshenko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Building Constructions and Structures Chair, State University for Transport Economy and Technologies)
Yuriy Doroshenko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Professor of Construction Materials and Chemistry Chair, National Transport University)

INFLUENCE OF COMPLEX ADDITION ON PROPERTIES OF CONCRETE OF TRANSPORTS OF BUILDING

In the article properties of cement concrete are examined with the use of addition on the basis of accelerating of hardening and гидрофобизатора.

Keywords: concrete, transport constructions, additions, accelerating of hardening, water-repelling agents.

REFERENCES

1. Dem'janova V.S. Vysokoeffektivnye gidrofobizatory dlja cementnyh kompozicij. / B.Ju. Nesterov, G.N. Kazina, I.E. Il'ina, Jekspres-informacija, 2004, Vypusk 1, P. 42...47.
2. Inchik V.V. Ispol'zovanie othodov himicheskogo proizvodstva dlja gidrofobizacii stroitel'nyh materialov.//Stroitel'nye materialy, 1998, № 11, P.40.
3. Koval' S.V. Modificirovanie – magistr'al'noe napravlenie sovershenstvovanija tehnologii i svojstv betona / S.V. Koval' // Budivel'ni materialy ta viroby, 2004. – № 4. – P.20-24.
4. Bazhenov Ju.M. Beton s himicheskimi dobavkami / Ju.M. Bazhenov, F.M. Ivanov, M.: CMIPKS, 1987, 59 p.
5. Batrakov V.G. Primenenie superplastifikatora v betone / V.G. Batrakov, F.M. Ivanov, V.R.Falikman // Stroitel'stvo i arhitektura: Obzornaja informacija. Serija: stroitel'nye materialy i izdelija, M.: 1981, 285 p.
6. Dem'janova V.S. Gidrofobizatory dlja suhih stroitel'nyh smesej. / P.G. Vasilik, K.N. Mahambetova //Plasticheskie massy, 2002. – №7 pp.43...44.
7. Kaddo M.B. Gidroizoljacija – vazhnyj jetap restavracii i rekonstrukcii.// Stroitel'nye materialy, 1998. – № 11, pp.30...31.
8. Smirnov S.V. Otechestvennye gidroizolirujushhie materialy na osnove vjazhushhih. / L.Ju. Latysheva // Stroitel'nye materialy, 1999, №9. – P.16...17.
9. Tramboveckij V.P. Rekomendacija primeneniya superplastifikatorov v CIIIA.// Beton i zhelezobeton, № 4. – 1995. – p.31...32.
10. Doroshenko Ju.M. Dobavki, povyshajushhie prochnost' i vodonepronicaemost' cementnyh betonov / Ju.M. Doroshenko, V.B. Vishnevskij, V.V. Chistjakov // Povyshenie dolgovechnosti konstrukcij vodohozhajstvennogo naznachenija. Tezisy dokladov vsesojuznoj konferencii. – Rostov-na-Donu, 1981. – p. 133...135.
11. Chistjakov V.V. Intensifikacija tverdenija betona / V.V.Chistjakov, Ju.M.Doroshenko, I.G.Grankovskij – K.: Budivel'nik, 1988. – 16...49 p.
12. Struktura i morozostojkost' gidrotehnicheskogo betona s dobavkoj GKZh-94 / V.M. Moskvina, V.G. Batrakov, O.V. Kuncevich i dr./ – Beton i zhelezobeton, 1980, №7 – p.20...22.
13. Bertov V.M. Modificirovannye betony vysokih jekspluatacionnyh svojstv na stroitel'stve Zejskoj GJeS / V.M. Bertov, V.G. Batrakov //Beton i zhelezobeton – puti razvitija. Tom 3. Tehnologija betona. Sbornik trudov 2 vserossijskoj konferencii – M. 2005. – pp. 636...642.
14. Dobroljubov G. Prognozirovanie dolgovechnosti betona s dobavkami / G. Dobroljubov, V.B. Ratinov, T.I. Rozenberg. – M.: Strojizdat, 1983, 212 p.

УДК 629.4.053

А. О. Антонович*(аспірант кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)*

ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОБРАЗУ ПОЇЗНОЇ СИТУАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ СААТІ

У процесі керування поїздом машиніст переробляє велику кількість оперативної інформації. Завдання розробки теоретичних основ розпізнавання образів поїзних ситуацій є актуальним і потребує детальної розробки. В результаті аналізу діяльності машиніста отриманий орієнтовний перелік ситуацій, що виникають в процесі керування локомотивом, що налічує дванадцять найменувань. На їх основі побудована ієрархія поїзних ситуацій та отримані групи: безпечний режим руху, режим руху, що потребує підвищеної уваги, небезпечний режим руху. Всі групи критеріїв, власне критерії та варіанти порівнюються один з одним за схемою «кожен з кожним», результати порівняння представляються у вигляді матриці парних порівнянь. По кожній матриці парних порівнянь формується вектор вагових коефіцієнтів. З кожної матриці парних порівнянь отримано окремих вектор вагових коефіцієнтів – за кількістю існуючих поїзних ситуацій. Результатом перемноження всіх матриць є вектор (одностовбцева матриця), що містить вагові коефіцієнти подібних варіантів. Таким чином отримано значення вагових коефіцієнтів критеріїв відносно трьох груп та підсумкові коефіцієнти. Використовуючи наведений підхід можливо найбільш якісно визначити поточний стан системи «локомотивна бригада-поїзд» та підготувати найбільш адекватне керуюче рішення.

Ключові слова: прийняття рішень, образ ситуації, локомотив, машиніст, інтелектуальна система

В процессе управления поездом машинист перерабатывает большое количество оперативной информации. Задача разработки теоретических основ распознавания образов поездных ситуаций является актуальной и требует детальной разработки. В результате анализа деятельности машиниста получен ориентировочный перечень ситуаций, возникающих в процессе управления локомотивом, который насчитывает двенадцать наименований. На их основе построена иерархия поездных ситуаций и полученные группы: безопасный режим движения, режим движения, требующий повышенного внимания, опасный режим движения. Все группы критериев, собственно критерии и варианты сравниваются друг с другом по схеме «каждый с каждым», результаты сравнения представляются в виде матрицы парных сравнений. По каждой матрице парных сравнений формируется вектор весовых коэффициентов. С каждой матрицы парных сравнений получены отдельные векторы весовых коэффициентов – по количеству существующих поездных ситуаций. Результатом перемножения всех матриц является вектор (одностолбцовая матрица), содержащий весовые коэффициенты подобных вариантов. Таким образом получены значения весовых коэффициентов критериев

© Антонович А. О., 2016

в отношении трех групп и итоговые коэффициенты. Используя приведенный подход, можно наиболее качественно определить текущее состояние системы «локомотивная бригада-поезд» и подготовить наиболее адекватное управляющее решение.

Ключевые слова: *принятие решений, образ ситуации, локомотив, машинист, интеллектуальная система*

Постановка проблеми в загальному вигляді. В процесі керування поїздом машиніст переробляє велику кількість оперативної інформації, на підставі якої визначає поточний стан поїзду (як об'єкту керування) та середовища (як набір факторів впливу на об'єкт керування та на самого машиніста). При великій напруженості діяльності машиністу іноді складно точно класифікувати поточну ситуацію, що може вплинути на якість керуючого рішення. Тому завдання розвитку теоретичних основ розпізнавання образів поїзних ситуацій є актуальним і потребує детальної розробки.

Метою розпізнавання образів є класифікація об'єктів за декількома класами або категоріями [1]. В випадку керування поїздом всі об'єкти класифікації (поїзні ситуації) розбиті на кінцеве число класів. Для кожного класу відомо і вивчено кінцеве число об'єктів – прецедентів. Завдання розпізнавання образів полягає в тому, щоб віднести нову розпізнавану ситуацію до якого-небудь класу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В теперішній час актуальним стає напрям досліджень систем підтримки прийняття рішень (СППР) для локомотивних бригад [2, 3]. Підґрунтям для розробки таких систем є розвиток теорії штучного інтелекту, яка дозволяє моделювати дії людини при керуванні технічними об'єктами та формалізувати якісні показники, зокрема отримана модель оцінки поточного стану безпеки руху [4].

При керуванні поїздом локомотивна бригада постійно контролює поїзну обстановку, показання приладів, стан оточуючого середовища, та на підставі цих даних формує керуючі рішення. Цей процес можливо описати за допомогою методів розпізнавання образів. В рамках задачі розпізнавання вважається, що кожному образу ставиться у відповідність єдине значення вектору ознак і навпаки: кожному значенню вектору ознак відповідає єдиний образ [5]. Класифікатором або вирішальним правилом є правило віднесення образу поїзної ситуації до одного з класів на підставі його вектору ознак.

Формулювання мети дослідження. При розробці інтелектуальних локомотивних СППР постає завдання розпізнавання умов ведення поїзду та класифікації ситуацій за окремими ознаками для прийняття адекватних керуючих рішень. Теоретичні основи розпізнавання образів розроблені достатньо широко. Але в умовах залізничного транспорту є свої особливості, пов'язані зі швидкістю змінення обстановки, інерційністю зупинки рухомого складу, ризиком травмування людини та ін. Таким чином, постає завдання на основі існуючих теорій, розробити підходи до класифікації та розпізнавання ситуацій в умовах роботи локомотивних бригад.

Викладення основного матеріалу.

В результаті аналізу діяльності машиніста отриманий орієнтовний перелік ситуацій, що виникають в процесі керування локомотивом:

- c_1 – відправлення зі станції на перегін;
- c_2 – рух під зелений на підйом;
- c_3 – рух під зелений на спуск;
- c_4 – рух під жовтий на підйом;
- c_5 – рух під жовтий на спуск;
- c_6 – рух під червоний на підйом;
- c_7 – рух під червоний на спуск;

c_8 – рух по станційним коліям;

c_9 – рух резервом;

c_{10} – рух у несприятливих погодних умовах;

c_{11} – перешкода попереду;

c_{12} – прибуття на станцію.

Вектор характеристик поточної поїзної ситуації представимо у вигляді

$$C_{nom} = \begin{pmatrix} f_{1пот} \\ f_{2пот} \\ \dots \\ f_{iпот} \\ \dots \\ f_{nпот} \end{pmatrix} \quad (1)$$

де $f_{iпот}$ – значення i -го фактору, що характеризує поїзну ситуацію.

Нормалізація отриманих величин факторів згідно виразу

$$f'_{iпот} = \frac{f_{iпот} - f_{imin}}{f_{imax} - f_{imin}} \quad (2)$$

де f_{imax} (f_{imin}) – максимально (мінімально) можливе значення i -го фактора в експлуатації.

Визначимо евклідову відстань між першою ситуацією та поточною C_{nom}

$$D(c_1) = \sqrt{\sum_{h=1}^n (f(c_1)_h - f_{iпот})^2} \quad (3)$$

де $f(c_1)_h$ – значення h -го фактору, що характеризує ситуацію c_1 .

Визначимо всі відстані між C_{nom} та $D(c_i)$, при $i \in [1; 12]$ (за кількістю визначених ситуацій) згідно (3).

Далі необхідно перерахувати значення відстаней $D(c_i)$ у відповідності до вагових коефіцієнтів

$$D'(c_i) = D(c_i) \cdot \gamma_i, \quad (4)$$

де $D'(c_i)$ – приведені значення відстані між поточною ситуацією та i -м кластером (елементарною поїзною ситуацією);

γ_i – ваговий коефіцієнт, що визначає відносну важливість кожної i -ої ситуації.

Таким чином отримана множина D , що складається з відстаней від поточних факторів, що формують поточну ситуацію керування локомотивом, від базових поїзних ситуацій (в нашому випадку їх 12, тому і членів множини D також 12).

Елементи D ранжуються від мінімального до максимального значення $D = \{D_{min}, \dots, D_i, \dots, D_{max}\}$.

Перший елемент визначає основну ситуацію, другий і декілька наступних елементів визначають додаткові впливи на основну поїзну ситуацію. Знання основної та впливаючих поїзних ситуацій необхідно для вироблення керуючого рішення, що враховує всі наслідки для тієї або іншої ситуації.

Для характеристики поточних ситуацій використовуються часткові критерії. Сукупність назв часткових критеріїв – це звичайна множина вербальних значень, тому вагові коефіцієнти критеріїв можна встановити за допомогою процедури визначення ваг, заснованої на використанні таблиці парних порівнянь, заповнюваної балами переваг.

При великій кількості часткових критеріїв можна використовувати процедуру, засновану на парному порівнянні всіх варіантів з єдиним – базовим критерієм. Базовим критерієм може бути будь-який з часткових критеріїв, наприклад, перший по номеру. Але все ж, доцільніше використовувати в якості базового найбільш «важливий» критерій.

За базовий критерій потрібно прийняти ситуацію c_{11} «перешкода попереду», тому що це одна з найнебезпечніших ситуацій і решту поїзних обставин доцільно порівнювати з нею.

Порівнювати варіанти будемо в рамках дев'ятибальної шкали Сааті [6]. В результаті порівняння формується вектор результатів $V = (V_{11}, V_{21}, \dots, V_{n1})$, де V_{j1} – результат порівняння j -го і першого часткових критеріїв. Семантично V_{j1} представляє собою ставлення, що інтуїтивно оцінюється ступенем важливості (значущості, корисності) j -го часткового критерію до ступеня важливості базового критерію, тобто це інтуїтивна

оцінка величини $v_{j1} = \frac{\mu_j}{\mu_1}$, де μ_j, μ_1 – явно не оцінювані ступені важливості для ОПР j -го і першого часткових критеріїв.

Формула вагових коефіцієнтів при цьому має вигляд

$$w_j = \frac{V_{j1}}{\sum_{k=1}^n V_{k1}} \quad j = \overline{1; n} \quad (5)$$

Якщо кількість часткових критеріїв, що враховуються, велика, то доцільно організувати критерії за ієрархію, на верхніх рівнях якої розміщуються групи критеріїв, а на останньому рівні – власне критерії. Така організація дозволяє більш ретельно оцінити вагові коефіцієнти критеріїв.

Основні ідеї оригінального методу Сааті такі.

1. Будеться ієрархія поїзних ситуацій як часткових критеріїв:

1) на нульовому рівні розміщується назва всієї ієрархічної системи, «Поїзні ситуації»;

2) на наступних рівнях – з першого по $(L-1)$ -й рівні розміщуються групи критеріїв – «Небезпечний режим руху», «Режим руху, що потребує підвищеної уваги», «Безпечний режим руху»;

3) на L -му рівні розміщуються власне критерії – всі ситуації;

4) на маргінальному – $(L+1)$ -му рівні розміщуються варіанти можливих керуючих рішень, що зіставляються. При цьому всі критерії не мають значення – це просто лінгвістичні мітки, які мають певну семантику якісної ознаки без поділу цієї ознаки на які-небудь рівні.

Результат наведено у вигляді рис. 1.

2. На кожному рівні ієрархії відбувається порівняння елементів цього рівня один з одним. Причому порівняння виконується кілька разів: стільки, скільки елементів міститься на попередньому рівні. Кожне порівняння здійснюється «з позиції» одного з елементів попереднього рівня, який виступає в ролі критерію, за яким попарно порівнюються елементи поточного рівня.

3. Всі групи критеріїв, власне критерії та варіанти порівнюються один з одним за шкалою 1..9 за схемою «кожен з кожним», результати порівняння представляються у вигляді матриці парних порівнянь. По кожній матриці парних порівнянь формується вектор вагових коефіцієнтів. Для більшої науковості методу Сааті рекомендує обчислювати вагові коефіцієнти як власний вектор матриці парних порівнянь, що відповідає найбільшому власному числу цієї матриці. Проблеми обчислення цього власного вектора немає, але і особливої потреби в його обчисленні теж немає: якщо нормалізувати елементи стовпців матриці парних порівнянь їх сумами, а потім усереднити результати, одержувані в кожному рядку, то результат буде дуже близький до власного вектору Сааті.

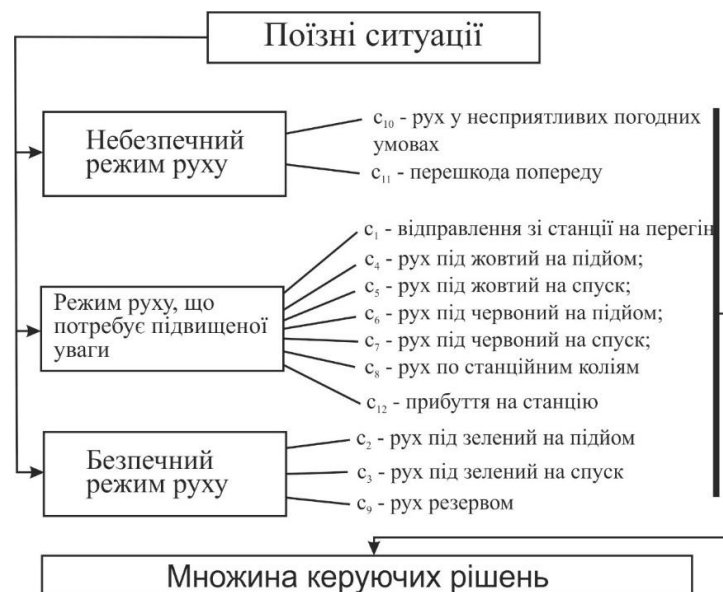


Рис. 1. Ієрархія поїзних ситуацій

Таблиця 1. Вектор парних порівнянь для груп поїзних ситуацій (базова група – «Небезпечний режим руху»)

Найменування групи ситуацій	Рахунок	Вага
Небезпечний режим руху	1	0,571
Режим руху, що потребує підвищеної уваги	1/2	0,286
Безпечний режим руху	1/4	0,143
	1 3/4	1,0

4. Отже, з кожної матриці парних порівнянь отримано окремий вектор вагових коефіцієнтів – за кількістю існуючих поїзних ситуацій. Їх можна розмістити у вигляді стовпців послідовно один за одним і отримати цілу матрицю вагових коефіцієнтів. Це являє собою сукупність матриць, складених з векторів вагових коефіцієнтів. Для отримання єдиного вектору вагових коефіцієнтів потрібно обчислити добуток матриць, синтезованих з векторів вагових коефіцієнтів, отриманих на кожному рівні ієрархії:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{w} &= \mathbf{W}^{L+1} \times \mathbf{W}^L \times \dots \times \mathbf{W}^2 \times \mathbf{W}^1 = \\
 &= [\mathbf{w}_{ij}^{[L+1]}]_{n_L}^m \times [\mathbf{w}_{ij}^{[L]}]_{n_{L-1}}^{n_L} \times \dots \times [\mathbf{w}_{ij}^{[2]}]_{n_1}^{n_2} \times [\mathbf{w}_i^{[1]}]_1^{n_1} = [\mathbf{w}]_1^m
 \end{aligned} \quad (6)$$

де $\mathbf{W}^k = [w_{ij}^{[k]}]_{n_k}$ – матриця k -го рівня, складена з стовпців вагових коефіцієнтів, обчислених для n_k елементів цього рівня з позиції кожного з n_{k-1} елементів попереднього рівня;

L – кількість рівнів ієрархії, на яких розміщуються групи критеріїв (ці рівні мають номери 0.. $L-1$);

n_L – кількість враховуються приватних критеріїв – число елементів критеріального рівня ієрархії з номером L ;

m – кількість подібних варіантів – число елементів варіантного рівня ієрархії з номером $L+1$.

Оскільки в (6) n_k позначає кількість елементів k -го рівня ієрархії, то має місце рівність $n_{L+1}=m$.

Таблиця 2. Вектор парних порівнянь для поїзних ситуацій (базова ситуація – « c_{11} – перешкода попереду»)

Найменування ситуацій	Небезпечний режим руху	Режим руху, що потребує підвищеної уваги	Безпечний режим руху
c_1 – відправлення зі станції на перегін	1/6	6	1/4
c_2 – рух під зелений на підйом	1/9	1	1/2
c_3 – рух під зелений на спуск	1/8	2	1/2
c_4 – рух під жовтий на підйом	1/6	2	1/5
c_5 – рух під жовтий на спуск	1/4	3	1/5
c_6 – рух під червоний на підйом	1/3	4	1/8
c_7 – рух під червоний на спуск	1/2	5	1/9
c_8 – рух по станційним коліям	1/3	4	1/6
c_9 – рух резервом	1/8	5	1/5
c_{10} – рух у несприятливих погодних умовах	1	9	1/9
c_{11} – перешкода попереду	1	9	1/9
c_{12} – прибуття на станцію	1/3	5	1/8
Сума	4 7/36	55	2 97/420

Таблиця 3. Вагові коефіцієнти критеріїв відносно трьох груп

Найменування ситуацій	Небезпечний режим руху	Режим руху, що потребує підвищеної уваги	Безпечний режим руху
1	2	3	4
c_1 – відправлення зі станції на перегін	0,038	0,109	0,096
c_2 – рух під зелений на підйом	0,025	0,018	0,192
c_3 – рух під зелений на спуск	0,028	0,036	0,192
c_4 – рух під жовтий на підйом	0,038	0,036	0,077

Закінчення табл. 3

1	2	3	4
c ₅ – рух під жовтий на спуск	0,056	0,055	0,077
c ₆ – рух під червоний на підйом	0,075	0,073	0,048
c ₇ – рух під червоний на спуск	0,113	0,091	0,043
c ₈ – рух по станційним коліям	0,075	0,073	0,064
c ₉ – рух резервом	0,028	0,091	0,077
c ₁₀ – рух у несприятливих погодних умовах	0,225	0,164	0,043
c ₁₁ – перешкода попереду	0,225	0,164	0,043
c ₁₂ – прибуття на станцію	0,075	0,091	0,048
Сума	1	1	1

Матриця k -го рівня ($k = \overline{1; L+1}$) має стільки рядків, скільки елементів міститься на цьому k -му рівні і стільки стовпців, скільки елементів знаходиться на попередньому $(k-1)$ -му рівні; внаслідок цього добуток будь-якої пари матриць формули (6) можливо обчислити, і результатом обчислення є нова матриця, число рядків якої дорівнює числу рядків з лівої пари матриць, а число стовпців – числу стовпців з правої пари матриць. Результатом перемноження всіх матриць (6) є вектор (одностовпцева матриця), що містить вагові коефіцієнти подібних варіантів (таблиця 4).

Таблиця 4. Підсумкові вагові коефіцієнти поїзних ситуацій

Найменування ситуацій	Ваговий коефіцієнт
c ₁ – відправлення зі станції на перегін	0,066
c ₂ – рух під зелений на підйом	0,047
c ₃ – рух під зелений на спуск	0,054
c ₄ – рух під жовтий на підйом	0,043
c ₅ – рух під жовтий на спуск	0,059
c ₆ – рух під червоний на підйом	0,071
c ₇ – рух під червоний на спуск	0,097
c ₈ – рух по станційним коліям	0,073
c ₉ – рух резервом	0,053
c ₁₀ – рух у несприятливих погодних умовах	0,182
c ₁₁ – перешкода попереду	0,182
c ₁₂ – прибуття на станцію	0,076
Сума	1

У цілому, метод Сааті застосовується і у випадку критеріїв зі значеннями, відмінність яких буде полягати тільки в способі формування матриці $(L+1)$ -го – варіантного – рівня ієрархії $\mathbf{W}^{L+1} = [w_{ij}^{L+1}]_{n_L}^n$. У випадку критеріїв зі значеннями, що розглядається в роботі, елементи матриці не оцінюються з допомогою матриці парних порівнянь, а просто обчислюються за формулою:

$$w_{ij}^{[L+1]} = \frac{\tilde{c}_{ij}}{\sum_{k=1}^{n_L} \tilde{c}_{kj}}, \quad i = \overline{1; m}, \quad j = \overline{1; n_L}, \quad (7)$$

де $\tilde{c}_{ij}$ – нормалізоване значення j-го критерію для i-го варіанту. Формула (7) може використовуватися тільки у разі, якщо всі часткові критерії мають числові значення, тобто попередньо необхідно здійснити зважування значень всіх вербальних критеріїв.

Висновки. В результаті дослідження визначено перелік поїзних ситуацій, з якими стикається локомотивна бригада. На підставі цих даних визначені групи ситуацій за складністю умов ведення поїзду. Використовуючи наведений підхід можливо найбільш якісно визначити поточний стан системи «локомотивна бригада-поїзд» та підготувати найбільш адекватне керуюче рішення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фомин Я. А. Распознавание образов: теория и применения. — 2-е изд. [Текст] / Я. А. Фомин. — М.: ФАЗИС, 2012. — 429 с.
2. Tartakovsky E., Gorobchenko O., Antonovych A. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems[Text] / E. Tartakovsky, O. Gorobchenko, A. Antonovych //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2016. — Т. 5. — №. 3 (83). — С. 4-11.
3. Abril M. A Decision Support System for railway timetabling (MOM): the Spanish case [Text]/ M. Abril, F. Barber, P. Tormos, A. Lova, L. Ingolotti, M. A. Salido. //Computers in Railways X: Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems. — 2006. — Т. 10. — С. 235.
4. Горобченко О. М. Методологія визначення величини параметра складності нештатної ситуації під час ведення поїзда [Текст]/ О. М. Горобченко. //Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. — 2014. — №. 6. — С. 50–58.
5. Местецкий Л. М. Математические методы распознавания образов [Текст] / Л. М. Местецкий. — М.: Ф-т ВМиК МГУ, 2008. — 186 с.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. [Текст] / Т. Саати. — М.: Радио и Связь, 1993. — 278 с.

Artem Antonovich

(Postgraduate Student of Department of Exploitation and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport)

IMPROVING THE DEFINITION OF THE IMAGE OF THE TRAIN SITUATION USING THE METHOD OF SAATY.

In the process of train control driver processes a large amount of operational information. The task of developing the theoretical foundations of pattern recognition train situations is important and requires detailed development. As a result of the analysis of the activities of the driver obtained an indicative list of situations that arise in the management of a locomotive that has twelve items. It build on the hierarchy of train situations and the resultant groups: safe driving mode, driving mode, requiring high attention, dangerous driving mode. All groups of criteria, the actual criteria and options are compared with each other according to the scheme «with each other», the results of the comparison are presented in the form of a matrix of paired comparisons. For each matrix of pairwise comparisons is formed vector of weighting coefficients. With each pairwise comparison matrix obtained separate weight vector – the number of available train situations. The

result of multiplying all matrices is a vector (single column matrix) containing the weights of such options. Thus obtained values of weight coefficients of criteria for the three groups and the closing odds. Using this approach, you can most accurately determine the current state of the system «locomotive crews-train» and to prepare the most appropriate control decision.

Keywords: decision making, image of the situation, the locomotive, the engineer, intelligent system

REFERENCES

1. Fomin Ya. A. (2012) *Raspoznavanie obrazov: teoriya i primeneniya* [Pattern recognition: theory and application]. — 2-nd ed. Moscow, FAZIS publ., 2012. 429 p.
2. Tartakovskyi, E., Gorobchenko, O., & Antonovych, A. (2016). Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3 (83)). 4-11 p.
3. Abril, M., Barber, F., Tormos, P., Lova, A., Ingolotti, L., & Salido, M. A. (2006). A Decision Support System for railway timetabling (MOM): the Spanish case. *Computers in Railways X: Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems*, 10, 235 p.
4. Gorobchenko, O. M. (2014). *Metodologiya viznachennya velichini parametra skladnosti neshtatnoy situatsii pid chas vedennya poyizda* [The methodology for determining the value of the parameter of the complexity of emergency situations during the conduct of the train]. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu im. akad. V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], (6), 50-58.
5. Mestetskiy L. M. (2008) *Matematicheskie metodyi raspoznavaniya obrazov* [Mathematical methods of pattern recognition]. Moscow, F-t VMiK MGU Publ., 186 p.
6. Saaty T. (1993) *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarhiy*. [Decision-making. Method of analysis of hierarchies]. Moscow, Radio i Svyaz Publ., 278 p.

УДК 629.4.083.:629.463

Д. І. Волошин, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Вагони», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

І. М. Афанасенко

(старший викладач кафедри «Вагони», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

ОЦІНКА РИЗИКУ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ З РЕМОНТУ ВАГОНІВ

Стаття присвячена питанням оцінки ризику в умовах підприємств з ремонту вагонів. Зважаючи на те, що сучасні виробництва є складними, з погляду забезпечення надійності системами, необхідною умовою їх функціонування є аналіз ризиків виникнення небажаних подій.

Створення системи управління ризиками на основі прогресивних математичних методів і інженерних підходів дозволить значно знизити втрати у виробничій системі і забезпечити заданий рівень надійності виробничих процесів.

Ключові слова: виробнича система, надійність, ризик, управління

Статья посвящена вопросам оценки риска в условиях предприятий по ремонту вагонов. Учитывая, что современные производства являются сложными, с точки зрения обеспечения надежности системами, необходимым условием их функционирования является анализ рисков возникновения нежелательных событий.

Создание системы управления рисками на основе прогрессивных математических методов и инженерных подходов позволит значительно снизить потери в производственной системе и обеспечить заданный уровень надежности производственных процессов.

Ключевые слова: производственная система, надежность, риск, управление.

Постановка проблеми. Сучасні підприємства з ремонту вагонів – це складні адаптивні системи [1-4] зі зворотним зв'язком, які мають велику кількість різноманітних за змістом функцій і експлуатуються в стохастичних умовах. Для класу подібних систем характерна багатовекторність, багатокритеріальність, невизначеність вихідних даних, живучість і відновлюваність [5].

Зазначені властивості визначають виробництво, як систему з великою кількістю станів, що прямо впливає на вибір методів аналізу її надійності. Особливістю функціонування технологічних систем [2] є як велика кількість вихідних даних для запуску процесу (трудові ресурси, технологічні ресурси, матеріальні ресурси), так і велика кількість наслідків відмов у системі (невиконання ремонту в зазначений термін, невиконання обсягів виробництва, матеріальні втрати).

Це приводить до необхідності оцінювання не тільки можливості відмов виробничої системи, але і визначення ступеня ризику різних небажаних подій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки проблемам підвищення надійності виробничих систем та оцінювання в них ризику були присвячені роботи

© *Волошин Д. І., Афанасенко І. М., 2016*

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. Хазеева, Х. Кумамото, А. Г. Федорця, М. А. Ястребенського і багатьох інших.

Постановка завдання. Розглянути основні принципи аналізу та визначення ризику виникнення відмов у виробничих системах з ремонту вагонів.

Викладення основного матеріалу статті. Велика варіабельність сполучення різнорідних ресурсів у часі та просторі при ремонті вагонів створює невизначений масив наслідків відмов [1, 3] у системі – невиконання норми простою ремонту вагонів, невиконання обсягів виробництва, збільшення трудомісткості операцій, низьку якість ремонту, фінансові втрати і т.п., які прямо впливають на загальну надійність виробничої системи.

Застосування для аналізу надійності виробництва термінології технічних систем досить ускладнене. Це пов'язано з тим, що для більшості виробничих систем їх граничні стани не визначені, а системи безупинно адаптуються до нових умов.

З точки зору класичного виробничого завдання, необхідним є забезпечення визначеного нормативного рівня надійності виробничої системи, що визначається заданим співвідношенням якості одержання запрограмованого результату і кількості необхідних витрат. Тобто надійною виробничою системою є така, у якій при заданій надійності елементів, якості виконання функцій і прогресивній формі організації і обслуговування процесів забезпечується досягнення поставленої мети, тобто безумовне виконання планового завдання.

Але відсутність механізмів аналізу наслідків тих чи інших подій в системі приводить до необхідності оцінювання не тільки можливостей відмови системи, але і визначення ступеня ризику. При цьому під ризиком у виробничій системі розуміють сполучення імовірності і наслідків настання несприятливої події в межах усієї системи [6].

Основною причиною актуальності створення системи з оцінки та управління ризиками є відсутність аналогічних механізмів на вагоноремонтних підприємствах. Ефективне управління дозволить вчасно визначати можливі ризики, імовірність їх настання та можливий термін, а також прогнозувати рівень очікуваних матеріальних витрат при настанні кризової ситуації.

Сьогодні існує достатньо велика кількість методик з оцінювання ризиків при аналізі складних систем. Наприклад, методика оцінки ризиків Value-at-Risk, методика оцінки ризиків Stress Testing, методика на основі побудови дерев рішень, метод сценарного аналізу, метод аналізу чутливості, методика парного порівняння об'єкта, імітаційне моделювання за методом Монте-Карло, метод історичного моделювання та інші. Але, як свідчить аналіз цих методик, вони мають дуже вузьку сферу застосування. Як правило, вони використовуються для аналізу ризиків інвестиційних та організаційних проектів, не враховуючи особливості функціонування систем у специфічних середовищах.

Відсутність досліджень ступеня впливу різних негативних факторів на виробничий процес потребує розробки методики оцінювання виробничих ризиків та створення системи управління ризиками в умовах вагоноремонтних підприємств (ВРП) [7].

Загальний алгоритм оцінювання виробничих ризиків в системі ВРП може виглядати таким чином:

- визначення основних видів виробничого ризику;
- визначення факторів, що створюють передумови для появи ризику;
- визначення коефіцієнтів, що характеризують динамічні властивості ризику у часі;
- визначення загального виробничого ризику в системі.

До основних видів ризику в технологічній системі належить досить велика кількість подій, але з точки зору забезпечення надійності виробництва найбільшу увагу являють «невиконання запланованого обсягу ремонту вагонів» та «невиконання норми простою вагонів у ремонті». До факторів, що створюють передумови для появи ризику належать – нестача трудових ресурсів, низька ефективність кадрів, низька ефективність технологічних ресурсів, низька надійність технологічного обладнання, низька ефективність системи матеріально-технічного забезпечення, техногенні аварії у виробничих підрозділах, порушення функціонування системи «оператор-виробництво», шкідливість виробництва та ін (табл. 1).

Таблиця 1. Приклад показників оцінювання ризиків на ВРП

Найменування показника	Позначення	Аналітичний або емпіричний алгоритм отримання
1. Забезпеченість трудовими ресурсами	$Z_{тр}$	$K_{зтр} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{N_{із}} \right)}{n} \cdot 100$
2. Ефективність трудових ресурсів	$E_{тр}$	Експертне оцінювання
3. Ефективність технологічних ресурсів	$E_{тхр}$	$E_{тхр} = \left(\frac{V_{вин} - V_{брак}}{V_з} \right) \cdot 100$
4. Надійність технологічного обладнання	$H_{то}$	Статистичні методи, експертне оцінювання
5. Ефективність системи матеріально-технічного постачання	$E_{мтп}$	Статистичні методи, експертне оцінювання
6. Рівень якості охорони праці	$P_{оп}$	$P_{оп} = \frac{C_n}{T_k} \cdot 100$
7. Рівень шкідливості виробництва	$P_{шв}$	$P_{шв} = \left(\frac{n \cdot \sum_{i=1}^n t_i}{\mathcal{C} \cdot t} \right) \cdot 100$
8. Ризик техногенної аварії	$R_{та}$	$R_{та} = \frac{(m_1 \cdot z_1 + m_2 \cdot z_2 + \dots + m_n \cdot z_n)}{(m_{1a} \cdot z_1 + m_{2a} \cdot z_1 + \dots + m_{na} \cdot z_n)} \cdot 100$

де N_i – кількість працівників у i -му підрозділі, робітників;
 $N_{із}$ – заплановане число працівників в i -му підрозділі, робітників;
 n – кількість підрозділів підприємства;
 $V_{вин}$ – виконаний обсяг ремонту;
 $V_{брак}$ – обсяг браку;
 $V_з$ – запланований обсяг випуску виробів з урахуванням виробничої потужності;
 $\mathcal{C}$ – фактична чисельність персоналу підприємства, робітників;
 t – кількість робочих днів за рік, год,
 n – кількість робітників на лікарняному, в результаті дії шкідливих факторів;
 t_i – кількість днів, проведених окремим робітником на лікарняному;
 m_n – власні значення показників техногенної аварії;
 m_{na} – значення показників на момент техногенної аварії;
 z_n – значимість показників.

Для формалізації причинно-наслідкових зв'язків, що обумовлюють виникнення різного виду відмов у виробничій системі можливим є використання процедурних механізмів АВПКО – «Аналізу видів, наслідків і критичності відмов» [8].

Як правило, АВПКО проводять силами спеціальної робочої групи зі штату організаційної структури управління підприємства.

Джерелом вихідних даних для проведення АВПКО на виробництві служить наявна документація на виробничі процеси, до складу якої входять:

- технологічні процеси ремонту вагонів та вузлів;
- вимоги нормативно-технічної документації;
- дані про надійність комплектуючих виробів;
- дані про вплив відмов виробничої системи на навколишнє середовище та ін.

Для дотримання єдиного стилю опису відмов і їхніх наслідків в системі необхідно вибрати або розробити довідники-класифікатори, що містять стандартні формулювання для опису:

- найменувань видів відмов;
- проявів відмов;
- первинних причин відмов;
- методів виявлення відмов;
- конструктивних заходів, що компенсують шкідливий вплив;
- коригувальних дій персоналу і т.д.

На наступному етапі проводиться розробка класифікації значення відмов, яка призначена для якісної оцінки потенційних наслідків виду відмов окремих елементів системи (табл. 2).

Таблиця 2. Приклад класифікації відмов виробничої системи ВРП

Категорія	Назва відмови	Примітка
I	Катастрофічна	Відмова, що може викликати невиконання запланованого обсягу робіт або невиконання точно в термін
II	Критична	Відмова, що може викликати значний матеріальний збиток або серйозний брак виробу, що приведе до зриву виконання поставленої задачі
III	Гранична	Відмова, що може викликати незначний матеріальний збиток або незначний брак виробу, що приведе до порушення норм часу або до зниження ефективності ремонту
IV	Незначна	Відмова, яка не завдає матеріального збитку, але призводить до необхідності позапланового обслуговування або ремонту

АВПКО регламентує поняття «критичного елемента (критичного технологічного процесу)», що використовується в методології оцінки і аналізу виробничого ризику. У перелік критичних елементів включають:

- елементи, можлива вага наслідків відмов яких, оцінювана якісно або кількісно, перевершує рівень, припустимий для виробничої системи;
- елементи, відмова яких неминуче викликає повну відмову виробництва;
- елементи з обмеженим ресурсом, що не забезпечують необхідну надійність системи;

– елементи, по яких у момент проведення аналізу відсутні перевірені дані про їхню якість і надійність у розглянутих умовах застосування і можливих наслідках їх відмови.

Таким чином, процедура АВПКО передбачає ранжирування кожного виду відмови з обліком двох складових критичності – частоти (інтенсивності, імовірності) і ваги наслідків.

Якісна оцінка показника критичності окремої відмови елемента виробничої системи може бути визначена, як:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (1)$$

де K_n – бальні оцінки показника критичності відмови елементів.

Для отримання вихідних даних розрахунків можна використовувати експертне оцінювання та інструменти математичної статистики.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Рівень надійності сучасних виробничих систем з ремонту вагонів не задовольняє існуючим вимогам. Маючи на увазі особливості функціонування складних систем в умовах невизначеності, за необхідне вважається розробка системи управління ризиками на основі процедурних механізмів методу АВПКО. Створення і використання системи оцінювання дозволить проводити постійний моніторинг можливих небажаних подій у системі та звести до мінімуму матеріальні витрати внаслідок їхнього виникнення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів / О.В. Фомін // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 6(83). – С. 87-91.
2. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: Науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
3. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності [Текст] / О.В. Фомін // Науковий журнал «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 4/1(24) – С. 83-89.
4. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text] / A. V. Fomin // East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. – № 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – 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).
5. Кульба, В.В. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем / В. В. Кульба, Д. А. Кононов, С.А. Косяченко, А.Н. Шубин. – М.: СИНТЕГ, 2004. – 400 с.
6. Э. Дж., Хенли. Надежность технических систем и оценка риска / Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
7. Денисенко, В.И. Оценка производственного риска на машиностроительных предприятиях / В. И. Денисенко, А. П. Дьяченко // Проблемы анализа риска. – 2008. – Т. 5. – С. 22–38.
8. ГОСТ 27310–95. Анализ видов, последствий и критичности отказов. – Введ. 1995–04–26. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 19 с.

D. I. Voloshin, PhD (Technical Sciences)
(Associate Professor of Cars Chair of Ukrainian State University of Railway Transport)

I. M. Afanasenko
(Senior Lecturer of Cars Chair of Ukrainian State University of Railway Transport)

RISK ASSESSMENT OF PRODUCTION SYSTEMS ON REPAIR OF CARS

The article is devoted to risk assessment in enterprises on repair cars. Modern production is complex, from the point view ensuring the reliability systems. A feature of their operation is how a large amount of initial data to start the process (human resources, technological resources, material resources), and a large number of consequences failures in the system (the failure of the repairs within the specified time, failure of production volumes, material losses).

This leads to the necessity assessing not only the possible failures of the production system but also determine the degree risk of different unwanted events.

To formalize the cause-and-effect relationships that determine the appearance of different kinds of failures in the production system may use procedural mechanisms – ‘Analysis types, consequences and criticality of failures’.

The creation of a risk management system based on advanced mathematical methods and engineering approaches that will significantly reduce losses in the production system and to provide a given level reliability of production processes.

Keywords: production system, reliability, risk, management.

REFERENCES

1. Fomin O.V. Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv / O.V. Fomin // Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho». – Kremenchuk: KDPU, 2013. – Vyp. 6(83). – S. 87-91.
2. Fomin, O.V. Koncepcija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
3. Fomin, O. V. Vprovadzhennya of cruglic pipes in NESC systems napowan W zabezpeceny razvaliny pokaznikiv mcnet [Text]/ O. In Fomn // [the journal «Technology audit and production reserves». – Kharkiv, 2015. – № 4/1(24) – S. 83-89.
4. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – 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).
5. Kulba, V. V. Methods of formation of scenarios of development of socio-economic systems / V. V. kulba, D. A. Kononov, S. A. Kosyachenko, A. N. Shubin. – M.: SINTEG, 2004. – 400 p.
6. E. J., Henley. Reliability of technical systems and risk assessment / E. J. Henley., H. Kumamoto. – M.: Mechanical Engineering, 1984. – 528 S.
7. Denisenko, V. I. Assessment of production risk in machine-building enterprises / V. I. Denisenko, A.P.Dyachenko // Problems of risk analysis. – 2008. – T. 5. – P. 22-38.
8. GOST 27310-95. Analysis of types, consequences and criticality of failures. – J. 1995-04-26. – M.: publishing house of standards, 1996. – 19 S.

УДК 625.143.54-048.445-027.28

І. О. Мікульонок, д.т.н., професор, с.н.с.
(професор кафедри «Хімічне, полімерне та силікатне машинобудування»,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»)

КЛАСИФІКАЦІЯ КОСТИЛІВ РЕЙКОВИХ ШЛЯХІВ ТА ОГЛЯД ЇХНІХ КОНСТРУКЦІЙ

Метою статті є класифікація залізничних костилів та аналіз їхнього конструктивного оформлення.

Запропонована класифікація ґрунтується як на класичному підході до питання верхньої будови рейкового шляху, так і на аналізі відповідної патентної документації різних країн світу.

Наведено класифікацію костилів, а також виконано аналіз конструкцій костилів, що різняться за призначенням, формою поперечного перерізу стрижня, формою стрижня в поздовжньому напрямку, формою загостреного кінця стрижня, ступенем суцільності стрижня, ступенем збірності, ступенем деформування елементів костиля під час його забивання в шпалу, наявністю засобів для підвищення зчеплення костиля зі шпалою, наявністю засобів для стопоріння костиля, наявністю додаткових функцій тощо. Розглянуто перспективи використання запропонованих конструкцій костилів.

Матеріали статті можуть бути корисними науково-педагогічним і педагогічним працівникам, конструкторам, винахідникам, аспірантам і студентам.

Ключові слова: рейковий шлях, верхня будова шляху, костиль, класифікація, конструкція.

Целью статьи является классификация железнодорожных костылей и анализ их конструктивного оформления.

Предложенная классификация основывается как на классическом подходе к вопросу верхнего строения рельсового пути, так и на анализе соответствующей патентной документации различных стран мира.

Приведена классификация железнодорожных костылей, а также выполнен анализ конструкций костылей, различающихся по назначению, форме поперечного сечения стрижня, форме стрижня в продольном направлении, форме заострённого конца стрижня, степени сплошности стрижня, степени сборки, степени деформирования элементов костыля при его забивании в шпалу, наличию средств для повышения сцепления костыля со шпалой, наличию средств для стопорения костыля, наличию дополнительных функций и др. Рассмотрены перспективы использования предложенных конструкций костылей.

Материалы статьи могут быть полезны научно-педагогическим работникам, конструкторам, изобретателям, аспирантам и студентам.

Ключевые слова: рельсовый путь, верхнее строение пути, костыль, классификация, конструкция.

© Мікульонок І. О., 2016

Постановка проблеми. Для облаштування верхньої будови рейкового шляху зазвичай використовують дерев'яні, залізобетонні й металеві шпали, які протягом багатьох десятиліть довели свою достатньо високу ефективність [1–3]. При цьому незважаючи на широке використання нових конструкційних матеріалів значну частку шпал дотепер становлять дерев'яні шпали, для кріплення до яких рейок, рейкових підкладок та інших елементів застосовують передусім костилі.

Відповідно до [4] костиль – це деталь, призначена для прикріплення рейок до дерев'яних шпал або брусів. Костилі виготовляють із вуглецевої сталі й мають овальну головку та квадратний стрижень із загостреним кінцем.

Незважаючи на уявну простоту костилів існує достатньо значна кількість їх конструкцій, запропонована передусім в першій половині XX ст., коли альтернативи дерев'яним шпалам майже не було. Проте навіть і в третьому тисячолітті з'являються нові розробки цих кріпильних засобів.

Разом з тим, відомості про існуючі конструкції залізничних костилів майже відсутні, що істотно ускладнює аналіз сучасного стану й перспектив розвитку стану рейкових шляхів і шляхового господарства.

Метою статті є класифікація костилів для залізничних шпал та аналіз їхнього конструктивного оформлення.

Виклад основного матеріалу. Для облаштування рейкових шляхів з дерев'яними шпалами або брусами в нашій країні, а також у більшості країнах – республіках колишнього СРСР – застосовують здебільшого костильні нероздільні й змішані скріплення, основною перевагою яких є їхня простота [1].

За умови *нероздільного скріплення* із зовнішнього боку рейки до шпали прикріплюють одним костилем, а із внутрішнього – двома, які утримують її від перекидання під навантаженням реборд коліс на внутрішню бічну грань головки рейки. У разі наявності підкладок їхні виступи (реборди) сприймають від рейки зусилля, що намагаються її зсунути й передають ці зусилля на внутрішні й зовнішні костилі. Під час руху рухомого складу залізниць рейка трохи вигинається під тиском колісних пар, що призводить до надсмикування костилів і вібрації підкладок.

Змішані скріплення характеризуються тим, що їхні підкладки прикріплюють до шпал додатковими костиллями, які перешкоджають вібрації підкладок під час руху рухомого складу і в такий спосіб зменшують зношування рейок і шпал.

За *роздільного кріплення* підкладки окремо прикріплюють до шпал шурупами, костиллями або болтами, а рейки – до підкладок за допомогою спеціальних клем і болтів, що вставляються в отвори-пази в ребордах підкладок. При цьому до дерев'яних шпал підкладки кріплять колійними шурупами. Застосовують й інші типи роздільних скріплень.

Перевагами роздільних скріплень є відсутність вібрації підкладок, можливість заміни рейок без знімання підкладок, а також сильне притискання рейки до підкладок, що істотно ускладнює її поздовжні переміщення. Недоліками роздільних скріплень є велика металоємність, а також значна кількість деталей і трудомісткість робіт під час заміни рейок. Отже, основним призначенням костилів є сприйняття осьових і поперечних навантажень, спричинених передусім дією коліс рухомого складу рейкових шляхів на рейки. При цьому на залізницях України й більшості держав – пострадянських республік вимоги до костилів визначено ГОСТ 5812–82 [5].

Костилі виготовляють із сталі марки Ст4 або Ст3 згідно з ДСТУ 2651:2095/ГОСТ 380–2005 [6]. Загальна довжина костилів становить 165, 205, 230 і 280 мм з теоретичною масою 0,378, 0,458, 0,509 і 0,609 кг, відповідно. При цьому на головці подовжених костилів, крім товарного знака або умовного позначення підприємства виробника залежно від їхньої довжини додатково наносять від однієї до трьох рисок.

Аналіз літературних і патентних джерел інформації надав можливість запропонувати класифікацію залізничних костилів, яку наведено на рис. 1.

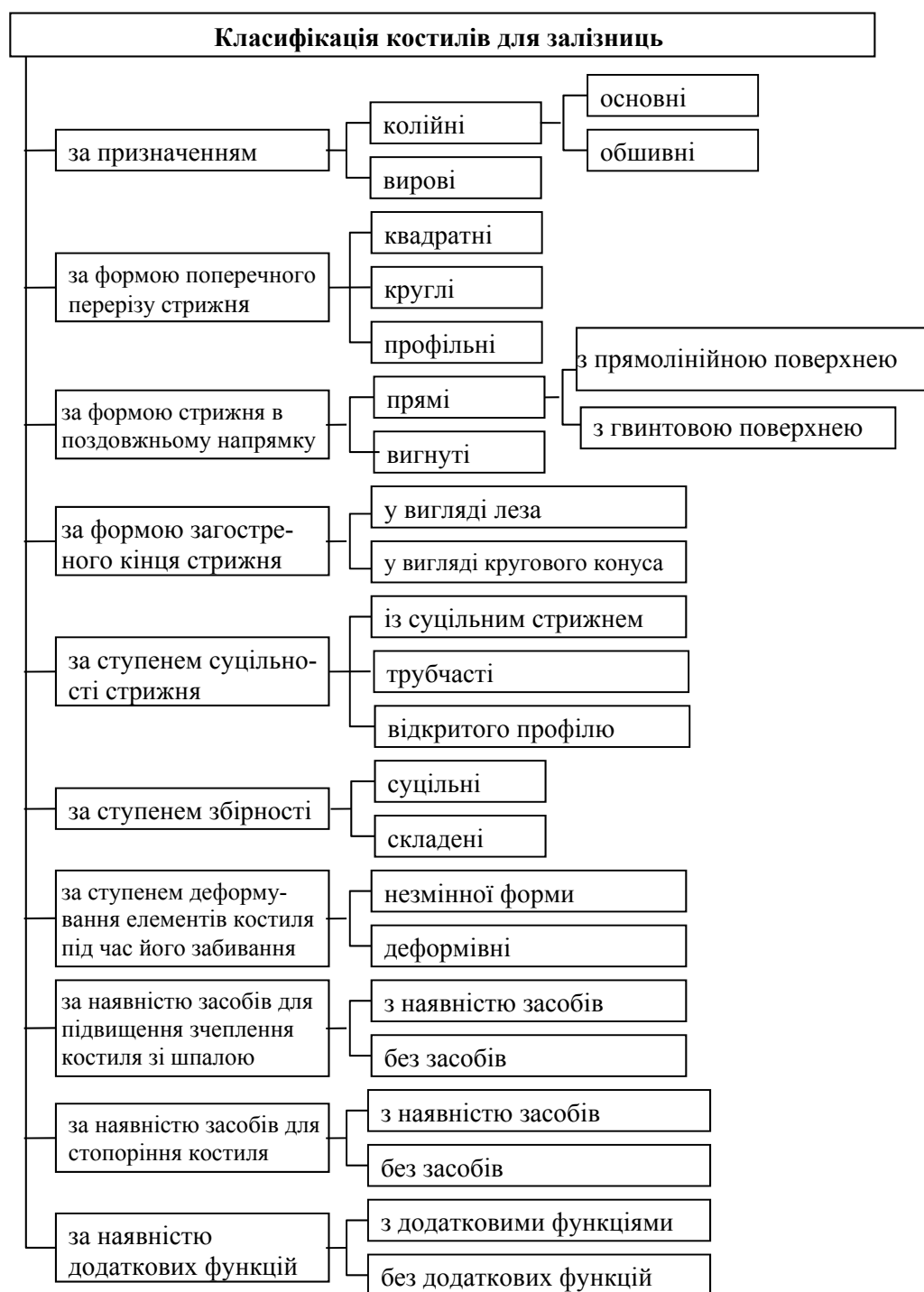


Рис. 1. Класифікація костилів для рейкових шляхів

Незважаючи на значні успіхи матеріалознавства, зокрема й у питанні створення високоефективних композиційних матеріалів, для виготовлення костилів традиційно використовується вуглецева сталь звичайної якості. Зробимо аналіз класифікації шпал, наведений на рис. 1.

За *призначенням* у разі змішаного скріплення костилі поділяють на колійні та вирові.

Колійні костилі (зазвичай завдовжки 165 або 205 мм) призначені для облаштування більшості рейкових шляхів. При цьому розрізняють основні костилі, які притискають підшву рейки до шпали й прокладки та утримують рейку від перекидання й бічного зрушення, а також обшивні (обшивальні) костилі, які притискають підкладку до шпали, сприймаючи зсувні зусилля й зменшуючи вібрацію.

Вирові костилі (зазвичай завдовжки 230 мм) призначені для облаштування рейкових шляхів у місцях наявності вирів земляного полотна.

За *формою поперечного перерізу стрижня* найбільшого поширення набули квадратні костилі [5]. Разом з тим запропоновано конструкції круглих (пат. СРСР № 5554, пат. США № 1523195) або профільних костилів, до яких належать конструкції з хрестоподібним або Х-подібним (пат. США № 1725118, 2356376) та шестигранним стрижнем (пат. України № 2497 У) – з двома протилежними паралельними гранями і розташованими між ними двома парами суміжних граней, заглиблених в тіло стрижня. Також серед профільних костилів можна виділити конструкцію зі стрижнем Н-подібного поперечного перерізу з поздовжніми западинами постійної (пат. США № 1367203, пат. Німеччини № 806014) або змінної (пат. США № 1716019) глибини, що зменшується від леза до головки. Завдяки зазначеним пазам не лише зменшується матеріалоємність костиля, а й збільшується сила зчеплення його стрижня з матеріалом шпали.

Цікавою видається і конструкція (пат. Росії № 2317362 С1), у якій протилежні грані квадратного костиля розташовані під незначним кутом ($1...3^\circ$) до поздовжньої осі. При цьому одна пара граней сходиться в напрямку до головки, а інша – до леза. Таке рішення спрощує процес виготовлення костиля штампуванням з металевого прутка та поліпшує зчеплення стрижня зі шпалою.

За *формою стрижня в поздовжньому напрямку* розрізняють прямі й вигнуті.

Вигнуті костилі викривлені в бік шпали і тому під час забивання в шпалу вони не лише заглиблюються в її тіло, а й міцно притискаються до підшви рейки, що підвищує надійність її фіксації на шпалі (пат. США № 1416819, № 1560221).

Прямі костилі можуть мати прямолінійну або гвинтову поверхню. При цьому гвинтоподібні костилі на відміну від колійних шурупів (див., наприклад, заявки США № US2002/0066796A1, US2015/0034731A1 або пат. Китаю CN203668765U) ці костилі виконують з великим кутом підйому гвинтової лінії. Такі костилі під час забивання в шпалу додатково вкручуються в її тіло, що ускладнює їх висмикування під дією осьових навантажень з боку шпали під час експлуатації рейкового шляху (пат. СРСР № 5554, пат. США № 1884503, 2348331, пат. Німеччини № 377824). У пат. США № 2450361 гвинтоподібну поверхню виконано скручуванням стандартного стрижня квадратного поперечного перерізу.

За *формою загостреного кінця стрижня* розрізняють костилі з лезом у вигляді клина [5], а також кінцем у вигляді кругового конуса (пат. США № 1440444). При цьому костилі з лезом можуть бути виконані як у вигляді симетричного ([5], пат. США № 1367203, 1373875, 1390275, 1393343, 1430758, 1569115), так і несиметричного (пат. США № 1352573, 1416819, 1416971, 1428962) клина.

За *ступенем суцільності стрижня* розрізняють костилі із суцільним стрижнем, трубчасті та у вигляді відкритого профілю.

Згідно з пат. США № 5160085 пропонується костиль виконувати з наскрізним осьовим отвором, тобто трубчастим. Після забивання такого костиля матеріал шпали взаємодіє з поверхнею стрижня не лише з його зовнішньою поверхнею, а й з внутрішньою, що збільшує силу тертя стрижня зі шпалою.

Костиль відкритого профілю запропоновано в пат. Німеччини № 568341, стрижень якого зігнуто з листа у вигляді літер П, S або W (М). Такі костилі забезпечують підвищену силу зчеплення стрижня з матеріалом шпали й низьку матеріалоємність.

За ступенем збірності розділяють суцільні та складені костилі.

Суцільні костилі виготовляють без застосування складальних операцій, а для виготовлення складених костилів застосування складальних операцій обов'язкове. До останніх можна, наприклад, віднести костилі з окремими деталями для підвищення противисмикувальної здатності (заявка США № US2010/0224691A1). У цій конструкції на трьох бокових поверхнях стрижня виконані поперечні пази для розміщення в них П-подібної скоби з відігнутими з боку головки пелюстками. Під час експлуатації такого з'єднання й дії висмикувального зусилля пелюстки занурюються в матеріал шпали, що істотно ускладнює вилучення костилі зі шпали. На жаль і розбирання в разі потреби цього з'єднання майже неможливе без часткового руйнування шпали (у разі вилучення костилі зі шпали пелюстки П-подібної скоби виривають прилеглі до них шари матеріалу шпали).

За ступенем деформування елементів костилі під час його забивання розрізняють костилі незмінної форми й деформівні костилі.

До деформівних костилів належить конструкція з виконанням з боку головки осьовим отвором, який з боку леза сходиться нанівець (пат. США № 1569115). При цьому загострена ділянка стрижня виконана з поздовжнім розрізом з боку леза. Після забивання костилі в шпалу в осьовий отвір вбивають цвях, який розтискає загострену ділянку стрижня, надійно фіксуючи костиль у тілі шпали. Недоліком такої конструкції є складність вилучення костилі зі шпали в разі демонтажу рейок.

На одній з поверхонь стрижня костилі згідно з пат. США № 1352573 виконано поперечні надрізи, а протилежно розташована грань загостреної частини скошено в інший бік. Під час забивання стрижень такого костилі під дією бокової складової зусилля, що діє на скошену грань загостреної частини починає вигинатися в бік поперечних надрізів, що істотно ускладнює подальше вилучення костилі зі шпали.

У пат. США № 3905549 стрижень з боку леза несиметрично надрізано на дві частини, меншу (тонкішу) з яких виконано з лезом, скошеним у бік більшої (товстішої). Під час забивання такого костилі більша (силова) частина костилі заглиблюється в шпалу прямолінійно, а менша (стопорна) викривляється, відхиляючись від вертикалі, що забезпечує надійне стопоріння костилі в цілому.

За наявністю засобів для підвищення зчеплення костилі зі шпалою костилі бувають без зазначених засобів та з їх наявністю.

Найпростішими такими засобами є виступи (рідше) або пази (частіше), виконані на стрижні. Так, поперечні виступи пропонуються виконувати на одній (пат. Китаю № CN101260636A), двох протилежних (пат. США № 1390275) або трьох і більше (пат. США № 1373875, 3356300) поверхнях стрижня. Поздовжні виступи, що сходяться нанівець з боку леза, запропоновано виконувати в пат. США № 3367576. Також на гранях стрижня виконують закриті поздовжні пази, які під час експлуатації рейкової колії частково або повністю заповнюються матеріалом шпали: по одному пазу (пат. США № 1393343, пат. Німеччини № 357597) або по декілька послідовно розташованих пазів на грані (пат. США № 1430758). Поздовжні виступи й западини також виконані на стрижні згідно з пат. США № 1868964, а на костиліях круглого поперечного перерізу пропонуються виконувати поперечні або гвинтові зарубки, що сходяться нанівець з боку головки костилі (пат. США № 1523195), поперечні чи гвинтові виступи (пат. США № 1529989) або кільцеві чи гвинтові западини (пат. Німеччини № 945694).

У костилі згідно з пат. Китаю № CN201195815Y на одній з граней стрижня виконано поперечні зубці, в пат. США № 1428062 на протилежних гранях стрижня виконані V-подібні пази, а в пат. США № 1698370 виконані похилі пази, які після забивання костилі під дією пружних властивостей матеріалу шпали частково або повністю ним заповнюються, що підвищує зчеплення костилі зі шпалою, а отже, й надійність з'єднання. Цікаве рішення запропоноване в пат. Китаю № CN201506942U, у якому

стрижень виконано у вигляді загостреного з одного кінця й спорядженою головкою з іншого відрізка будівельної арматури, для якої характерне виконання вздовж неї поперечних і трохи похилих С-подібних западин, які забезпечують ефективне зчеплення стрижня костилі з матеріалом шпали.

У конструкції (а.с. СРСР № 1794964 А1) на тильній поверхні стрижня костилі (тобто поверхні, віддаленій від рейки) виконані западини змінної глибини: мінімальної з боку головки й максимальної з боку леза. Після забивання такого костилі в шпалу її матеріал з часом заповнює западини стрижня, що ускладнює виривання костилі зі шпали. Аналогічне рішення пропонується і в пат. США № 1416971.

Подібні пази виконують і на скошених гранях загостреної частини стрижня (пат. США № 2533901). При цьому в пат. Німеччини № 832302 запропонована інша форма западин – максимальної глибини з боку головки й мінімальної з боку леза.

У пат. Німеччини № 624159 поздовжні пази на двох протилежних поверхнях виконано періодичної глибини, так що осердя стрижня набуває хвилястої форми.

Також запропоновано на одній або обох поверхнях загостреної частини стрижня виконувати поздовжні гребені (пат. Німеччини № 671463).

За наявністю засобів для стопоріння костилі бувають без зазначених засобів та з їх наявністю. У свою чергу засоби для підвищення зчеплення костилі зі шпалою можуть бути виконані за одне ціле зі стрижнем костилі або у вигляді окремих деталей.

Так, запропоновано костиль з відкритим з боку головки та радіусним з боку леза пазом (пат. Росії № 13045 U1). Після забивання цього костилі в шпалу в зазначений паз заводиться стопорний елемент у вигляді цвяха з надрізаним у декількох місцях стрижнем. Під час забивання цвяха завдяки радіусній ділянці паза в стрижні костилі цвях вигинається й під кутом до поздовжньої осі стрижня костилі заглиблюється в тіло шпали, після чого видалити костиль зі шпали (без попереднього вилучення з нього стопорного елемента) майже неможливо.

За наявністю додаткових функцій розрізняють костилі з такими функціями і без них. Так, додатковою функцією можна вважати виконання на двох протилежних гранях стрижня квадратного поперечного перерізу пазів (переважно у формі ластівчиного хвоста), які перед забиванням костилі заповнюються антисептиком, що запобігає гниттю деревини шпали під час експлуатації рейкової колії (а.с. СРСР № 76736).

Як бачимо, незважаючи на уявну простоту такого звичного кожному з нас елемента рейкового шляху як костиль, винахідницька думка не стоїть на місці та продукує безліч різноманітних технічних рішень щодо конструктивного оформлення костилів рейкових шляхів.

Висновки. У статті зроблена спроба розробки розширеної класифікації костилів рейкових шляхів з урахуванням новітніх досягнень техніки в цьому питанні.

При цьому, навіть зважаючи на запропоновану класифікацію, а не конкретних варіантів виконання костилів, можна зробити висновок про їхнє різноманіття, що дає можливість проектувальникам не лише прослідкувати хід конструкторської думки впродовж тривалого часу експлуатації залізниць, а й за потреби обирати найприйнятніші технічні рішення відповідно до умов експлуатації рейкових шляхів (місце розташування рейкового шляху, кліматичні умови, тип і характеристики рухомого складу тощо).

ЛІТЕРАТУРА

1. Калинин В.К. Общий курс железных дорог.: учебник для сред. ПТУ / В.К. Калинин, Н.К. Сологуб, А.А. Казаков. – М. : Высш. шк., 1986. – 304 с.
2. Общий курс железных дорог : учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта / В. Н. Соколов, В.Ф. Жуковский, С.В. Котенкова, А.С. Наумов ; под ред. В.Н. Соколова. – М.: УМК МПС России, 2002. – 296 с.

3. Мікульонюк І.О. Класифікація шпал та огляд їхніх конструкцій / І.О. Мікульонюк // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: Серія «Транспортні системи і технології». – 2015. – Вип. 26–27. – С. 47–57.

4. Большая Советская Энциклопедия (в 30 т.) / гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – М. : Сов. энциклопедия, 1970. – Т. 13. Конда – Кун, 1973. – 608 с.

5. ГОСТ 5812–82. Костыли для железных дорог широкой колеи. Технические условия. – Введ. 1983–01–01. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 5 с.

6. ДСТУ 2651:2095/ГОСТ 380–2005. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. – Чинний від 2006–09–01. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 7 с.

Ihor O. Mikulionok, Dr. Sci. Tech., Prof., Sen. Researcher
(**Professor of Chemical, Polymeric and Silicate Mechanical Engineering Chair, National technical university of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**)

CLASSIFICATION OF RAILWAY LINES SPIKES AND THE REVIEW OF THEIR DESIGNS

Article purpose is classification of rail spikes (fastening) and the analysis of their constructions.

The offered classification is based as on the classical approach to a problem of the top structure of a railway, and on the analysis of the corresponding patent documentation of the various countries of the world.

Classification of rail spikes is resulted, and also the analysis of new designs of the spikes differing to destination, a form of a rod cross section, the rod form in the longitudinal direction, a form of the pointed end of the rod, the rod uniformity degree, extent of assembly, extent of deformation of elements of the spike at its clogging in a sleeper, existence of means for increase of coupling of a spike with the sleeper, existence of means for latching of the spike, existence of additional functions and so on is made. Possibilities of use of the offered designs of rail spikes are considered.

Article materials can be useful to scientific and pedagogical and pedagogical workers, designers, inventors, post-graduate students and students.

Keywords: railway line, the top structure of a way, rail spikes, classification, design.

REFERENCES

1. Kalinin V. K. Obshchiy kurs zheleznykh dorog [The general course of the railways] / V. K. Kalinin, N.K. Sologub, A.A. Kazakov. – Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986. – 304 p.

2. Obshchiy kurs zheleznykh dorog [The general course of the railways] / V.N. Sokolov, V.F. Zhukovskiy, S.V. Kotenkova, A.S. Naumov ; pod red. V.N. Sokolova. – Moscow, UMK MPS Rossii, 2002. – 296 p.

3. Mikulionok I.O. Klassifikatsiia shpal ta ogliad yikhnikh konstruktstii [Classification of sleepers and review of their designs] / I.O. Mikulionok // Zbirnyk. naukovykh prats DETUT. Seriiia «Transportni systemy i tekhnologii». – 2015. – Vyp. 26–27. – P. 47–57.

4. Bolshaya Sovetskaya Entsiklopediya (v 30 t.) [The Big Soviet Encyclopedia] / gl. red. A.M. Prokhorov. – 3-e izd. Moscow, Sovetskaya Entsiklopediya Publ., 1970. Vol. 13. Konda – Kun, 1973. – 608 p.

5. GOST 5812–82. Kostyli dlia zheleznykh dorog shirokoy kolei. Tekhnicheskie usloviya [Interstate Standard 5812–82. Fastening for broad gauge railways. Technical specifications]. – Moscow: Standards Publishing House, 1999. – 5 p.

6. DSTU 2651:2095/GOST 380–2005. Stal vugletseva zvychainoi yakosti. Marky [Common quality carbon steel, Grades]. – Kyiv: Derzhpozhyvstandart Ukrainy Publ, 2006. – 7 p.

УДК 625.143.5

В. М. Твердомед, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

А. Д. Возненко, к.т.н., професор

(професор кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

В. Д. Бойко, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

РОЗРАХУНОК ПОПЕРЕЧНИХ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СИЛ У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ

Виконані теоретичні розрахунки та розроблена методика визначення горизонтальних поперечних сил взаємодії між колесами рухомого екіпажу та конструкції колії на залізобетонних шпалах з урахуванням схем вписування та коефіцієнта тертя між колесом та рейкою.

Ключові слова: *напрямна сила, бокова сила, рамна сила, графік-паспорта, коефіцієнт тертя.*

Выполнены теоретические расчеты и разработана методика определения горизонтальных поперечных сил взаимодействия между колесами подвижного экипажа и конструкции железнодорожного пути на железобетонных шпалах с учетом схем вписывания и коэффициента трения между колесом и рельсом.

Ключевые слова: *направляющая сила, боковая сила, рамная сила, график-паспорта, коэффициент трения.*

Постановка проблеми. Дослідження руху залізничного екіпажу в кривих ділянках колії є однією із складних проблем взаємодії колії та рухомого екіпажу. Ці труднощі пов'язані з такими особливостями:

- великою кількістю факторів, які впливають на характер руху екіпажу по кривій, що призводить до рішення системи з великою кількістю невідомих;
- складною залежністю сил та моментів тертя від положення центру повороту візка;
- великою кількістю розривів та ступеневим характером зміни деяких функцій, що призводить до необхідності проводити розрахунки по етапах вписування;
- в тому випадку, якщо по кривій рухається екіпаж із зчленованими візками, то можуть виникати випадки, коли доводиться розглядати систему колія – екіпаж, як статично не визначену.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші теоретичні дослідження щодо вписування екіпажа в криву були проведені вченими під час проведення розрахунків колії на міцність при русі рухомого складу. Так, проф. С.Н. Смирнов, проф. А.А. Холодецький та проф. К.Ю. Цеглинський сформулювали основні положення методу вписування екіпажу в криві, який дозволив знаходити сили поперечного тиску коліс на рейки.

© **Твердомед В. М., Возненко А. Д., Бойко В. Д., 2016**

Підтвердження правила знаходження центру повороту екіпажу вперше сформував проф. С.Н. Смирнов згідно з яким, центр повороту екіпажу знаходиться на його поздовжній осі в точці перетину з перпендикуляром, опущеного із центру кривої.

Глибокий аналіз випадків, що виникають при вписуванні локомотивів в криві, провів німецький вчений Г. Юбелакер.

Подальший розвиток теорії вписування рухомого складу в криві отримано в роботах професорів Н.Т. Мініна, К.П. Королева, А.А. Соломянського, В.В. Медея, С.М. Куценко та О.П. Ершкова [1-4]. Дослідженням руху екіпажу та силової взаємодії в кривих ділянках колії проводили професори Г.М. Шахунянц, В.І. Ангелейко, М.Ф. Веріго, В.Н. Данілов, Е.І. Даніленко.

Широке поширення в інженерній практиці отримав метод розрахунку вписування екіпажу в криві, оснований на підборі необхідних установок поступовим наближенням. Найповнішу та точну оцінку горизонтальних поперечних сил в кривих ділянках колії дозволяє проводити узагальнений аналітичний метод, розроблений д.т.н., проф. О.П. Ершковим [3], який був прийнятий за основу в дисертації. Цей метод розроблений на підставі аналізу результатів теоретичних та експериментальних досліджень взаємодії на колію різних типів рухомого екіпажу. Зазначений метод дозволяє проводити оцінку величини та характеру зміни горизонтальних поперечних сил в кривих ділянках колії під час руху найрізноманітніших та складних в конструктивному сенсі типів рухомого екіпажу. При його застосуванні встановлюється швидкість руху поїздів, перевіряється поперечна стійкість колії, визначаються напруження, що виникають в підшві рейки, відтискання головки рейки, сили тиску рейки на проміжні рейкові скріплення.

Але в цьому методі при побудові графіків-паспортів коефіцієнт тертя ковзання між колесом і рейкою приймався постійний $\mu = const$.

Мета статті. На основі аналітичного методу, розробленого д.т.н., проф. О.П. Ершковим розробити методику та провести розрахунки горизонтальних поперечних сил для нових та старих екіпажів при значенні коефіцієнта тертя $\mu \neq const$, яке визначається залежно від відносного проковзування коліс по рейці u/v , що в свою чергу залежить від різних умов вписування ($R \neq const, \alpha \neq const$). Де R – радіус кривої; α – кут набігання колеса на рейку, який визначається відношенням x/R ; x – відстань від напрямної першої осі до центра повороту візка.

Виклад основного матеріалу дослідження. Рівняння рівноваги сил в поперечній горизонтальній площині під час руху екіпажа по кривій згідно з методом д.т.н. проф. О.П. Ершкова та розрахункової схеми вписування (рис. 1) має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, f_1, Y_3) \\ F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, f_4, Y_6) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

При відсутності зчленування візків система рівнянь (1) має два невідомих x_1, x_2 чи Y_3, Y_6 . Для екіпажів зі зчленованими візками порядок розрахунку повинен забезпечувати при даній установці екіпажа швидке знаходження величини внутрішньої сили K в зчленуванні або переміщення кінців рами в зчленуванні z_c . Для цього складається система функцій:

$$\left. \begin{aligned} F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, f_4, Y_3), \\ F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, f_4, Y_6), \\ F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, Y_4, Y_6), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$K = f(x_1, x_2, f_4) \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} f_4 &= f(x_1, x_2, f_1), \\ f_3 &= f(x_1, f_1), \\ f_6 &= f(x_2, f_4), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

У рівняннях (1-2) поперечні сили Y_i визначалися від сукупності факторів $Y = f(P_{cm}, R, \alpha_{nn}, m, \mu)$.

Побудова графік-паспортів була виконана для нових моделей екіпажів та для тих, що тривалий час експлуатуються, а саме: вантажний вагон на візках моделі ЦНП-ХЗ; пасажирський вагон на візках моделі КВЗ-ЦНП та моделі 68-7012; локомотивів ВЛ80, ЧС2, ЧС4, ЧС8, ДС3. На (рис. 2) приводиться графік основних питомих значень характеристик вписування електровоза ДС-3.

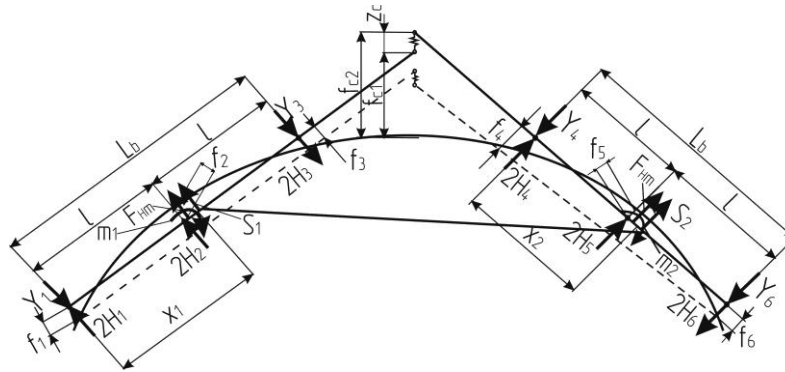


Рис. 1. Розрахункова схема вписування екіпажу в криву із зчленованими візками:

Y_i – напрямні сили, H_i – поперечні складові сил тертя, l – відстані між осями колісних пар у візку, f_i – відстані точок гребенів коліс від зовнішньої рейкової нитки, L_b – довжина жорсткої бази візка, m_i – діючі моменти між кузовом та візком, S_i – діючі сили між кузовом та візком, f_{ci} величини стріл між рейковою ниткою та рамою візка у місці зчленування

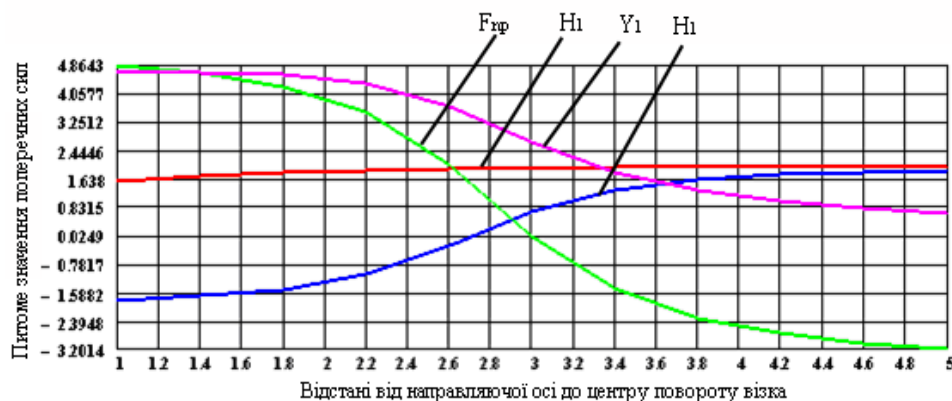


Рис. 2. Основні питомі значення характеристик вписування електровоза ДС-3:

$H1$ – питома поперечна сила від першої колісної пари; $H2$ – питома поперечна сила від другої колісної пари; Fnp – питома значення відцентрової сили; $Y1$ – питома значення напрямної сили

Для розрахунку вписування екіпажу за відсутності зчленування візків достатньо розв'язати систему рівнянь (5), при $K=0$. Алгоритм розрахунку для екіпажі із складною системою підвішування візка до кузова наведений на рис. 3.

$$\left. \begin{aligned} F_{HK} &= \frac{1}{P_0} (F_{nn1}^0 - P_4 \cdot x_1 - P_5 \cdot x_2 - P_6) + m_{01} \frac{P_2 - P_3}{P_0} - m_{02} \frac{P_1 - P_3}{P_0} - \\ &- \text{sign} F_{HK} \Pi_s S_{01} \frac{P_7 + P_8}{P_0} - \text{sign} F_{HK} \Pi_s S_{02} \frac{P_7 - P_8}{P_0} - \frac{P_9}{P_0} (\text{sign}(f_{c1} - f_{c2}) K_0 + \\ &+ \Pi_c \beta_c (\frac{L_b}{2R} (L_b - 2L_c) + \frac{L_c - L_b}{R} x_2 + \frac{L_c}{R} x_1 + (f_1 - f_4))) - \frac{P_{10}}{P_0} (f_4 - f_1) + \frac{P_{11}}{P_0} Y_3, \\ F_{HK} &= \frac{1}{N_0} (F_{nn2}^0 - N_4 \cdot x_1 - N_5 \cdot x_2 - N_6) + m_{01} \frac{N_2 - N_3}{N_0} - m_{02} \frac{N_1 - N_3}{N_0} - \\ &- \text{sign} F_{HK} \Pi_s S_{01} \frac{N_7 + N_8}{N_0} - \text{sign} F_{HK} \Pi_s S_{02} \frac{N_7 - N_8}{N_0} - \frac{N_9}{N_0} (\text{sign}(f_{c1} - f_{c2}) K_0 + \\ &+ \Pi_c \beta_c (\frac{L_b}{2R} (L_b - 2L_c) + \frac{L_c - L_b}{R} x_2 + \frac{L_c}{R} x_1 + (f_1 - f_4))) - \frac{N_{10}}{N_0} (f_4 - f_1) + \frac{N_{11}}{N_0} Y_6. \end{aligned} \right\} (5)$$

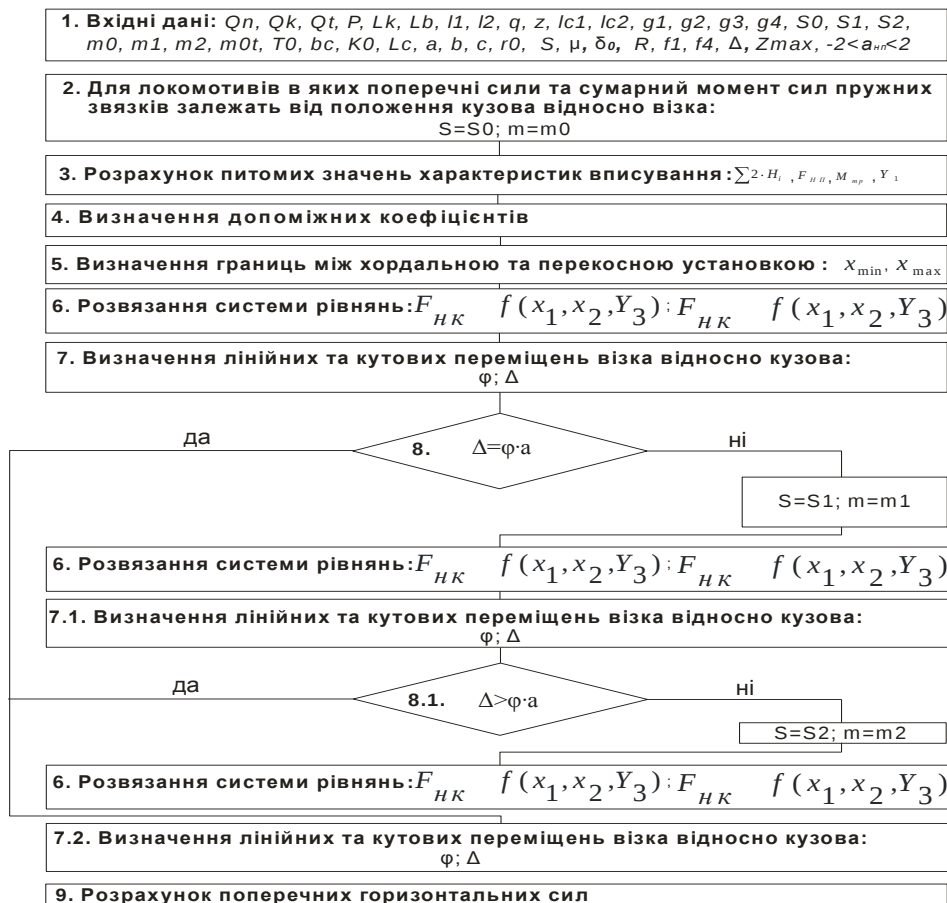


Рис. 3. Алгоритм розрахунку бокових сил для екіпажів із складною системою підвішування візка до кузова без зчленування візків

Для екіпажів, у яких зчленовані візки, порядок розрахунку повинен забезпечувати при даній установці екіпажа швидке знаходження величини внутрішньої сили K в зчленуванні або переміщення кінців рами в зчленуванні z_c . Розрахунок проводиться на основі системи рівнянь (6 – 7) для подальшого розрахунку. Алгоритм розрахунку горизонтальних поперечних сил для екіпажів із зчленованими візками наведений на рис. 4.

$$\left. \begin{aligned} F_{нк} &= f_1(x_1, x_2, f_4, f_3); \\ F_{нк} &= f_2(x_1, x_2, f_4, f_6); \\ F_{нк} &= f_3(x_1, x_2, f_4, f_6) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} F_{нк} &= f_8(x_1, x_2, f_1, Y_3, Y_4, Y_6); \\ F_{нк} &= f_9(x_1, x_2, f_1, Y_4, Y_6) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Із аналізу побудованих графіків-паспортів [6] видно, що для екіпажів, які не мають зчленованих візків, графіки залежності поперечних сил від непогашених поперечних прискорень являють собою пряму лінію чи слабо вигнуту криву опуклість вверху, в бік збільшення поперечних сил [6]. Проведені розрахунки підтверджують справедливості залежностей опублікованих в [7]:

$$Y = Y_0 + b \cdot a_{nn}, \quad (8)$$

де Y_0 – величина поперечної сили при $a_{nn} = 0$, визначається по графіках-паспортах, для локомотива ВЛ80 без членування візків при радіусі по кривій $R=300$ м величина $Y_0 = 80$ кН, для напрямної сили Y_1 ;

b – кут нахилу графіка $Y = f(a_{nn})$, чи похідна від Y по a_{nn} при $a_{nn} = 0$. Для локомотива ВЛ80 без членування візків при радіусі по кривій $R=300$ м величина

$$b = 25,43 \frac{\text{кН} \cdot \text{с}^2}{\text{м}} \text{ для напрямної сили } Y_1.$$

Для екіпажів із зчленованими візками дана залежність залишається справедливою в межах одного етапу вписування. Тому для точного визначення діючої поперечної сили необхідно користуватися графік-паспортами наведених у [6].

Із формули (8) можна зробити такі висновки:

- для зменшення Y_0 треба зменшувати величину $\sum 2H_i$, не збільшувати величину демпфіруючого моменту та не проектувати екіпаж з короткими візками;
- кутовий коефіцієнт b залежить від: маси екіпажу, яка розподіляється між візками; відношення маси кузова та візка; довжини візка.

У цілому проведені розрахунки підтверджують запропоновану О.П. Ершковим [2] методику розрахунку вписування екіпажа в криву ділянку колії для екіпажів із складною системою зв'язку кузова та візків.

На основі прийнятої методики [2] проведені перевірочні розрахунки для побудови графіків-паспортів для екіпажів, які тривалий час експлуатуються: вантажного вагона на 4-х вісних візках ЦНП-ХЗ-О, пасажирського вагона на візках КВЗ- ЦНП, локомотивів ЧС 2, ЧС 4, ВЛ 80.

Також на основі приведеної методики розрахунку вписування екіпажа в криву [2] побудовані графіки-паспорти для нових екіпажів: пасажирського вагона на візках моделі 68-7012, локомотивів ДС-3 та ЧС 8 при вписуванні в криві радіусів: 300 м, 600 м, 1000 м.

Аналізуючи побудовані графік-паспорти [5-6] можна вивести на підставі формули (8) наближені формули для визначення поперечних сил при вписуванні в криві радіусів: 300 м, 600 м, 1000 м. Виведені наближені формули наводяться в табл. 1.

Таблиця 1. Залежність поперечних сил від непогашеного поперечного прискорення

Екіпаж	Радіус, м	Направ. сила Y_1 , кН	Бокова сила Y_6 , кН	Рамна сила Y_p , кН
Чотиривісний вагон на візках ЦНИИ-ХЗ-О	R=300 м	$83,44+13,73 \cdot a_{\text{нп}}$	$59,34+13,97 \cdot a_{\text{нп}}$	$35,23+14,2 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$74,45+13,28 \cdot a_{\text{нп}}$	$53,32+13,51 \cdot a_{\text{нп}}$	$32,2+13,74 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$64,74+13,14 \cdot a_{\text{нп}}$	$46,69+13,37 \cdot a_{\text{нп}}$	$28,64+13,31 \cdot a_{\text{нп}}$
Пасаж. вагон на візках КВЗ-ЦНИИ	R=300 м	$53,85+20,45 \cdot a_{\text{нп}}$	$37,16+18,69 \cdot a_{\text{нп}}$	$20,54+20,91 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$47,86+20,77 \cdot a_{\text{нп}}$	$32,05+17,01 \cdot a_{\text{нп}}$	$18,65+20,23 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$41,89+20,53 \cdot a_{\text{нп}}$	$29,41+21,05 \cdot a_{\text{нп}}$	$16,92+21,39 \cdot a_{\text{нп}}$
Пасаж. вагон на візках 68-7013	R=300 м	$44,33+27,72 \cdot a_{\text{нп}}$	$25,25+23,98 \cdot a_{\text{нп}}$	$11,17+28,24 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$39,31+19,35 \cdot a_{\text{нп}}$	$27,1+19,49 \cdot a_{\text{нп}}$	$10,88+19,64 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$35,03+16,52 \cdot a_{\text{нп}}$	$24,74+16,65 \cdot a_{\text{нп}}$	$9,46+16,77 \cdot a_{\text{нп}}$
Електровоз ВЛ 80 без зчленування візків	R=300 м	$79,87+25,43 \cdot a_{\text{нп}}$	$52,77+25,6 \cdot a_{\text{нп}}$	$25,67+25,78 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$71,17+25,27 \cdot a_{\text{нп}}$	$47,42+25,45 \cdot a_{\text{нп}}$	$23,68+25,62 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$64,05+25,05 \cdot a_{\text{нп}}$	$42,64+25,32 \cdot a_{\text{нп}}$	$21,24+25,42 \cdot a_{\text{нп}}$
Електровоз ВЛ 80 із зчленув. візків (при $a_{\text{нп}}$ від -0,5 до 1 м/с ²)	R=300 м	$56,3+33,31 \cdot a_{\text{нп}}$	$30,15+34,57 \cdot a_{\text{нп}}$	$-1+2,3 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$55,54+11,5 \cdot a_{\text{нп}}$	$32,41+11,85 \cdot a_{\text{нп}}$	$5,4+2,2 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$76,63+12,54 \cdot a_{\text{нп}}$	$36,67+13,05 \cdot a_{\text{нп}}$	$8,5+2,1 \cdot a_{\text{нп}}$
Електровоз ЧС2 без зчленув. візків	R=300 м	$85,37+29,4 \cdot a_{\text{нп}}$	$60,31+29,46 \cdot a_{\text{нп}}$	$35,25+29,51 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$78,18+25,76 \cdot a_{\text{нп}}$	$56,22+25,81 \cdot a_{\text{нп}}$	$34,27+25,85 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$54,93+41,08 \cdot a_{\text{нп}}$	$36,61+41,16 \cdot a_{\text{нп}}$	$18,29+41,24 \cdot a_{\text{нп}}$
Електровоз ЧС4 без зчленув. візків	R=300 м	$65,93+36,63 \cdot a_{\text{нп}}$	$40,87+35,69 \cdot a_{\text{нп}}$	$15,81+36,74 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$63,43+31,1 \cdot a_{\text{нп}}$	$41,45+31,18 \cdot a_{\text{нп}}$	$19,47+31,26 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$55,87+34,5 \cdot a_{\text{нп}}$	$37,1+34,59 \cdot a_{\text{нп}}$	$18,34+34,2 \cdot a_{\text{нп}}$
Електровоз ЧС8 (при $a_{\text{нп}}$ від -0,5 до 1 м/с ²)	R=300 м	$71,99+23,64 \cdot a_{\text{нп}}$	$59,54+22,47 \cdot a_{\text{нп}}$	$20,4+23,97 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$64,01+23,53 \cdot a_{\text{нп}}$	$51,45+22,2 \cdot a_{\text{нп}}$	$18,8+23,87 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$55,3+23,28 \cdot a_{\text{нп}}$	$42,7+22,1 \cdot a_{\text{нп}}$	$16,68+23,61 \cdot a_{\text{нп}}$
Електровоз ДС 3	R=300 м	$74,12+25,26 \cdot a_{\text{нп}}$	$43,25+25,49 \cdot a_{\text{нп}}$	$22,38+25,72 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=600 м	$65,28+25,06 \cdot a_{\text{нп}}$	$42,61+25,3 \cdot a_{\text{нп}}$	$19,94+25,53 \cdot a_{\text{нп}}$
	R=1000 м	$55,85+24,9 \cdot a_{\text{нп}}$	$36,49+25,12 \cdot a_{\text{нп}}$	$17,13+25,43 \cdot a_{\text{нп}}$

Висновки. Проведені розрахунки дозволили розширити основні положення методу вписування залізничних екіпажів в криві та визначати при цьому поперечні сили. Приведений метод дозволяє проводити облік впливу на поперечні сили параметрів та характеристик конструкції, стану екіпажа та колії без врахування сил інерції, які виникають за рахунок коливання підресорених та непідресорених частин екіпажа.

1. До основних особливостей приведенного узагальненого методу вписування належать:

- широке застосування функцій питомих характеристик вписування, що дозволяє уникнути підбору аргументів;
- максимальне використання можливостей отримання для великого ряду екіпажів аналітичних рішень в кінцевому вигляді;
- введення в розрахунок як основної залежності поперечної сили від непогашеного прискорення, дозволило широко використовувати їх лінійність для побудови графік паспортів.

2. Розроблений метод вписування дозволяє в широкому діапазоні швидкостей, радіусів кривих, підвищення визначати вплив на рівень поперечних сил демпфірувального моменту, зчленування візків (вплив попереднього натискання та жорсткості пружин в зчленуванні), поворотальних пристроїв в опорах кузова з різними характеристиками жорсткості, розбігів в осях.

3. Побудова графіків паспортів дозволяє отримати поперечні сили від швидкості руху, радіуса кривої та підвищення зовнішньої рейки.

4. Введення демпфірувальних моментів збільшує полюсні відстані першого візка та зменшує їх в другій. При демпфірувальних моментах перші візки йдуть в колії з більшим перекосом. Наявність демпфірувального моменту призводить до збільшення поперечних сил.

5. Аналізуючи отримані графік-паспорти для локомотива ВЛ-80 із зчленованими візками та без зчленування видно, що зчленування при будь-яких швидкостях руху зменшує величину поперечних сил, діючи на зовнішню рейкову нитку. В кривій радіусом 1000 м процент зменшення напрямної сили першого візка знаходиться в межах 20 %. При наявності зчленування візків полюсні відстані x_1 та x_2 , кут повороту заднього візка зменшується, тобто візки при зчленуванні йдуть в колії з меншим перекосом відносно колії. Враховуючи, що при зчленуванні зменшуються напрямні сили та кути набігання, можна чекати і зменшення бокового зносу зовнішніх рейок в кривих.

7. При проведенні розрахунків вписування в криві ділянки колії рухомого екіпажу з урахуванням в практиці непогашених відцентрових прискорень в більшості випадків достатньо визначити силову взаємодію при абсолютно жорсткій колії.

8. Проведені розрахунки поперечної взаємодії колії та рухомого екіпажу вказують на наявність залежності:

між поперечними силами та статичним навантаженням на колесо екіпажа;

між поперечними силами та геометрією колії, яку видно із аналізу графік-паспортів;

між поперечними силами та непогашеним відцентровим прискоренням, яке в свою чергу залежить від швидкості руху та величини підвищення зовнішньої рейки.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Ериков О.П.* Определение боковых давлений вагонов на путь в кривых / *О.П. Ериков* // Вестник Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 1961. – №8. – С. 5-9.
2. Построение графиков удельных характеристик и графиков-паспортов вписывания железнодорожных экипажей в кривые (теоретические основы): [сбор. науч. труд. ЦНИИ МПС]. – 1963. – вып. 268. – 64-125 с.
3. *Ериков О.П.* Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияния на работу рельсов в кривых участках / *О.П. Ериков* // ЦНИИ. – 1963. – вып. 264. – 204 с.
4. *Ериков О.П.* Расчеты поперечных горизонтальных сил в кривых / *О.П. Ериков* // Труды ЦНИИ МПС. – 1966. – вып. 301. – 232 с.
5. *Даніленко Е.І.* Лінійні конструкції ВБК, улаштування рейкової колії / Улаштування, роботування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом: Підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х т.). – Київ: Інпрес, 2010.
6. *Твердомед В.М.* «Вплив поперечних та повздовжніх сил горизонтальних сил на роботу без підкладкової та підкладкової конструкції рейкової колії» дисертація. к.т.н., К.: ДЕТУТ, 2010, 241с.
7. *Ериков О.П.* Исследование накопления расстройств рельсовой колеи железнодорожного пути / *Ериков О.П.* // Труды ВНИИЖТа. – 1980. – вып. 628. – 103с.

Vladymyr M. Tverdomed, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Railroad Track and Track Sector Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

Anatolii D. Vozneko, PhD (Technical Sciences), Professor
(Professor of Railroad Track and Track Sector Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

Vladymyr D. Boyko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Railroad Track and Track Sector Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

CALCULATION OF CROSS HORIZONTAL FORCES IN THE CURVED SECTIONS FOR RAILWAY TRACKS

Theoretical calculations and developed a method of determining the horizontal cross-interaction forces between the wheels of a moving crew and structures built on concrete sleepers based schemes and incorporating the coefficient of friction between the wheel and rail. Based on the graphic passports withdrawn approximate formula for determining the transverse forces in incorporating a curved radius: 300 m, 600 m, 1000 m.

Keywords: guiding force, lateral force, frame strength, graphic passport friction.

REFERENCES

1. Ershkov O.P. Opredelenie bokovykh davleniy vagonov na put v krivyykh (Determination of lateral pressure of cars on the road in a curve), Vestnik Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta, 1961, No. 8, pp. 5-9.
2. Postroyeniye grafikov udelnykh harakteristik i grafikov-pasportov vpisyvaniya zheleznodorozhnykh ekipazhey v krivyye (teoreticheskie osnovy) (Plotting the specific characteristics and graphs, passports inscribing railway vehicles in curves (theoretical foundations)), sbor. nauk. trud. TsNII MPS, 1963, No. 268, pp. 64-125
3. Ershkov O.P. Issledovaniye zhestkosti zheleznodorozhnogo puti i ee vliyaniya na rabotu rel'sov v krivyykh uchastkakh (The study of railway track stiffness and its effect on the operation of the rails in the curved sections), TsNII, 1963, No. 264, 204 pp.
4. Ershkov O.P. Raschety poperechnykh gorizontalnykh sil v krivyykh (Calculation of the horizontal forces in curves), Trudy TsNII MPS, 1966, No. 301, 232 pp.
5. Danilenko E.I. Liniinye konstruktsii VBK, ulashtuvannya reikovoï kolii, Ulashtuvannya, robotyvannya i rozrakhunky, vzaïmodiia z rukhomym skladom (IBD linear design, installation of rail tracks. Arrangement, work and calculations, interaction with rolling stock). Pidruchnyk dlia vyshchykh navchalnykh zakladiv (u 2-kh tomakh), Kyiv, Inpres, 2010.
6. Tverdomed V.M. Vplyv poperechnykh ta povzdovzhnykh syl horyzontalnykh syl na robotu bez pidkladkovoï ta pidkladkovoï konstruktsii reikovoï kolii (The influence of transverse and longitudinal forces horizontal forces to work without lining and lining rail track construction) thesis. Ph.D, Kiev, DETUT, 2010, 241 pp.
7. Ershkov O.P. Issledovaniye nakopleniya rastroystv rel'sovoy kolei zheleznodorozhnogo puti (Research accumulation disorders rail gauge railway track) Trudy VNIIZhTa, 1980, No. 628, 103 pp.

УДК 621.314.2

С. О. Гулак

(старший викладач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

Е. К. Єрмоленко

(аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

М. О. Усватов

(старший викладач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

Ю. М. Черних, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЗМІННИХ УЗАГАЛЬНЕНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

В статті розглянута і досліджена можливість вибору координат при моделюванні асинхронного двигуна, перехід від істинних координат до квазікоординат, розроблена фізична та математична моделі узагальненого асинхронного двигуна. Розроблені вимоги до магнітної структури і розташування фазних зон в узагальненій фізичній моделі асинхронного двигуна. Визначенні динамічні змінні узагальненої асинхронної електричної машини.

Ключові слова: узагальнена асинхронна машина, явнополюсна машина, фізична модель узагальненої машини, фазні зони, струмові шари, динамічні змінні узагальненої машини, структура узагальненої машини, консервативні змінні, неконсервативні змінні.

В статье рассмотрена и исследована возможность выбора координат при моделировании асинхронного двигателя, переход от истинных координат к квазиординатам, разработана физическая и математическая модели обобщенного асинхронного двигателя. Разработаны требования к магнитной структуре и расположения фазных зон в обобщенной физической модели асинхронного двигателя. Определены динамические переменные обобщенной асинхронной электрической машины.

Ключевые слова: обобщенная асинхронная машина, явнополюсная машина, физическая модель обобщенной машины, фазные зоны, токовые слои, динамические переменные обобщенной машины, структура обобщенной машины, консервативные переменные, неконсервативные переменные.

Постановка проблеми. Моделювання є важливим етапом проектування електроприводу допоміжних машин. Побудова реальної моделі з параметрами, які максимально наближені до предмета моделювання, виявляє низку непередбачуваних проблем, котрі можуть з'явитися в процесі експлуатації асинхронних двигунів, що використовуються як фазорозчіплювач, мотор-вентиляторів, мотор-насосів та мотор-компресорів електропотягів серії ВЛ-80^{т.к}.

© Гулак С. О., Єрмоленко Е. К., Усватов М. О., Черних Ю. М., 2016

Доцільно розробити модель узагальненої асинхронної машини для вивчення та дослідження динамічних параметрів машини. Для цього треба вибрати систему квазікоординат, в яких буде математично описана математична модель узагальненої асинхронної машини та алгоритм переходу від істинних координат до квазікоординат.

Крім того, низка параметрів асинхронного двигуна, які необхідні для побудови математичної асинхронного двигуна досить складно виміряти безпосередньо на електровозі, а в процесі експлуатації ці параметри відійшли від номінальних (паспортних) даних. Для їх визначення слід визначити динамічні змінні узагальненої асинхронної машини, а потім розробити методику визначення цих параметрів.

В даній статті буде розглядатись математична модель узагальненої асинхронної машини та визначення її динамічних змінних за умови, що обмотки асинхронної машини симетричні, а напруга живлення – синусоїдальна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведено аналіз систем квазікоординат, в яких описується робота узагальненої асинхронної машини, розглянуто вимоги для побудови фізичної моделі узагальненої машини [2,3,4].

Визначені динамічні змінні, необхідні для реалізації фізичної моделі узагальненої асинхронної машини.

Мета статті. Розглянути можливість переходу багатофазної асинхронної машини до двофазної моделі узагальненої асинхронної машини, перехід від істинних координат, в яких описується робота реальної машини до квазікоординат з метою побудови математичної моделі для дослідження динамічних режимів роботи асинхронних двигунів допоміжного приводу електровозів серій ВЛ-80^{т,к}. Визначити динамічні змінні узагальненої асинхронної машини, необхідні для реалізації фізичної моделі.

Виклад основного матеріалу дослідження. На електровозах серії ВЛ80 як допоміжні машини використовуються трифазні асинхронні двигуни з коротозамкненим ротором, які живляться від машинного перетворювача – розчіплювача фаз. Для дослідження динамічних режимів роботи слід побудувати математичну модель вказаного приводу і, зокрема, вказаних перетворювачів електричної енергії.

У статті основна увага буде приділена двофазним машинам. Особливу увагу слід приділити перетворенню енергії і, відповідно, створенню в машинах обертового моменту. Нижче буде показано, що з метою аналізу явищ, що виникають із створенням обертового моменту, будь-яка машина незалежно від числа фаз на статорі і роторі може бути приведена до двофазної машини. Таким чином, для ілюстрації основних положень теорії використовується найпростіший пристрій – двофазна машина.

У загальному випадку електрична машина складається з двох груп обмоток або катушок, одна з яких може обертатись відносно іншої.

Відносний рух двох груп катушок обмежений одним ступенем свободи, причому в більшості випадків можливим є обертовий рух. Відповідно буде розглядатись досить загальний тип обертових машин, що називається узагальненим обертовим електромеханічним перетворювачем електроенергії електромагнітного типу, або простіше, узагальненою машиною. Ця машина складається з двох концентричних циліндрів з яскраво вираженими магнітними полюсами на одному з них. На кожній з магнітних поверхонь розташовані два синусоїдальних шара зсунутих відносно один одного на 90 електричних градусів. Подібна геометрична конфігурація характерна для більшості електричних машин і тому ця модель буде використана для отримання характеристик, що описують динаміку електричних машин.

Розгляд електричних машин в статті ґрунтується на фундаментальному припущенні, що машини можуть бути зображені системами лінійних ланцюгів із зосередженими параметрами, які рухаються одна відносно одній. Оскільки два елементи електричної машини (статор – нерухомий елемент, ротор – елемент, що обертається) перебувають у відносному русі, виникає питання про вибір доцільної системи координат для запису

рівнянь руху. Існує деяка свобода вибору координатної системи для вивчення будь-яких специфічних пристроїв, і цей вибір за звичай диктується конкретною задачею і бажаною формою рівнянь руху. При виборі функції Лагранжа для запису рівнянь руху слід використовувати істинні координати. Рівняння руху узагальненої машини будуть виведені в системі істинних координат, після чого ці рівняння будуть зображені в інших системах істинних координат, а також в системі квазікоординат.

Електромеханічні перетворення енергії в перетворювачах електромагнітного типу здійснюється завдяки перетворенням зміни запасу магнітної енергії при зміні механічного положення. В системах з однією струмонесучою котушкою ця зміна запасеної енергії викликається зміною картини магнітного поля в процесі механічного руху. Якщо при зміні положення конфігурація магнітного поля не змінюється, повинна існувати зміна у відносному положенні двох або більше струмонесучих котушок. Таким чином, можна побудувати електромеханічні перетворювачі енергії з однією або декількома струмонесучими котушками, що живляться від одного або декількох незалежних джерел.

На практиці використовують різні способи побудови електричних машин, один з яких зображений на рис. 1 [1]. Машина, що розглядається, складається з чотирьох груп зосереджених котушок (показано по одній котушці на групу), які називаються фазовими зонами. Дві з цих фазних зон розташовуються в пазах нерухомої магнітної системи, що називається статором, дві інші – в пазах магнітної системи, яка обертається – називається ротором. Для задач аналізу грані магнітної системи і обмотки фаз показаних на рис. 1 зосередженими будуть зображені в вигляді неперервної структури, зображеної на рис. 2 [1]. Тут фазовими зонами є синусоїдально розподілені провідні шари, а виступи полюсів статора зображені радіальною провідністю, яка змінюється в функції кута.

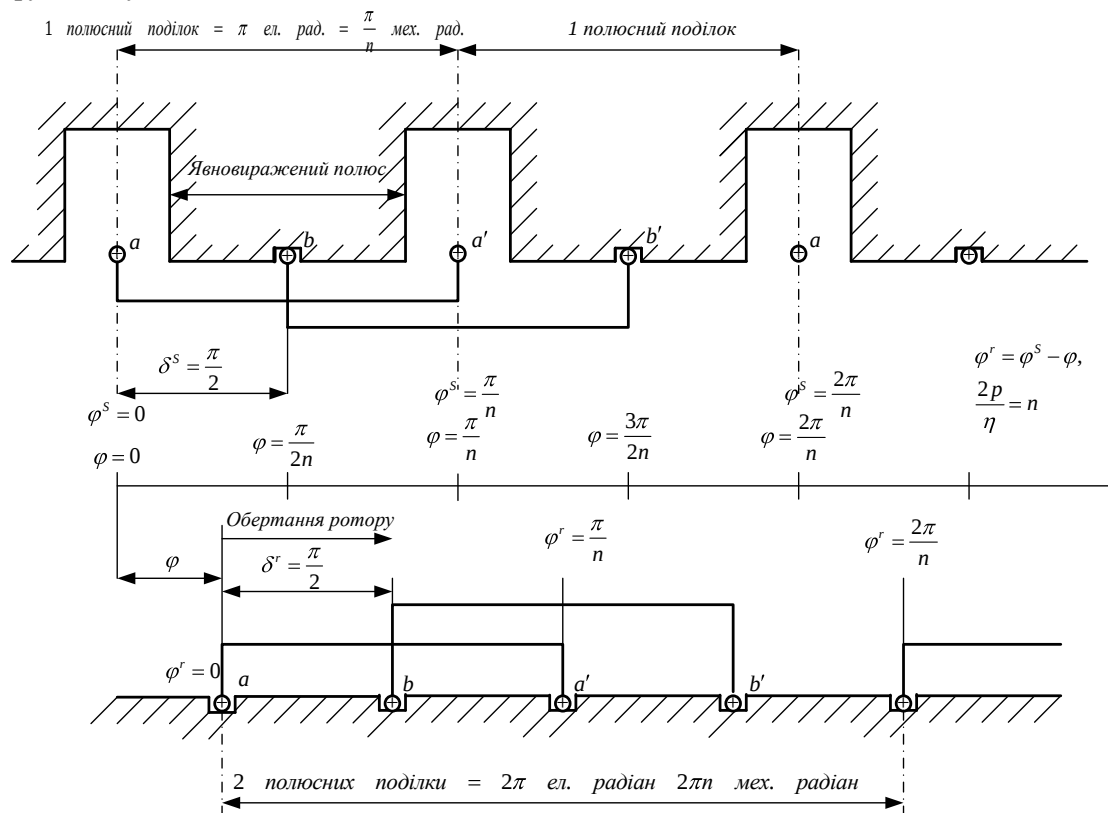


Рис. 1. Явнополюсна машина, що має дві осі і $2p$ полюси

Попри те, що фізична модель, зображена на рис. 2, може здатись лише грубим наближенням до структури, зображеної на рис. 1, нижче буде показано, що вона цілком придатна для вивчення динамічних властивостей більшості обертальних машин. Передбачається, що магнітна структура і розташування фазових зон в узагальненій фізичній моделі (рис. 2) має задовольняти таким умовам [1]:

1. Електричний просторовий кут $\varphi_{ел}$ і механічний просторовий кут φ зв'язані співвідношенням:

$$\varphi_{ел} = p \cdot \varphi = n \cdot \varphi \quad (1)$$

де $\varphi_{ел}$ – кут в електричних просторових радіанах;

φ – кут в механічних просторових радіанах;

p – число пар полюсів машини;

n – число періодів просторового розподілу струмового шару.

Полюс може бути визначений як область, в якій існує радіальний магнітний потік одного напрямку, або як півперіод синусоїдального струмового шару. Один полюсний поділок дорівнює одній фазовій зоні і містить π електричних просторових радіан. Кількість полюсів повинне виражатись парними числами; кожна пара полюсів складається з одного південного і одного північного полюсу.

2. На кожен полюс припадає дві фазні зони на статорі і дві на роторі (у відповідно до числа фаз машини). Передбачається, що фазна зона створює густину струму, синусоїдально розподілену в просторі. Синусоїдально розподілений струмовий шар створюється, якщо витки в фазній зоні синусоїдально розподілені в просторі і поділок складає π електричних просторових радіан. Передбачається, що в узагальненій моделі витки синусоїдально розподілені в просторі, так що струм i , підведений до затискачів фазної зони, створює поверхневу густину струму $K \varphi = i \cdot Z \cdot \cos n \cdot \varphi$.

3. Фазні зони як статора, так і ротора зсунуті, зміщені в просторі на 90 електричних градусів тобто, магнітні осі фазних зон зсунуті на $\frac{\pi}{2}$ електричних радіан, або на

$\frac{\pi}{2n}$ механічних радіан.

4. Повітряний зазор є областю простору між магнітними системами статора і ротора. Передбачається, що одна сторона повітряного проміжку є магнітно «гладкою», а інша має магнітну нерівномірність (полюсні виступи), що періодично повторюються через π електричних просторових радіан, або через $\frac{\pi}{2}$ механічних радіан.

5. Як витікає з попередньої умови, не розглядається така магнітна нерівномірність в повітряному проміжку, що створюється пазами, які використовуються в реальних машинах для розміщення обмоток. Це не виключає магнітні рівномірності на одній із сторін повітряного проміжку, що повторюється через кожні π електричних просторових радіан, оскільки ця нерівномірність, характерна для явнопольосних машин, не протирічить умові 4.

6. При визначенні напруженості в явнопольосних машинах повітряний проміжок буде передбачатись рівномірним, що має величину g , яка дорівнює середній величині повітряного проміжку для явнопольосної структури. Нерівномірність повітряного проміжку буде тоді враховуватись в ідеалізованій моделі за допомогою радіальної магнітної проникності, що змінюється в просторі:

$$\mu_{pad} = \mu - \mu_2 \cdot \cos 2 \cdot \pi \cdot \varphi^s \quad (2)$$

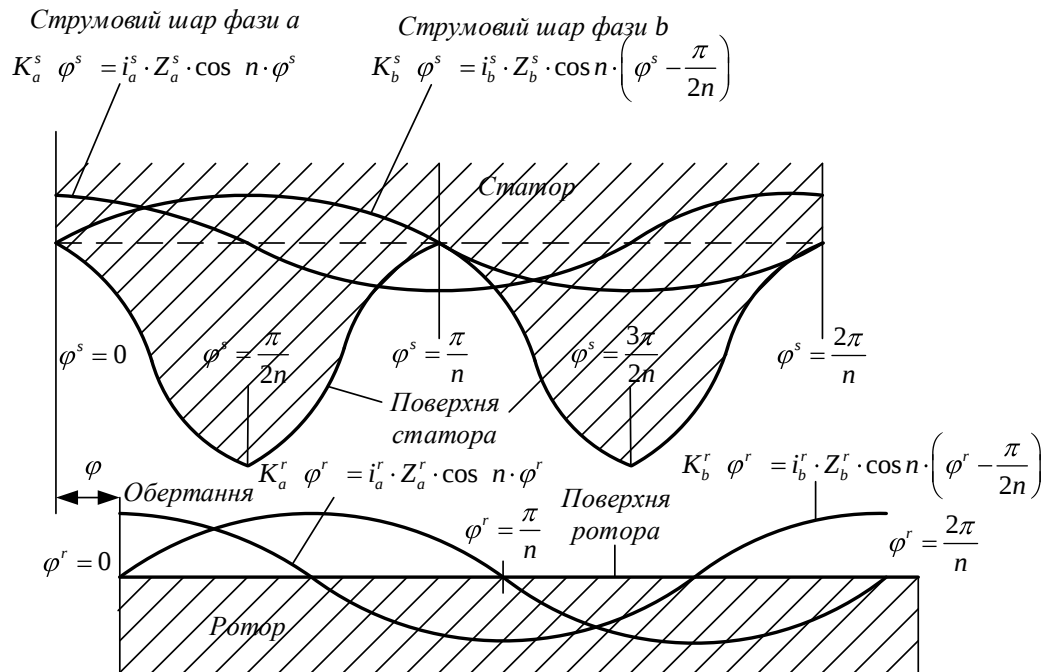


Рис. 2. Струміві шари, створені синусоїдально розподіленими котушками в узагальненій машині. $\varphi^r = \varphi^s - \varphi$; $\mu_{pad} = \mu - \mu_2 \cdot \cos 2 \cdot \pi \cdot \varphi^s$

7. Передбачається, що фазні зони зв'язані з колекторами або контактними кільцями і всі їх параметри та живлення будуть визначатись відносно затискачів, нерухомих відносно відповідного елемента магнітної системи. Таким чином затискачі фазних зон ротора нерухомі в просторі відносно ротора, але обертаються в просторі відносно статора.

8. Є рівна кількість витків в кожній із двох фазних зон, розташованих на статорі. Роторні фазні зони мають також однакову кількість витків.

9. Магнітний матеріал ротора і статора має лінійну характеристику намагнічування з дуже високою магнітною проникністю. Передбачається, що насичення відсутнє. Це припущення робить всі зосереджені електричні параметри незалежними від електричних змінних, але параметри можуть бути функціями механічних змінних.

10. Запасена електрична енергія, що використовується для опису машини, розглядається лише як енергія поля нульового порядку або енергія статичного магнітного поля. Енергією електростатичного поля нехтують, що дозволяє не враховувати вплив ємностей всередині обмоток і між ними. Всі електричні поля, які створюються зміною в часі магнітних полів або відносним рухом в магнітному полі, не входять в енергетичну функцію, що описує систему. Ці електричні поля з'являються при виведенні рівнянь руху з енергетичної функції системи, записаної для енергії магнітного поля.

Фізичні процеси в узагальненій машині повинні описуватись за допомогою еквівалентних параметрів таких як опори та індуктивності відносно чотирьох пар електричних затискачів, в'язке демпфірування, жорсткість і інерція відносно пари механічних

затискачів. Щоб встановити ці параметри, необхідно чітко визначити змінні, які будуть використовуватись для опису руху узагальненої машини. Вибравши еквівалентну схему узагальненої машини, наведену на рис. 3 [2], в якій електричними змінними є чотири струми в котушках, а механічною змінною є положення валу, можна визначити всі координати і швидкості системи. Узагальнені координати і швидкості узагальненої машини, що має п'ять пар затискачів чотири електричних і одну механічну, наведені в табл. 1.

Змінні, наведені в табл. 1, включають узагальнені координати, швидкості, сили та імпульси. Лише дві із цих чотирьох змінних $q, \dot{q}, p, f$ можуть бути вибрані як незалежні змінні, що застосовуються для опису узагальненої машини.

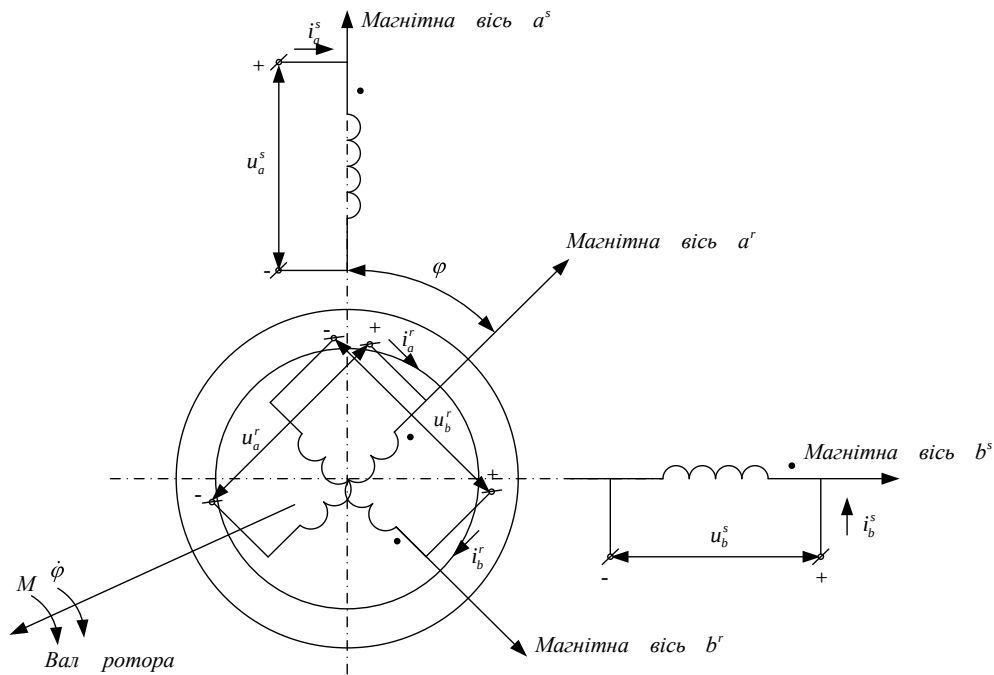


Рис. 3. Схематичне зображення двовісної двополусної машини

Нижче як незалежні динамічні змінні вибирають узагальнені координати q_k і узагальнені швидкості $\dot{q}_k$. Цей вибір зручний при використанні лагранжіана для виведення рівнянь руху. Залежні змінні (у випадку, що розглядається, узагальнені сили f_k та узагальнені імпульси p_k) повинні бути вираженими через вибрані незалежні змінні. Для узагальненої машини це означає, що чотири потокощеплення $\psi_a^s, \psi_b^s, \psi_a^r, \psi_b^r$, механічний імпульс p_ϕ і механічна сила f_ϕ повинні бути виражені через незалежні змінні $i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r, \phi, \dot{\phi}$. Механічний імпульс p_ϕ і сила f_ϕ є функціями лише механічної координати ϕ і можуть бути виражені через момент інерції ротора J і жорсткість системи K таким чином:

$$p_\phi = J \cdot \dot{\phi} \quad (3)$$

$$f_{\varphi} = K \cdot \varphi \quad (4)$$

Таблиця 1. Узагальнені координати і швидкості узагальненої машини, що має п'ять пар затискачів, чотири електричних і одну механічну

	Електричні				Механічні
	Статор		Ротор		Ротор
	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$	$k = 5$
Консервативні змінні q_k					φ
$\dot{q}_k$	i_a^s	i_b^s	i_a^r	i_b^r	$\dot{\varphi}$
p_k	ψ_a^s	ψ_b^s	ψ_a^r	ψ_b^r	p_{φ}
f_k					f_{φ}
Неконсервативні змінні	u_a^s	u_b^s	u_a^r	u_b^r	M
В'язке тертя	R_{aa}^{ss}	R_{bb}^{ss}	R_{aa}^{rr}	R_{bb}^{rr}	α

Залежність електричних імпульсів (тобто, потокощеплень $\psi_a^s, \psi_b^s, \psi_a^r, \psi_b^r$) від узагальнених координат і швидкостей q_k та $\dot{q}_k$ може бути знайдена при вираженні цих імпульсів як функцій струмів і індуктивностей. Нижче буде показано, що індуктивності є функціями механічної координати φ . Вирази для потокощеплень при використанні різних власних і взаємних індуктивностей, що вимірюються відносно чотирьох електричних затискачів, мають вигляд:

$$\begin{aligned} \psi_a^s i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r, \varphi &= L_{aa}^{ss} \cdot i_a^s + L_{ab}^{ss} \cdot i_b^s + L_{aa}^{sr} \cdot i_a^r + L_{ab}^{sr} \cdot i_b^r; \\ \psi_b^s i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r, \varphi &= L_{ba}^{ss} \cdot i_a^s + L_{bb}^{ss} \cdot i_b^s + L_{ba}^{sr} \cdot i_a^r + L_{bb}^{sr} \cdot i_b^r; \\ \psi_a^r i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r, \varphi &= L_{aa}^{rs} \cdot i_a^s + L_{ab}^{rs} \cdot i_b^s + L_{aa}^{rr} \cdot i_a^r + L_{ab}^{rr} \cdot i_b^r; \\ \psi_b^r i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r, \varphi &= L_{ba}^{rs} \cdot i_a^s + L_{bb}^{rs} \cdot i_b^s + L_{ba}^{rr} \cdot i_a^r + L_{bb}^{rr} \cdot i_b^r \end{aligned} \quad (4)$$

Індуктивності $L_{aa}^{sr}, L_{ab}^{sr}, \dots$ і т.д. не є постійними, і залежність цих індуктивностей від незалежних змінних (у випадку, що розглядається, від механічного положення φ) повинна бути визначена до кінцевого вираження залежних змінних. Велика кількість змінних, необхідна для опису узагальненої машини, призводить до складних і громіздких аналітичних виразів. Для часткового спрощення задачі буде застосована матрична форма запису. Всі змінні будуть виражені в матричній формі до того часу, поки не буде визначена залежність індуктивностей від φ .

У даному викладенні використовуються такі матричні позначення. Повна матриця для всієї узагальненої машини позначається відповідною буквою без індексів, укладена в квадратні дужки R . Матриця для частини машини, наприклад, для електричної частини, позначається так само, але буква має відповідні верхні та нижні індекси:

$\left[R_{ab,ab}^{s,r} \right]$. Субматриця системи іноді записується у вигляді малої літери з індексами, укладеної між квадратними дужками: $\left[r_{ab}^s \right]$.

Окремі елементи матриць, що складені із параметрів, позначаються великими літерами, а матриць, складених із змінних – малими літерами з індексами в обох випадках. Верхній індекс при змінній позначає частину магнітної системи, до якої належить змінна: s для статора і r для ротора, нижніми літерами a або b позначаються відповідні обмотки. Наприклад, i_a^r – струм ротора, що протікає в обмотці a . Індокси при параметрах мають той самий сенс, наприклад, взаємна індуктивність L_{ab}^{rs} визначає напругу, наведену в котушці a ротора при зміні струму в обмотці b статора. У випадку матриць, що складені із параметрів, застосовуються подвійні нижні індекси (наприклад $\left[L_{ab,ab}^{s,r} \right]$). В цьому записі символ ab безпосередньо під символом s вказує, що статорні величини виражені через струми в котушках; подібний же сенс мають позначення, які належать до роторних величин. Надалі координатні системи будуть змінені. Наприклад, роторні величини можуть бути визначені через змінні dq ; в цьому випадку матриця взаємної індуктивності запишеться як $\left[L_{ab,dq}^{s,r} \right]$.

Незалежні узагальнені координати і швидкості:

$$q = \begin{bmatrix} q_a^s \\ q_b^s \\ q_a^r \\ q_b^r \\ q_\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \varphi \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{q}_a^s \\ \dot{q}_b^s \\ \dot{q}_a^r \\ \dot{q}_b^r \\ \dot{q}_\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{i}_a^s \\ \dot{i}_b^s \\ \dot{i}_a^r \\ \dot{i}_b^r \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{ab,ab}^{s,r} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Матриці, складені з параметрів:

$$R = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{aa}^{ss} & 0 \\ 0 & R_{aa}^{ss} \end{bmatrix} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \begin{bmatrix} R_{aa}^{rr} & 0 \\ 0 & R_{aa}^{rr} \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_{aa}^{rr} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{ab}^s & 0 & 0 \\ 0 & \begin{bmatrix} r_{ab}^s \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & 0 & \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{ab,ab}^{s,r} & 0 \\ 0 & \alpha \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$L = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} L_{aa}^{ss} & L_{ab}^{ss} \\ L_{ba}^{ss} & L_{bb}^{ss} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} L_{aa}^{sr} & L_{ab}^{sr} \\ L_{ba}^{sr} & L_{bb}^{sr} \end{bmatrix} & 0 \\ \begin{bmatrix} L_{aa}^{rs} & L_{ab}^{rs} \\ L_{ba}^{rs} & L_{bb}^{rs} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} L_{aa}^{rr} & L_{ab}^{rr} \\ L_{ba}^{rr} & L_{bb}^{rr} \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & 0 & J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} l_{ab}^s \\ l_{ab,ab}^{r,s} \\ 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} l_{ab,ab}^{s,r} \\ l_{ab}^r \\ 0 \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & 0 & J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} L_{ab,ab}^{s,r} & 0 \\ 0 & (8)J \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K \end{bmatrix} \quad (9)$$

Залежні узагальнені сили та імпульси

$$F = \begin{bmatrix} f_a^s \\ f_b^s \\ f_a^r \\ f_b^r \\ f_\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \\ K_\varphi \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$P = \begin{bmatrix} p_a^s \\ p_b^s \\ p_a^r \\ p_b^r \\ p_\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \psi_a^s \\ \psi_b^s \\ \psi_a^r \\ \psi_b^r \\ J \cdot \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_{ab,ab}^{s,r} \\ J \cdot \dot{\varphi} \end{bmatrix} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ab,ab}^{s,r} & 0 \\ 0 & J \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{i}_{ab,ab}^{s,r} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Неконсервативні сили:

$$Q = \begin{bmatrix} Q_a^s \\ Q_b^s \\ Q_a^r \\ Q_b^r \\ Q_\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_a^s \\ u_b^s \\ u_a^r \\ u_b^r \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{ab,ab}^{s,r} \\ M \end{bmatrix} \quad (12)$$

Висновки та пропозиції

1. Розглянуто можливість переходу від реальної багатополусної асинхронної машини до узагальненої двополусної асинхронної машини з метою вивчення та дослідження динамічних процесів в асинхронному двигуні.
2. Розроблені вимоги до магнітної структури і розташування фазних зон в узагальненій фізичній моделі асинхронного двигуна.
3. Визначені динамічні змінні, необхідні для побудови моделі узагальненої асинхронної машини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Уайт Д., Вудсон Г. Электромеханическое преобразование энергии. – М.: Энергия, 1964. – 528 с.
2. Проектирование электрических машин под ред. И.П. Копылова. – М.: Энергия, 1980. – 495 с.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.
4. Пустосветов М., Солтус К., Синявский И. Компьютерное моделирование асинхронных двигателей и трансформаторов. Примеры взаимодействия с силовыми электронными преобразователями. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 199 с.

Sergey Goolak

(Senior Lecturer Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

Edward Yermolenko

(Post Graduate of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

Mark Usvatov

(Senior Lecturer Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

Yuriy Chernyh, PhD (Technical Sciences), Associate Professor

(Professor of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

DETERMINATION OF GENERALIZED DYNAMIC VARIABLE INDUCTION MOTOR

The article reviewed and researched the choice of coordinates when simulating induction motor, the transition from the true coordinates to kvazikoordynat shown adequacy image multiphase machine with a two-phase generalized and reverse transition from generalized two-phase machine to multiphase developed physical and mathematical models of generalized asynchronous motor with a view study of dynamic processes in asynchronous motor. Developed requirements for the magnetic structure and location of the zones in the

generalized phase physical model of induction motor. Definition of dynamic variables generalized asynchronous electric machine. Dynamic variables classified as conservative and non-conservative. Given the mathematical definition of dynamic parameters of generalized asynchronous machine. The article adopted restrictions – motor windings symmetrical voltage – sinusoidal. This article is the basis for the further definition of dynamic variables in the environment where the motor winding – asymmetrical, and voltage – not sinusoidal.

Keywords: *generalized asynchronous machine yavnopolyusna machine, generalized physical model cars, phase zone current layers, dynamic variables generalized machine structure generalized machine variables conservative, non-conservative variables.*

REFERENCES

1. D.Wait, G.Woodson. Electromekhanicheskiye preobrazovateli energiyi. – M.: Energiya, 1964, 528 pp.
2. Proektirovaniye elektricheskikh mashin pod red. Kopylova I.P. – M.: Energiya, 1980, 495 pp.
3. Kopylov I.P. Matematicheskoye modelirovaniye elektricheskikh mashin; Ucheb. Pos. dlya vuzov. – 3-ye izd, pererab I dop. – M.: Vyssh. shk., 2001, 327 pp.
4. Pustosvyetov M., Soltus K., Senyavskiy I. Computernoye modelirovaniye asinhronnykh dvigateley I transformatorov. Primery vzaimodeistvia s silovymi elektronnyimi preobrazovatelyami. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013, 199 pp.

УДК 629.463.122

В. М. Іщенко, к.т.н., доцент

(т.в.о завідувача кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

Н. С. Брайковська, к.т.н., професор

(в.о. ректора Державного економіко-технологічного університету транспорту, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство», м. Київ)

В. Є. Осьмак, к.т.н.

(старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

Н. С. Кочешкова, к.б.н.

(доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

МЕТОДОЛОГІЧНО-ІНФОРМАЦІЙНІ АСПЕКТИ ПАСПОРТИЗАЦІЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ІЗОТЕРМІЧНИХ ВАГОНІВ

Дана робота присвячена пошуку методологічних основ паспортизації ізотермічного рухомого складу, а саме критих вагонів з теплоізоляцією. Проаналізовано існуючі вимоги до технічних паспортів вагонів та їх інформативність. Запропоновано шляхи удосконалення нормативної документації та основні напрямки та методичні основи наукових досліджень, спрямованих на підвищення ефективності використання ізотермічних вагонів. Результати свідчать, що зазначення теплотехнічних характеристик в паспорті вагона даного типу, дозволить більш об'єктивно оцінювати можливість їх експлуатації та ефективність використання для транспортування швидкопсувних вантажів протягом життєвого циклу.

Ключові слова: паспортизація, інформатизація, теплотехнічні характеристики, спеціалізований ізотермічний вагон.

Представленная работа посвящена поиску методологических основ паспортизации изотермического подвижного состава, а именно крытых вагонов с теплоизоляцией. Проанализированы существующие требования к техническим паспортам и их информативность. Предложены пути усовершенствования нормативной документации и основные направления проведения научных изысканий, направленных на повышение эффективности использования изотермических вагонов. Результаты показали, что внесение теплотехнических характеристик в паспорта вагонов данного типа, позволит объективнее оценивать возможность их эксплуатации и эффективность использования для транспортировки скоропортящихся грузов на протяжении всего жизненного цикла.

Ключевые слова: паспортизація, інформатизація, теплотехнічні характеристики, спеціалізований ізотермічний вагон.

© Іщенко В. М., Брайковська Н. С., Осьмак В. Є., Кочешкова Н. С., 2016

Постановка проблеми. Залізницями України щороку транспортується понад 900 млн. т вантажів, що становить близько 60 % загального вантажообороту країни [1]. Значна частина з них вимагає особливих умов перевезення – охолодження, вентилявання, обігріву чи підтримання режиму «термосу». Відповідно, для таких вантажів використовується спеціалізований ізотермічний рухомий склад [2] (рефрижераторні вагони та контейнери, вагони-термоси, спеціальні цистерни для вина, живорибні вагони), а також універсальні криті вагони, криті вагони з утепленням та універсальні контейнери, що забезпечують захист від дії високих або низьких температур атмосферного повітря.

Важливу роль в забезпеченні ефективного використання вагонів даного типу відіграє якісна і ефективна оцінка їх теплотехнічних показників в умовах експлуатації. Проте на теперішній час можливо говорити про ці або інші показники та характеристики вагона тільки на початковій стадії експлуатації після випуску з заводу-виробника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В сучасних умовах ринкової економіки з'явилась велика кількість відправників та споживачів з невеликими об'ємами перевезень. Аналіз номенклатури таких вантажів показав, що перевезення значної їх частини не вимагають підтримання встановленого температурного режиму, а потребує лише захисту від атмосферного впливу та різких перепадів температур навколишнього середовища. Використання для перевезення таких вантажів 5-вагонних рефрижераторних секцій економічно не вигідне, оскільки для ефективного використання потужностей вантажопідйомності кожної одиниці рухомого складу, необхідно затрачати багато часу на очікування достатньої кількості вантажу та вибудовувати складні логістичні схеми для його доставки. Перевагу в даних умовах одержують одиночні криті вагони з теплоізоляцією (КВТ), здатні забезпечити сучасні вимоги до зберігання більшої частини вантажів, що перевозяться залізницею.

Для підвищення ефективності використання ізотермічного рухомого складу, в умовах коли змінюються номенклатура, спосіб та об'єми перевезення вантажів, відбувається формування парку КВТ. В теперішній час КВТ є найчисельнішою складовою ізотермічного рухомого складу, поповнення парку якого відбувається в переважній більшості шляхом переобладнання вантажних вагонів 5-вагонних рефрижераторних секцій та автономних рефрижераторних вагонів. Проте одночасно відбувається і створення, розробка, виробництво та постачання на залізниці вагонів з покращеними теплозахисними якостями кузова.

Фактично, на сьогоднішній день парк даних типів вагонів власності «Укрзалізниця» складається з вагонів-термосів моделі ТН 4-201 Дессау (близько 8 %), 5-ти секційних рефрижераторних вагонів (5 %) та критих вагонів з утепленням кузова (87 %). Коефіцієнт теплопередачі огороження критих вагонів з утепленням кузова складає $K=0,45 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ [3]. Контроль відповідності нормам ізотермічних транспортних засобів [4], що по суті гарантує якісне збереження та надійне перевезення вантажу, здійснюється на наступних етапах життєвого циклу:

- до введення ізотермічного вагону в експлуатацію;
- періодично, але не рідше одного разу в шість років;
- в будь який час за вимогою компетентного органу.

Загальна перевірка вагона проводиться з метою встановлення його герметичності, загального характеру ізолюючої конструкції, способу будови ізоляції, роду і стану стінок ізоляції, стану збереження ізотермічного огороження, товщини стінок ізоляції тощо.

Такий контроль якості проводиться на випробувальних станціях, призначених або уповноважених компетентним органом країни, де зареєстрований або взятий на облік транспортний засіб. Всі основні технічні характеристики, дані про стан вагона, етапи

його модернізації та види ремонту, відповідно, відображаються у паспорті вагона, як основному документі, що засвідчує можливість його експлуатації.

Метою статті є обґрунтування методичних основ та удосконалення паспортизації КВТ в умовах вагоноремонтного підприємства, шляхом внесення теплотехнічних характеристик кузова вагона.

Виклад основного матеріалу дослідження. КВТ, на відміну від вагонів-рефрижераторів, не має холодильно-опалювальної установки, що підтримує температурний режим перевезення вантажу на шляху прямування. Двері та кузов таких ізо-термічних вагонів мають спеціальну обшивку, яка підтримує необхідний температурний режим (рис. 1).



Рис. 1. Критий вагон з теплоізоляцією

Підтримання температурного режиму вимагає спеціального огороження вантажного приміщення вагона. Вирішальна роль в цьому випадку належить теплової ізоляції. Шар теплоізоляції має великий термічний опір, який різко зменшує зовнішні теплонадходження та дає можливість тривалий час підтримувати в вагоні необхідні температурно-вологісні умови. В свою чергу товщина та об'єм теплової ізоляції перешкоджають повітрообміну з навколишнім середовищем, що також зменшує тепло надходження у вантажне приміщення вагона.

Це пояснюється тим, що новий рухомий склад підлягає ретельним випробуванням та дослідженням з визначення основних показників та характеристик до яких належать:

- вантажопід'ємність, яка визначає максимальне навантаження, що можливо провести в даному типі вагона і зазначається в тонах;
- довжина вагона, відповідно зазначається в метрах;
- визначення «тара», зазначає масу порожнього вагона в тонах;
- коефіцієнт тари – порівняльна характеристика вагонів призначених для однакових вантажів, визначається співвідношенням маси тари на вантажопід'ємність;
- осьове навантаження, число яке визначає припустиме навантаження від осі колісної пари вагона на один метр колії;
- маса «брутто» - максимально припустима маса завантаженого вагона;
- місткість вагона – визначається об'ємом вантажного приміщення і площею підлоги;
- середній коефіцієнт теплопередачі – значення теплоізоляційних якостей огороження кузова вагона;
- показник герметичності – значення повітрообміну вантажного приміщення з навколишнім середовищем.

Але вже після двох-трьох років експлуатації вагона неможливо достатньо впевнено стверджувати про його показники і характеристики та теплозахисні властивості огороження кузова вагона. Ця задача, ще більш ускладнюється після проходження деповського або капітального ремонтів [5].

Раніше в роботах [6, 7] авторів було показано, що в процесі експлуатації змінюються теплотехнічні властивості ізоляції та герметичності кузова вагона. Важливо, що після тривалої роботи та планових видів ремонту, вагон набуває достатньо різко виражені індивідуальні теплотехнічні показники та характеристики. Тому, результати вибіркового випробування вагонів на герметичність та коефіцієнт теплопередачі, що виконується на вагоноремонтних підприємствах, неможливо вважати достатньо надійним до усієї партії відремонтованих вагонів. В підсумку, в теперішній час, для КВТ переобладнаних з рефрижераторного рухомого складу, немає достатніх даних, за якими би було можливим встановити ступінь придатності цих вагонів до забезпечення необхідного захисту вантажу на умови його перевезення.

Існуючий ізотермічний рухомий склад має технічні паспорти, у яких, як і для інших типів вагонів, відображені загальні вихідні дані про серійний вагон.

Наприклад, технічний паспорт вагона-термоса (рис. 2) побудови Німеччини (Дессау, Ниске, Баутцен), в якому вказано:

- номер вагона, власник, рік та дата побудови, заводський номер, тип та модель вагона;
- загальні дані про вагон – тара, вантажопідйомність, габарит, матеріали обшивки кузова, довжина;
- обладнання вагона – тип повітророзподільника, тип важільної передачі, тип авторежиму, наявність ручного стоянкового гальма, тип автозчепу, тип поглинального апарату;
- характеристики окремих частин вагона – модель візка, наявність підсилюючих балок підлоги;
- останній ремонт – дата та підприємство яке виконувало ремонт;
- перенумерування;
- виконання модернізації.

Характерним є те, що в технічному паспорті відсутні показники, що визначають теплотехнічні властивості огороження кузова вагона та теплоізоляції. Теплотехнічний паспорт абсолютно не відображає теплозахисні властивості кузова вагона в процесі експлуатації. Таким чином, питання паспортизації КВТ потребує нових підходів не лише в організаційному відношенні, але також і в технічному. З вищенаведених аргументів стає очевидним, що теплотехнічний паспорт вагона обов'язково повинен містити дані за якими в будь який час експлуатації можливо зробити висновки про його теплотехнічні властивості, рівні обмеження придатності, ступені надійності теплоізоляції, якості виробництва, ремонту і експлуатації. Оскільки саме ці дані визначають можливість використання вагонів даного типу для транспортування швидкопсувних вантажів.

Складання та ведення технічного паспорту транспорту з теплотехнічним показниками кузова вагона є далеко складним завданням, що потребує відповідних організаційних, технічних та методичних рішень.

Так, на організаційному рівні доцільно в існуючу структуру технічного паспорту критого вагона з теплоізоляцією внести характеристики, що відображають теплозахисні властивості огороження кузова.

Для вагонів заново збудованих в технічний паспорт можливо внести наступні теплотехнічні характеристики:

- приведений коефіцієнт теплопередачі ($K_{пр}$), що характеризує сумарний тепло масообмін вантажу і повітря у вантажному приміщенні вагона з навколишнім середовищем;
- показник герметичності – об’ємні витрати повітря при створенні у кузові вагона нормованого надлишкового тиску 49Па ($V_{ст}$);
- Для вагонів, що пройшли капітальний ремонт внести в технічний паспорт додаково:
- істинний (переважно кондуктивний) коефіцієнт теплопередачі огороження кузова вагона ($\bar{K}$);
- площу еквівалентного отвору фільтрації ($F_{ек}$). Яка є геометричним показником герметичності.

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ВАГОНА N 58031881	
СОБСТВЕННИК	УКРАИНА (22)
ПРЕДПРИЯТИЕ	ФИЛИАЛ "РВК" ПАО "УКРЗАЛИЗНИЦА" (320274)
ИЗГОТОВИТЕЛЬ	ГЕРМАНИЯ (ДЕССАУ, НИСКЕ, БАУТЦЕН) (6711)
ЗАВОДСКОЙ НОМЕР	0
ТИП ВАГОНА	5800 - 4-ОСНОВНОЙ РЕФРИЖЕРАТОРНЫЙ ВАГОН-ТЕРМОС МОДЕЛИ ТН-4-201
(ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕ СОДЕРЖИТ)	
МОДЕЛЬ	ТН-4-201
ДАТА РЕГИСТРАЦИИ	10 МАРТА 2015 Г.
ПРИЧИНА РЕГИСТРАЦИИ 8 (ВОЗВРАТ АРЕНДОВАННОГО ВАГОНА СОБСТВЕННИКУ)	

ОБЩИЕ ДАННЫЕ О ВАГОНЕ	
ТАРА	33.0 Т
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ	60.0 Т
ГАВАРИТ	1-Т МАТЕРИАЛ ОШ.КУЗОВА 09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12
ДЛИНА	22160 ММ

ОБОРУДОВАНИЕ ВАГОНА	
ТИП ВОЗДУХ.	483-000
РУЧНОЙ ТОРМОС	НЕ ОБОРУДОВАН
АВТ.РЧ.ПЕР.	--
ТИП АВТОСЦЕПКИ	--
РЫЧАЖН. ПЕР.	--
ТИП ПОГЛ.АППАР.	Ш-1-ТМ
АВТОРЕЖИМ	--
ВОЗМ.ПОСТ.БУФ.	--

ХАРАКТЕРИСТИКА ОТДЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ ВАГОНА	
МОДЕЛЬ ТЕЛЕЖЕК	18-100, 18-109, 18-131, 18-120, 18-755, 18-477, 18-9770, 18-1750, 18-2128, 18-98
ПОДПИСЬ.УСЛ.БАЛОЧКИ	--
КОД СИГС-1	--
КОД СИГС-2	--

ПОСЛЕДНИЕ РЕМОНТЫ	
КАПИТАЛЬНЫЙ	13 ОКТЯБРЯ 2013Г.
(527)	ФАКТОВ-ВЧРЕМ ФИЛИАЛА "РВК" ПАО УЗ (КЭП Ж.Д.)
ДЕПОВСКОЙ	06 СЕНТЯБРЯ 2015Г.
(527)	ФАКТОВ-ВЧРЕМ ФИЛИАЛА "РВК" ПАО УЗ (КЭП Ж.Д.)

ПЕРЕНОМЕРОВАНИЕ	
СТАРЫЙ НОМЕР ВАГОНА	80010283

ВЫПОЛНЕННЫЕ МОДЕРНИЗАЦИИ	
13 ОКТЯБРЯ 2013 Г.	ФАКТОВ-ВЧРЕМ ФИЛИАЛА "РВК" ПАО УЗ (КЭП Ж.Д.)
3108	УСТАНОВКА ИЗНОСОСТОЙКИХ ТЕЛЕЖЕК МОДЕЛИ 18-100
06 СЕНТЯБРЯ 2015 Г.	ФАКТОВ-ВЧРЕМ ФИЛИАЛА "РВК" ПАО УЗ (КЭП Ж.Д.)
3108	УСТАНОВКА ИЗНОСОСТОЙКИХ ТЕЛЕЖЕК МОДЕЛИ 18-100

ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ	
ПО ТЕХ.РЕШЕНИЮ ДО	01 СЕНТЯБРЯ 2019 Г.

ПРИМЕЧАНИЕ. -- ОЗНАЧАЕТ ОТСУТСТВИЕ ДАННЫХ В ЦЕНТРЕ.КАРТОТЕКЕ	

Рис. 2. Існуючий технічний паспорт вагона моделі ТН-4-201

Для встановлення значень $\bar{K}$ та $F_{ек}$ пропонується використовувати процедуру роздільного визначення показників тепло-масообміну [8] за результатами теплотехнічних випробувань методом нагрівання повітря у вантажному приміщенні і об’ємні витрати повітря при створенні в кузові вагона нормованого надлишкового тиску.

Таким чином, технічний паспорт вагона-термоса побудови Німеччини (Дессау, Ниске, Баутцен), про який мова йшла вище буде виглядати, як зображено на рис. 3.

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ВАГОНА N 58031881	
СОБСТВЕННИК	УКРАИНА (22)
ПРЕДПРИЯТИЕ	ФИЛИАЛ "РВК" ПАО "УКРАЛИЗЕНЦИЯ" (320274)
ИЗГОТОВИТЕЛЬ	ГЕРМАНИЯ (ДЕССАУ, НИСКЕ, БАУТЦЕН) (6711)
ЗАВОДСКОЙ НОМЕР	0
ТИП ВАГОНА	5800 - 4-ОСНОВНОЙ РЕФРИЖЕРАТОРНЫЙ ВАГОН-ТЕРМОС МОДЕЛИ ТН-4-201
(ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕ СОДЕРЖИТ)	
МОДЕЛЬ	ТН-4-201
ДАТА РЕГИСТРАЦИИ	10 МАРТА 2015 Г.
ПРИЧИНА РЕГИСТРАЦИИ	8 (ВОСВРАТ АРЕНДОВАННОГО ВАГОНА СОБСТВЕННИКУ)
ОБЩИЕ ДАННЫЕ О ВАГОНЕ	
ТАРА	33.0 Т
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ	60.0 Т
ГАБАРИТ	1-Т
МАТЕРИАЛ ОШ. КУЗОВА	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12
ДЛИНА	22160 ММ
ОБОРУДОВАНИЕ ВАГОНА	
ТИП ВОЗДУХ.	483-000
РУЧНОЙ ТОРМОЗ	НЕ ОБОРУДОВАН
АВТ. РЫЧ. ПЕР.	--
ТИП АВТОСЦЕПКИ	--
РЫЧАЖН. ПЕР.	--
ТИП ПОГЛ. АППАРАТ	Ш-1-ТМ
АВТОРЕЖИМ	--
ВОСМ. ПОСТ. БУФ.	--
ХАРАКТЕРИСТИКА ОТДЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ ВАГОНА	
МОДЕЛЬ ТЕЛЕЖЕК	18-100, 18-109, 18-131, 18-120, 18-755, 18-477, 18-9770, 18-1750, 18-2128, 18-98
ПОДПОРЫН. УСИЛ. БАЛОЧКИ	--
КОД СМГС-1	--
КОД СМГС-2	--
ПОСЛЕДНИЙ РЕМОНТ	
КАПИТАЛЬНЫЙ	13 ОКТЯБРЯ 2013Г.
(527) ФАКТОВ-ВЧРЕМ	ФИЛИАЛА "РВК" ПАО УЗ (ЮСП Ж.Д.)
ДЕПОВСКОЙ	06 СЕНТЯБРЯ 2015Г.
(527) ФАКТОВ-ВЧРЕМ	ФИЛИАЛА "РВК" ПАО УЗ (ЮСП Ж.Д.)
ПЕРЕЧИСЛЕНИЕ	
СТАРЫЙ НОМЕР ВАГ.	
ВЫПОЛН.	13 ОКТ
Ж.Д.)	3108 УСТАНОВКА 1
Ж.Д.)	06 СЕН
Ж.Д.)	3108 УСТАНОВКА 1
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОСЛЕ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА	
ПРИВЕДЕННЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ	
ПОКАЗАТЕЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТИ	
ИСТИННЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ	
ПЛОЩАДЬ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ОТВЕРСТИЯ ФИЛЬТРАЦИИ	
ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ	
ПО ТЕХ. РЕШЕНИЮ ДО	01 СЕНТЯБРЯ 2015 Г.
ПРИМЕЧАНИЕ. -- ОЗНАЧАЕТ ОТСУТСТВИЕ ДАННЫХ В ЦЕНТР.КАРТОТЕКЕ	

Рис. 3. Технічний паспорт вагона моделі ТН-4-201 з відображенням теплотехнічних показників огородження кузова

Очевидно, що для заповнення технічного паспорта необхідний комплекс експериментальних та наукових досліджень. Провівши аналіз ситуації, що склалася, можна запропонувати їх можливі напрямки та методичні основи.

Заводські данні технічного паспорта вагона в більшості вже є в практиці випробувань серійних зразків і не потребують додаткових досліджень.

Приведений коефіцієнт теплопередачі огородження кузова нового вагона достатньо надійно характеризує середньoserійними даними і повинен отримуватись найбільш точним загальноприйнятим методом рівноважних теплових режимів. В умовах вибірових експериментів їх тривалість не має вирішального значення.

Проте навіть за відомої величини приведенного коефіцієнта теплопередачі доцільно мати також незалежну оцінку герметичності вагона, яка оцінюється за витратами об'єму повітря при підтриманні всередині вагона надлишкового тиску величиною 49Па.

Значно більш складним, особливо в організаційному відношенні, є питання контролю теплотехнічного показника КВТ після проходження капітального ремонту. Це

пов'язано з необхідністю перевірки кожного окремого вагона. Контроль якості капітального ремонту КВТ повинен передбачати мінімальну кількість регламентованих випробувань вагонів, що не порушують технологічного ремонту та суттєво не затримують випуск відремонтованих вагонів. Вважається доцільно виконувати на вагоноремонтних підприємствах два експериментальних теплотехнічних дослідження вагона:

1) прискореним методом визначати коефіцієнт теплопередачі кузова вагона.

2) методом створення надлишкового нормованого тиску повітря в кузові вагона визначати показник герметичності.

Прискорений метод визначення коефіцієнта теплопередачі кузова ІТЗ дозволяє при заданій точності суттєво (в рази), порівняно з рівноважними методами, скоротити час проведення теплотехнічних випробувань, що збільшує продуктивність випробувальних станцій вагоноремонтних підприємств.

Важливим методичним етапом подальшого дослідження є визначення значення водного еквіваленту теплоізоляційного огороження кузова вагона (W), що надає можливість створення метода нестационарних режимів, більш зручного та продуктивного з визначення коефіцієнта теплопередачі кузова вагона. Величину W можна визначати шляхом проведення спеціальних експериментів, при цьому повинні бути обов'язково відомі значення коефіцієнта теплопередачі кузова. Найбільш зручним та надійним для досягнення цієї мети є метод швидкого підігріву повітря у вагоні з наступним природним його охолодженням.

Ступень обмеження експлуатаційної здатності відремонтованого вагона пропонується характеризувати на підставі побудови та аналізу графічних залежностей зміни температури вантажу на умови транспортування з урахуванням експериментального визначення теплотехнічних показників огороження кузова вагона, перепаду температур навколишнього середовища та теплового еквіваленту вантажу.

Для побудови таких графічних залежностей можливо використовувати розроблену математичну модель [8] теплотехнічного стану вагона з вантажем та методичні основи побудови відповідних графіків.

Розглянуті основні принципи та методичні основи паспортизації КВТ не є загальноприйнятими. Більш того, для їх реалізації потрібні значні зусилля робітників науково-дослідних організацій, ПАТ «Укрзалізниця» та вагонобудівних і вагоноремонтних підприємств. Однак є підстави вважати, що удосконалення методів експериментального визначення параметрів теплотехнічного стану КВТ та впровадження теплотехнічної паспортизації буде сприяти суттєвому підвищенню ефективності використання вагонів в умовах експлуатації.

Висновки. В ході даної роботи були визначені методичні основи паспортизації КВТ в умовах вагоноремонтного підприємства для використання теплозахисних властивостей кузова вагона в процесі експлуатації. Окрім цього обґрунтовано вибір характеристик, які дозволяють в будь який час експлуатації оцінити теплотехнічні властивості огороження кузова, рівень обмеження придатності теплоізоляції, якості виробництва та ремонту вагона. Внесення теплотехнічних характеристик ізотермічних вагонів до технічного паспорту дозволяє більш об'єктивно оцінювати ефективність їх експлуатації та можливість використання для транспортування швидкокопсуваних вантажів протягом всього терміну служби.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Статистичний бюлетень за 2015 рік.* – К.: Державна служба статистики, 2016. – С. 50-51.
2. *Науменко С.Н.* Перевозки скоропортящихся грузов в рефрижераторных контейнерах / С.Н. Науменко, Теймуразов Н.С. // Железнодорожный транспорт. – 2004 – № 10. – С. 42 – 45.

3. *Порядок експлуатації вагонів, переобладнаних із рефрижераторних вагонів, та умови перевезення в них продовольчих, окремих видів швидкопсувних та інших вантажів у міжнародному сполученні між державами-учасниками Співдружності, Латвійської Республіки, Литовської Республіки, Естонської Республіки*: 998-232 – К: Парлам. вид-во, 2004.
4. *ОСТ 24.050.65-86 Вагоны рефрижераторные. Методика проведения теплотехнических испытаний*. – М., 1986. – 59 с.
5. *Бартош Е.Т. Энергетика изотермического подвижного состава* / Е.Т. Бартош –М.: Транспорт, 1976. – 304 с.
6. *Ищенко В.М. Теплотехнічна модель конструкції огороження кузова критого вагона з теплоізоляцією* / Іщенко В.М., Фомін О.В., Осьмак В.Є. // Збірник наукових праць Українського Державного університету залізничного транспорту Випуск 157, Харків 2015. – С.143-148.
7. *Osmak V. Classification isothermal rolling stock with the main criteria thermal properties fence body.* (Класифікація ізотермічного рухомого складу залізниць з урахуванням основних критеріїв теплотехнічних властивостей огороження кузова.) [Текст] / V. Osmak / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2015, No. 3 – P.265-267.(включений до міжнародних науково-метричних баз SCOPUS, Index Copernicus, eLibrary)
8. *Кельрих М.Б. Теоретические основы раздельного определения показателей тепломассообмена при теплотехнических испытаниях крытых вагонов с теплоизоляцией* / Кельрих М.Б., Брайковская Н.С., Ищенко В.Н., Осьмак В.Е. // Збірник наукових праць Української Державної академії залізничного транспорту присвячений 60-ти річчю кафедри «Вагони». – Випуск 139. – Харків 2013. – С. 35-40.

Vadim M. Ischenko, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Acting Head of Cars and Carriage Facilities Chair, Associate Professor of Cars and Carriage Facilities Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

Nadyia S. Braikovs'ka, PhD (Technical Sciences), Professor
(Acting Head of the State University for Transport Economy and Technologies, Professor of Cars and Carriage Facilities Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

Viktor E. Os'mak, PhD (Technical Sciences)
(Senior Lecturer, Cars and Carriage Facilities Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

Natalia S. Kocheshkova, PhD (Biological Sciences)
(Associate Professor, Cars and Carriage Facilities Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

METHODOLOGICAL AND INFORMATIVE ASPECTS OF TECHNICAL PASSPORT OF THE SPECIALIZED ISOTHERMAL CARRIAGES

This paper represents the search for methodological foundations of the isothermal rolling stock certification, namely insulated covered carriages. There were analyzed the existent requirements to the technical passports and their informational content. There were offered several ways of improving the standard technical documentation, and the main directions of scientific researches designed to improve the efficiency of use of isothermal carriages. The results showed that the introduction of thermal characteristics to this specific carriage passport will allow to objectively evaluating their possibility to transport perishable goods during the entire life cycle.

Keywords: passport system, informatization, heating engineering descriptions, specialized isothermal carriage.

REFERENCES

1. *Statistic bulletin for 2015*. – K. State department of statistics. 2016. – P. 50-51.
2. *Naumenko S.N. Perevozki skoroportisschihsia gruzov v refregiratornykh konteinerah* / S.N. Naumenko, N.S. Teimyrzov // *Jeleznodorogznyi transport*, 2004. – N 10. – P. 42-45.
3. *Poriadok ekspluatacii vagoniv, pereobladnanykh iz refrijeratornykh vagoniv ta umovy perevezennia v nych prodovolchich, okremykh vydiv shvydkopsyvnykh ta inshykh vydiv vantajiv u mijnarodnomy poluchenni mizg derjavamy-uchasnyciamy Spivdrujnosti, Latvyiskoi Republics, Litovskoi Republics, Estons'koi Republics*. K: Parlam vydvo, 2004. – pp. 998-232
4. *OST 24.050.65-86 Vagony refrizheratomye. metodika provedeniya teplotexnicheskix ispytaniy*. M., 1986. -59 s.
5. *Bartosh E.T. Energetika izotermicheskogo podvizhnogo sostava* / E.T. Bartosh –M.: Transport, 1976. 304 s.
6. *Ishhenko V.M. Teplotexnichna model konstrukcii ogorodzhennya kuzova kritogo vagona z teploizolyacieyu* / Ishhenko V.M., Fomin O.V., Os'mak V.E. // *Zbirnik naukovix prac ukraïnskogo derzhavnogo universitetu zaliznichnogo transportu vipusk 157*, Harkiv 2015. pp.143-148.
7. *Osmak V. Classification isothermal rolling stock with the main criteria thermal properties fence body* / V. Osmak / *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*. 2015, No. 3 – P.265-267.
8. *Kelrix M.B. Teoreticheskie osnovy razdelnogo opredeleniya pokazatelej teplomassoobmena pri teplotexnicheskix ispytaniyax krytyx vagonov s teploizolyaciej* / Kelrix M.B., Brajkovskaya N.S., Ishhenko V.N., Os'mak V.E. // *Zbirnik naukovix prac ukraïnskoï derzhavnoï akademii zaliznichnogo transportu prisvyachenij 60-ti richchyu kafedri «vagoni» vipusk 139*, Harkiv 2013. pp. 35-40.

УДК 629.4.072:629.1.072

*С. Ю. Сапронова, д.т.н., професор
(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*

*В. П. Ткаченко, д.т.н., професор
(професор кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)*

А. М. Фоміна

(інженер філії «ПВРЗ», ПАТ «Українська залізниця»)

Є. П. Зуб

(аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЙКОВИХ ЕКІПАЖІВ І ВПЛИВ ЇХ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НА КІНЕМАТИЧНИЙ ОПІР РУХУ

При моделюванні рейкових екіпажів враховані їх особливості в порівнянні з моделюванням інших систем. До особливостей системи «екіпаж – колія» віднесено наявність кількох положень статичної рівноваги системи із фрикційними зв'язками елементів: коліс і рейок; осей колісних пар і буксових вузлів при наявності зазорів в осевих упорах; кузова і візків, що мають зв'язок у плані через ковзуні. Зроблено спробу охопити якнайбільшу кількість типів рухомого складу, включаючи і сучасні, і забуті конструктивні схеми, які, з точки зору кінематики опору руху, раніше не розглядалися. Використовуючи систему координат XYZФΘΨ, визначені узагальнені координати і кількість диференціальних рівнянь руху для розрахункових схем досліджуваних екіпажів. Отримані залежності кінематичного опору руху від конструктивних особливостей екіпажів і колії. Зроблені висновки про вплив кінематичного опору руху в кривих ділянках колії на керованість екіпажів, про подальші дослідження методів покращення характеристик кінематики фрикційної взаємодії рейкових екіпажів з колією, спрямованих на зниження опору руху.

Ключові слова: рухомий склад залізниць, керування спрямуванням екіпажів, опір руху, математична модель, ходові частини, конструктивні схеми, розрахункові схеми, візки, жорсткість поздовжніх зв'язків.

При моделировании рельсовых экипажей учтены их особенности по сравнению с моделированием других систем. К особенностям системы «экипаж – путь» отнесено наличие нескольких положений статического равновесия системы с фрикционными связями элементов: колес и рельсов; осей колесных пар и буксовых узлов при наличии зазоров в осевых упорах; кузова и тележек, имеющих связь в плане через скользуны.

В связи с этим была предпринята попытка охватить как можно большее количество типов подвижного состава, включая и современные, и забытые конструктивные схемы, которые с точки зрения кинематики сопротивления движе-

© Сапронова С. Ю., Ткаченко В. П., Фоміна А. М., Зуб Є. П., 2016

нию ранее не рассматривались. Используя систему координат $XYZ\Phi\Theta\Psi$, определены обобщенные координаты и количество дифференциальных уравнений движения для расчетных схем исследуемых экипажей без промежуточной балки, с промежуточной опорой, с продольной и поперечной балками. Полученные зависимости углов набегания от базы тележки и радиуса кривой, зависимости кинематического сопротивления движению от базы тележки, радиуса кривой и зазора в рельсовом пути, зависимости кинематического сопротивления движению экипажа ТЭ116 от продольной жесткости буксовых поводков и радиуса кривой. Сделанные выводы о влиянии кинематического сопротивления движению в кривых участках пути на управляемость экипажей, о дальнейшем создании методов улучшения характеристик кинематики фрикционного взаимодействия рельсовых экипажей и пути, направленных на снижение сопротивления движению.

Ключевые слова: подвижной состав железных дорог, управление направлением экипажей, сопротивление движению, математическая модель, ходовые части, конструктивные схемы, расчетные схемы, тележки, жесткость продольных связей.

Актуальність дослідження. За час, що минув від зародження залізничного транспорту, механічна частина рухомого складу, залишаючись незмінною у своїй основі, зазнала складну еволюцію. Особливо розноманітністю відрізняються ходові частини тягових одиниць – локомотивів, удосконалення яких пов'язане з труднощами поєднання суперечливих функцій колісних пар: спирання, спрямування і рушія.

З переходом від рамної схеми ходової частини до візкової, проблем, що вимагають вирішення, значно додалося, тому що одна велика вирішена проблема – вписування в криві – замінилася декількома дрібнішими. Серед численних досліджень динаміки візкових локомотивів та вагонів [1-3], які ведуться в багатьох країнах світу, особливої актуальності сьогодні набувають роботи, спрямовані на зменшення опору руху і зниження зносу коліс і рейок.

Постановка проблеми. Відомі декілька напрямів вирішення проблеми зменшення опору руху: змащення контакту гребеня колеса і рейки; радіальна установка колісних пар в кривих; застосування колісних пар з колесами, що незалежно обертаються; управління нахилом кузова в кривих і т.ін.

Традиційно існуюча конструкція ходової частини рухомого складу і, головним чином, колісних пар, з практично жорстким зв'язком коліс через вісь, є причиною специфічних, часто характерних тільки для рейкового транспорту, динамічних процесів.

При виборі екіпажів, як об'єктів теоретичних досліджень, автори зробили спробу визначити найраціональніші схеми керування спрямуванням екіпажів рейковою колією. У зв'язку з цим була зроблена спроба охопити якнайбільшу кількість типів рухомого складу, включаючи і сучасні, і забуті конструктивні схеми, які з точки зору кінематики опору руху раніше не розглядалися.

Теоретичний аналіз дослідження. Значний внесок у вивчення опору руху зробив Н.П. Петров. Ним були систематизовані і узагальнені накопичені до цього часу в Росії і за кордоном випробувальні дані з опору руху паровозів і вагонів, виконаний аналіз явищ, що визначають і характеризують опір руху рухомого складу, зроблені розрахунки різних видів і елементів загального опору руху. Н.П. Петров вивів формулу для визначення основного питомого опору руху двовісних вантажних вагонів, цікаві своєю структурою, а саме: наявністю в ній двох головних факторів, що впливають на опір руху: швидкості і ступеня завантаження вагонів.

Великий внесок в експериментальні дослідження опору руху різних типів екіпажів зробили також учені П.Н. Астахов, А.М. Баранов [7], П.П. Стромский [8].

При огляді експериментальних досліджень опору руху П.Н. Астахов зробив, зокрема, висновок, що основний опір істотно залежить від конструкції ходової частини екіпажів, їх головних розмірів і характеристик вузлів і деталей [3-6]. Це, і численні спостереження інших дослідників, свідчить про необхідність ретельного аналізу структури опору руху і можливостей впливу на нього за рахунок раціонального вибору конструктивних параметрів ходової частини [9, 10].

Аналіз структури опору руху екіпажів доводить, що він залежить від чинників, значну частину яких зараз важко змінити [14, 16, 11, 17]. Перш за все, це стан рейкової колії, що вимагає великих капітальних витрат на підтримку і ремонт [15]. Також не є можливим суттєве зменшення опору руху за рахунок параметрів контактування колеса з рейкою. Навпаки, при існуючій тенденції збільшення діаметра коліс з одночасним підвищенням осьових навантажень, треба очікувати збільшення опору [11]. Для швидкісного рухомого складу визначальним є аеродинамічний опір, щодо якого є великі можливості його зменшення. Це підтверджується, зокрема, тим, що до 90% публікацій з опору руху протягом останніх 40 років були присвячені дослідженням аеродинаміки рухомого складу. На жаль, для українських залізниць, тим більше для міського рейкового транспорту, цей напрямок поки не актуальний.

Великий резерв зниження опору шляхом заміни на рухомому складі буксових підшипників ковзання на підшипники кочення вже використаний і подальше їх дослідження з точки зору опору руху не перспективне.

Треба відзначити, що протягом багатьох десятиліть при створенні нових типів рухомого складу характеристики опору руху на стадії проектування не аналізувалися. Дослідження компонентів опору руху рейкових екіпажів дозволили зробити висновок, що найперспективнішим напрямом його зниження може вважатися зменшення кінематичного опору, обумовленого груповою взаємодією динамічної системи колісних пар з рейковою колією [11, 16].

Мета статті. Пошук найефективніших методів покращення характеристик кінематики і динаміки фрикційної взаємодії коліс рухомого складу залізниць із рейками, які спрямовані на зниження опору руху, враховуючи кінематичний опір руху.

Задачі дослідження:

- створення розрахункових схем для моделювання керування спрямуванням рейкових екіпажів більшості відомих типів рухомого складу;
- отримання залежностей впливу конструктивних особливостей рухомого складу на кінематичний опір руху.

Особливості моделювання рейкових екіпажів. Моделювання механічної системи «рейковий екіпаж – колія» має свої особливості в порівнянні з моделюванням інших систем. Головною з них є наявність регламентованої рейкової колії, зі своїми характеристиками і обмеженнями. Моделювання рейкової основи при деяких видах теоретичних досліджень і в певному діапазоні режимів руху є основним завданням, що визначає достовірність моделі всієї системи «екіпаж – колія». Для більшості завдань динаміки екіпаж може розглядатися, як система абсолютно твердих тіл, з'єднаних пружно-дисипативними зв'язками. Виняток становлять замкнуті підсистеми з високою жорсткістю, коли необхідно враховувати і власну пружність елементів. Прикладом такої підсистеми можна вважати систему передачі крутного моменту від двигуна до коліс – систему приводу.

Взаємодія рухомого складу та колії пов'язана з трьома функціями колісних пар: спирання, спрямування та рушія. Використовуючи систему координат $XYZ\Phi\Psi$ (рис. 1) для кожної з функцій можна виділити кінематичні зв'язки, які вона накладає на відносне переміщення екіпажа і колії по відповідних координатах.

До особливостей системи «екіпаж – колія» належить також наявність кількох положень статичної рівноваги системи, наприклад фрикційними зв'язками елементів: коліс і рейок; осей колісних пар і буксових вузлів при наявності зазорів в осьових упорах; кузова і візків, що мають зв'язок в плані через ковзуни і т.ін. Тому часто, в рівняння руху вводяться часні похідні потенційної енергії сил тяжіння за відповідними узагальненими координатами.

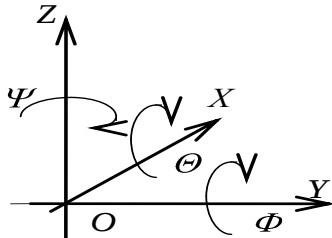


Рис. 1. Система координат для відносного переміщення екіпажа і колії

При дослідженні руху з постійною швидкістю V , що найчастіше має місце, є можливість виключити з розгляду подовжню координату як циклічну, розглядаючи рух в п'ятимірній системі координат. У цьому разі приймається допущення, що зі швидкістю V рухається центр мас екіпажа.

При теоретичних дослідженнях керованості рейкових екіпажів були використані два основні методи математичного моделювання: квазістатичний метод, який використовує при розрахунках показників керованості у сталому режимі стаціонарні моделі і метод досліджень в тимчасовій області, або детермінований метод, із застосуванням нелінійних систем рівнянь.

Розрахункові схеми досліджуваних екіпажів. Вибір розрахункової схеми при математичному моделюванні пов'язаний з вибором критеріїв достовірності моделі і з проблемою раціонального ступеня деталізації. Як і більшість досліджень горизонтальної динаміки екіпажів, для математичних моделей була використана плоска горизонтальна система координат $XU\Psi$ з узагальненими координатами: x_i, y_i – позовжні і поперечні переміщення центрів мас тіл, які входять в систему; ψ_i – кутові в плані переміщення тіл; ϕ_i – додаткова координата – кути повороту колісних пар навколо поперечної осі симетрії. При моделюванні руху одиночної колісної пари, як одномасового варіанта екіпажа, позовжня координата – x – може бути виключена, як циклічна. Координата ϕ введена в число узагальнених координат, тому що її неможна вважати циклічною навіть при постійній швидкості руху (табл. 1 – 3).

При складанні диференціальних рівнянь руху екіпажів були використані такі загальні індекси для позначення різних величин: i - номери коліс ($i=1, 2$); j -номери колісних пар (для двовісних візків $j=1, 2$; для тривісних візків $j=1, 2, 3$); k - номери візків ($k=1, 2, 3, \dots$). Окрім того прийняті такі позначення геометричних параметрів.

$2B$ – відстань між колами катання коліс колісної пари;

$2A$ – відстань між точками передачі позовжніх сил від букси до рами візка;

$C_{(jk)}$ – відстань від шворня k -го візка до осі j -ї колісної пари; $D_{(k)}$ – відстань від поперечної осі кузова до шворня k -го візка; E – відстань між шворнями проміжних балок.

Величини $C_{(jk)}, D_{(k)}, E$ – позитивні, якщо момент позитивної сили, плечем якої вони є, позитивний.

Система рівнянь для кожного з окремих екіпажів складається з декількох однотипних підсистем.

Рівняння руху колісних пар. Узагальнені координати: $x_{jk}, y_{jk}, \psi_{jk}, \phi_{jk}$.

Узагальнені сили: $F_{k\ ij kx}, F_{k\ ij ky}$ – позовжні і поперечні реакції в контактах коліс із рейками; $F_{b\ ij kx}, F_{b\ ij ky}$ – позовжні і поперечні реакції в буксових вузлах.

Рівняння руху

$$\begin{aligned}\ddot{x}_{(jk)} &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^2 F_{c\delta(ijk)x} - F_{\dot{x}(ijk)x} ; \\ \ddot{y}_{(jk)} &= \frac{1}{m} \left[\sum_{i=1}^2 (F_{c\delta(ijk)y} + F_{ch(ijk)}) - F_{\dot{x}(jk)y} \right]; \\ \ddot{\psi}_{(jk)} &= \frac{1}{J_z} \left[F_{c\delta(1jk)x}^* - F_{c\delta(2jk)x}^* A - F_{\dot{x}(1jk)x} - F_{\dot{x}(2jk)x} B \right]; \\ \ddot{\phi}_{(jk)} &= -\frac{1}{J_y} \sum_{i=1}^2 F_{-\delta(ijk)x} R_{(ijk)} ; \\ F_{\delta ijkx} &= F_{\delta x}(\Delta_{\delta ijkx}), F_{\delta jky} = F_{\delta y}(\Delta_{\delta jky}),\end{aligned}\quad (1)$$

де $F_{\dot{x} ijkx}$, $F_{\dot{x} ijky}$ – поздовжні і поперечні складові сил зчеплення в контактах коліс з рейками в нерухомій системі координат рейкового шляху; $F_{\dot{x} ijkx}^*$, $F_{\dot{x} ijky}^*$ – поздовжні і поперечні складові сил зчеплення в контактах коліс з рейками в рухомій системі координат колісної пари;

$F_{ковз ijk}$ – сили ковзання в рухомій системі координат колісної пари;

$F_{\delta x}(\Delta_{\delta ijkx})$, $F_{\delta y}(\Delta_{\delta jky})$ – характеристики буксового спряження в поздовжньому і поперечному напрямках;

$\Delta_{\delta ijkx}$, $\Delta_{\delta jky}$ – поздовжні і поперечні переміщення в буксових вузлах.

Залежності величин $\Delta_{\delta ijkx}$ і $\Delta_{\delta jky}$ від узагальнених координат обумовлені конструктивними особливостями кожного конкретного екіпажу.

При моделюванні екіпажів з колісними парами які роздільно обертаються, замість координати ϕ_{jk} з'являються координати: ϕ_{ijk} ($i=1,2$).

Рівняння руху візків. Узагальнені координати: y_{mk} , ψ_{mk} .

Узагальнені сили: $F_{\delta jkx}$, $F_{\delta jky}$ – буксові реакції; F_{mk} , M_{mk} – реактивні сила и момент в спряженні візків з кузовом (шкворневий вузол і опорно-зворотний пристрій).

Рівняння руху для N -вісних візків

$$\begin{aligned}\ddot{y}_{(k)} &= \frac{1}{m} \left(\sum_{j=1}^N F_{\sigma(jk)y} - F_{(k)} \right); \\ \ddot{\psi}_{(k)} &= \frac{1}{J} \left[B \sum_{j=1}^N (F_{\sigma(1jk)x} - F_{\sigma(2jk)x}) + \sum_{j=1}^N F_{\sigma(jk)y} C_{(jk)} - M_{(k)} \right]; \\ F_{mk} &= F_m(\Delta_{mky}); \quad M_{mk} = M_m(\Delta_{mk\psi}),\end{aligned}\quad (2)$$

де $F_m(\Delta_{mky})$, $M_m(\Delta_{mk\psi})$ – характеристики зворотного пристрою в спряженні кузова з візком; Δ_{mky} , $\Delta_{mk\psi}$ – відносні поперечні і кутові переміщення кузова і візків, які залежать від узагальнених координат. Ці залежності у вигляді рівнянь зв'язку доповнюють систему диференціальних рівнянь.

Рівняння руху кузова. Узагальнені координати: y_k , ψ_k .

Узагальнені сили: F_{mk} , M_{mk} .

Рівняння руху для кузова L -візкового екіпажу

$$\ddot{y}_k = \frac{1}{m_k} \sum_{k=1}^L F_{\square k} ;$$

$$\ddot{\psi}_h = \frac{1}{J_h} \sum_{k=1}^L (F_{\blacklozenge(k)} D_{(k)} + M_{\blacklozenge(k)}) . \quad (3)$$

Таблиця 1. Узагальнені координати і кількість диференціальних рівнянь руху для розрахункових схем досліджуваних екіпажів без проміжної балки

№ р/с	Тип екіпажу	Кузов		Рама візка			Колісні пари					Кільк. рівн.
		y_k	ψ_k	$N_{\square}$	y_m	ψ_m	$N_{\square}$	x	y	ψ	φ	
1	Паровоз $\Phi Д$ 1-5 _О -1	y_k	ψ_k	1	y_{m1}	ψ_{m1}	1	x_1	y_1	ψ_1	φ_1	34
							2	x_2	y_2	ψ_2	φ_2	
							3	x_3	y_3	ψ_3	φ_3	
							4	x_4	y_4	ψ_4	φ_4	
							5	x_5	y_5	ψ_5	φ_5	
							6	x_6	y_6	ψ_6	φ_6	
				2	y_{m2}	ψ_{m2}	7	x_7	y_7	ψ_7	φ_7	
2	Паровоз $\mathfrak{U}^M$ 5 _О	y_k	ψ_k				1	x_1	y_1	ψ_1	φ_1	22
							2	x_2	y_2	ψ_2	φ_2	
							3	x_3	y_3	ψ_3	φ_3	
							4	x_4	y_4	ψ_4	φ_4	
							5	x_5	y_5	ψ_5	φ_5	
3	Тепловоз $\mathfrak{U}^{3Л}$ 2-5 _О -1	y_k	ψ_k	1			1	x_1	y_1	ψ_1	φ_1	36
							2	x_2	y_2	ψ_2	φ_2	
							3	x_3	y_3	ψ_3	φ_3	
							4	x_4	y_4	ψ_4	φ_4	
							5	x_5	y_5	ψ_5	φ_5	
							6	x_6	y_6	ψ_6	φ_6	
							7	x_7	y_7	ψ_7	φ_7	
				2	y_{m2}	ψ_{m2}	8	x_8	y_8	ψ_8	φ_8	
4	Електро- вози ВЛ19, ВЛ22, ВЛ22 ^М , ВЛ23	y_k	ψ_k	1		ψ_{m1}	11				φ_{11}	13
							21		y_{21}	ψ_{21}	φ_{21}	
					y		31				φ_{31}	
				2		ψ_{m2}	12				φ_{12}	
							22		y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	
							32				φ_{32}	
5	Електро- воз ВЛ8			1		ψ_{m1}	11			ψ_{11}	φ_{11}	21
							21			ψ_{21}	φ_{21}	
				2			12			ψ_{12}	φ_{12}	
							22			ψ_{22}	φ_{22}	
				3			13			ψ_{13}	φ_{13}	
							23			ψ_{23}	φ_{23}	
				4			14			ψ_{14}	φ_{14}	
6	Електро- воз ЧС2	y_k	ψ_k	1	y_{m1}	ψ_{m1}	11		y_{11}	ψ_{11}	φ_{11}	24
							21		y_{21}	ψ_{21}	φ_{21}	
							31		y_{31}	ψ_{31}	φ_{31}	
				2	y_{m2}	ψ_{m2}	12		y_{12}	ψ_{12}	φ_{12}	
							22		y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	
							32		y_{32}	ψ_{32}	φ_{32}	
7	Електро- воз			1	y_{m1}	ψ_{m1}	11				φ_{11}	
							21				φ_{21}	

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

№ р/с	Тип екіпажу	Кузов		Рама візка			Колісні пари					Кільк. рівн.
		y_k	ψ_k	N_0	y_m	ψ_m	N_0	x	y	ψ	φ	
	Re2/2			2	y_{m2}	ψ_{m2}	12				φ_{12}	12
							22				φ_{22}	
				3	y_{m3}	ψ_{m3}	13				φ_{13}	
							23				φ_{23}	
8	Тепло- вози			1		ψ_{m1}	11			ψ_{11}	φ_{11}	18
							21		y_{12}	ψ_{21}	φ_{21}	
	ТЭЗ, ТЭ10, ТЭ10Л, М62						31			ψ_{31}	φ_{31}	
				2		ψ_{m2}	12			ψ_{12}	φ_{12}	
							22		y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	
							32			ψ_{32}	φ_{32}	
9	Тепло- вози	y_k	ψ_k	1	y_{m1}	ψ_{m1}	11	x_{11}	y_{11}	ψ_{11}	φ_{11}	30
							21	x_{21}	y_{21}	ψ_{21}	φ_{21}	
	2ТЭ116, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М ТЭ109,						31	x_{31}	y_{31}	ψ_{31}	φ_{31}	
				2	y_{m2}	ψ_{m2}	12	x_{22}	y_{12}	ψ_{12}	φ_{12}	
							22	x_{22}	y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	
							32	x_{32}	y_{32}	ψ_{32}	φ_{32}	
10	Тепло- воз 2ТЭ121	y_k	ψ_k	1	y_{m1}	ψ_{m1}	11	x_{11}	y_{11}	ψ_{11}	φ_{11}	30
							21	x_{21}	y_{21}	ψ_{21}	φ_{21}	
							31	x_{31}	y_{31}	ψ_{31}	φ_{31}	
				2	y_{m2}	ψ_{m2}	12	x_{12}	y_{12}	ψ_{12}	φ_{12}	
							22	x_{22}	y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	
							32	x_{32}	y_{32}	ψ_{32}	φ_{32}	

Таблиця 2. Узагальнені координати і кількість диференціальних рівнянь руху для розрахункових схем досліджуваних екіпажів з проміжною балкою

№ р/с	Тип екіпажу	Кузов		Проміж. балка		Рама візка			Колісні пари					Кільк. рівн.
		y_k	ψ_k	y_B	ψ_B	N_0	y_m	ψ_m	N_0	x	y	ψ	φ	
11	Електро- воз ВЛ60, тепло- воз ТЭП60	y_k	ψ_k			1	y_{m1}	ψ_{m1}	11	x_{11}	y_{11}	ψ_{11}	φ_{11}	30
									21	x_{21}	y_{21}	ψ_{21}	φ_{21}	
									31	x_{31}	y_{31}	ψ_{31}	φ_{31}	
						2	y_{m2}	ψ_{m2}	12	x_{12}	y_{12}	ψ_{12}	φ_{12}	
									22	x_{22}	y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	
									32	x_{32}	y_{32}	ψ_{32}	φ_{32}	
12	Електро- вози ВЛ80, ВЛ10	y_k	ψ_k			1	y_{m1}	ψ_{m1}	11		y_{11}	ψ_{11}	φ_{11}	18
									21		y_{21}	ψ_{21}	φ_{21}	
						2	y_{m2}	ψ_{m2}	12		y_{12}	ψ_{12}	φ_{12}	
									22		y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	
13	Електро- воз	y_k	ψ_k			1	y_{m1}	ψ_{m1}	11		y_{11}	ψ_{11}	φ_{11}	
									12		y_{21}	ψ_{21}	φ_{21}	

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

№ р/с	Тип екіпажу	Кузов		Проміж. балка		Рама візка			Колісні пари					Кільк. рівн.
		y_k	ψ_k	y_B	ψ_B	N_0	y_m	ψ_m	N_0	x	y	ψ	φ	
	<i>ВЛ15, ВЛ85</i>					2	y_{m2}	ψ_{m2}	21		y_{12}	ψ_{12}	φ_{12}	26
									22		y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	
						3	y_{m3}	ψ_{m3}	31		y_{13}	ψ_{13}	φ_{13}	
									32		y_{23}	ψ_{23}	φ_{23}	
14	Тепло- воз <i>ТЭ136</i>					1			11		y_{11}	ψ_{11}	φ_{11}	24
									21		y_{21}	ψ_{21}	φ_{21}	
						2			12		y_{12}	ψ_{12}	φ_{12}	
									22		y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	
						3			13		y_{13}	ψ_{13}	φ_{13}	
									23		y_{23}	ψ_{23}	φ_{23}	
						4			14		y_{14}	ψ_{14}	φ_{14}	
									24		y_{24}	ψ_{24}	φ_{24}	
15	Тепло- воз <i>ТЭМ7</i>			y_{B1}	ψ_{B1}	1	y_{m1}	ψ_{m1}	11		y_{11}	ψ_{11}	φ_{11}	36
									21		y_{21}	ψ_{21}	φ_{21}	
						2	y_{m2}	ψ_{m2}	12		y_{12}	ψ_{12}	φ_{12}	
									22		y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	
				y_{B2}	ψ_{B2}	3	y_{m3}	ψ_{m3}	13		y_{13}	ψ_{13}	φ_{13}	
									23		y_{23}	ψ_{23}	φ_{23}	
						4	y_{m4}	ψ_{m4}	14		y_{14}	ψ_{14}	φ_{14}	
									24		y_{24}	ψ_{24}	φ_{24}	
16	ЭР200, пасажир- ські вагони	y_k	ψ_k			1	y_{m1}	ψ_{m1}	11		y_{11}	ψ_{11}	φ_{11}	18
									21		y_{21}	ψ_{21}	φ_{21}	
						2	y_{m2}	ψ_{m2}	12		y_{12}	ψ_{12}	φ_{12}	
									22		y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	

Таблиця 3. Узагальнені координати і кількість диференціальних рівнянь руху для розрахункових схем досліджуваних екіпажів з подовжньою і поперечною балками

№	Тип вант. вагона	Кузов		Подовжні шворневі балки		Поперечні шворневі балки		Боковини			Колісні пари			Кільк. рівн.
		y_k	ψ_k	y_P	ψ_P	$y_{Ш}$	$\psi_{Ш}$	x_B	y_B	ψ_B	y	ψ	φ	
17	4-вісн. вагони на візках 18-100	y_k	ψ_k			$y_{Ш1}$	$\psi_{Ш1}$	x_{B11}	y_{B11}	ψ_{B11}	y_{11}	ψ_{11}	φ_{11}	30
								x_{B21}	y_{B21}	ψ_{B21}	y_{21}	ψ_{21}	φ_{21}	
						$y_{Ш2}$	$\psi_{Ш2}$	x_{B12}	y_{B12}	ψ_{B12}	y_{12}	ψ_{12}	φ_{12}	
								x_{B22}	y_{B22}	ψ_{B22}	y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	
18	8-вісн. вагони на візках 18-101	y_k	ψ_k	$y_{П1}$	$\psi_{П1}$	$y_{Ш1}$	$\psi_{Ш1}$	x_{B11}	y_{B11}	ψ_{B11}	y_{11}	ψ_{11}	φ_{11}	62
								x_{B21}	y_{B12}	ψ_{B21}	y_{21}	ψ_{21}	φ_{21}	
						$y_{Ш2}$	$\psi_{Ш2}$	x_{B12}	y_{B12}	ψ_{B12}	y_{12}	ψ_{12}	φ_{12}	
								x_{B22}	y_{B22}	ψ_{B22}	y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	
				$y_{П2}$	$\psi_{П2}$	$y_{Ш3}$	$\psi_{Ш3}$	x_{B13}	y_{B13}	ψ_{B13}	y_{13}	ψ_{13}	φ_{13}	
								x_{B23}	y_{B23}	ψ_{B23}	y_{23}	ψ_{23}	φ_{23}	
						$y_{Ш4}$	$\psi_{Ш4}$	x_{B14}	y_{B14}	ψ_{B14}	y_{14}	ψ_{14}	φ_{14}	

№	Тип ваг. вагона	Кузов		Подовжні шворневі балки		Поперечні шворневі балки		Боковини			Колісні пари			Кільк. рівн.
		y_k	ψ_k	y_{II}	ψ_{II}	y_{III}	ψ_{III}	x_B	y_B	ψ_B	y	ψ	φ	
								x_{B24}	y_{B24}	ψ_{B24}	y_{24}	ψ_{24}	φ_{24}	
19	6-вісні вагони на візках	y_k	ψ_k			y_{III}	ψ_{III}	x_{B11}	y_{B11}	ψ_{B11}	y_{11}	ψ_{11}	φ_{11}	36
								x_{B21}	y_{B21}	ψ_{B21}	y_{21}	ψ_{21}	φ_{21}	
											y_{31}	ψ_{31}	φ_{31}	
	18-102					y_{III2}	ψ_{III2}	x_{B12}	y_{B12}	ψ_{B12}	y_{12}	ψ_{12}	φ_{12}	
								x_{22}	y_{22}	ψ_{B22}	y_{22}	ψ_{22}	φ_{22}	
											y_{32}	ψ_{32}	φ_{32}	

Визначення кінематичного опору руху засноване на приведенні горизонтальних контактних реакцій, або їх моментів, до центру тяжіння екіпажу. У методі приведення використовується положення про рівність суми робіт, яка здійснюється кожною з розглянутих контактних сил на можливих переміщеннях, і роботи сумарної сили опору

$$\sum_{i=1}^N A_{F_i} = A_{W_k}, \quad (4)$$

де A_{F_i} – робота i -ї сили на можливому переміщенні; A_{W_k} – робота зведеної сили кінематичного опору руху; N – кількість зведених сил.

Поточне значення зведеного відносного опору руху може бути визначене з вираження

$$w_k = \frac{\sum_{i=1}^N F_i V_i \cos(\vec{F}_i, \vec{V}_i)}{V_{um} Q}, \quad (5)$$

де F_i – контактні сили; V_i – абсолютна швидкість точки прикладення відповідної сили F_i ; V_{um} – абсолютна швидкість руху центра тяжіння екіпажу; Q – вага екіпажу.

Враховуючи структуру контактних сил отримуємо суму потужностей контактних сил

$$F_i V_i \cos(\vec{F}_i, \vec{V}_i) = \sum_{i=1}^2 [F_{34ijkxI} V_{ковijkxI}^* + F_{34ijkxII} V_{ковijkxII}^* + (F_{34ijkyl} + F_{34ijkylII} + F_{ковijk}) (V_{ковijkyl}^* - \dot{y}_{pijk}) + F_{34ijkzII} V_{ковijkzII}^*]. \quad (6)$$

Дослідження серійних локомотивів і вагонів дозволили виявити основні фактори, що впливають на кінематичний опір руху: база візків, профілі поверхонь кочення коліс, жорсткість в пружних зв'язках колісних пар з рамою візка і зазори в щелепних буксових вузлах.

При дослідженні на прикладі чотиривісного двовізкового екіпажу досліджено вплив названих факторів на опір руху в кривих ділянках колії.

На рис.2,а, б подані залежності кутів набігання напрямної колісної пари на рейку від бази візка і радіуса кривої для зазору в рейковій колії 30 і 40 мм. Як свідчать отримані результати, при зазорі в рейковій колії більше 30 мм і базі візка менше 3 м кути набігання досягають значних величин (до 0,025 рад), причому мало залежать від радіуса кривої.

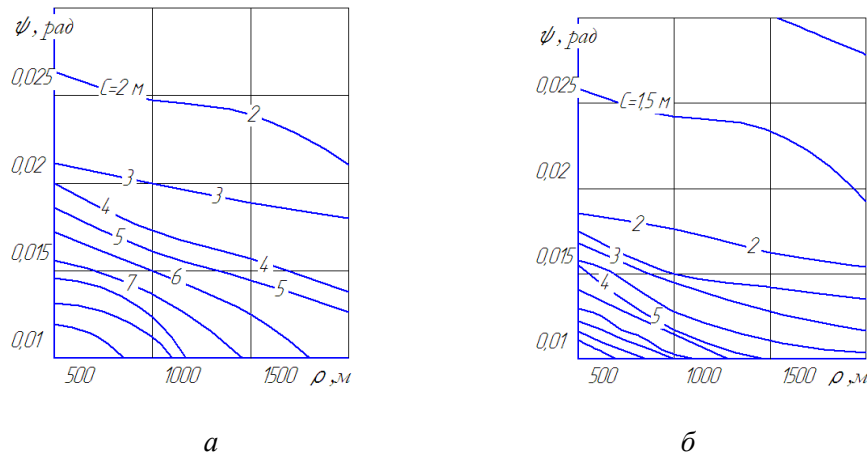


Рис. 2. Залежності кутів набігання на рейку напрямної колісної пари від бази візка і радіуса кривої: а) $\delta=30\text{мм}$; б) $\delta=40\text{мм}$

На рис.3,а,б зображені контурні діаграми рівних рівнів кінематичного опору руху від тих самих величин: бази візка, радіуса кривої і зазору в рейковій колії. Штриховими лініями показані мінімальні рівні кінематичного опору. Найменші значення відповідають базі візка 2,5 ... 8,0 м. Збільшення зазору в колії від 20 до 80 мм призводить до підвищення опору в кривій на 25%.

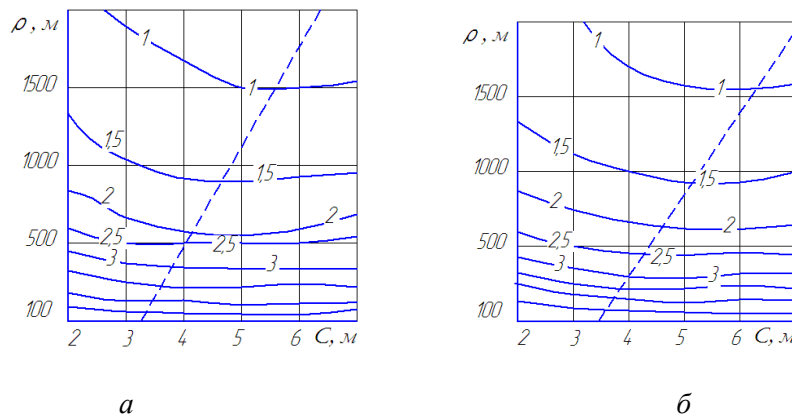


Рис. 3. Залежність кінематичного опору руху від бази візка (C), радіуса кривої (ρ) і зазору в рейковій колії (δ): а) $\delta=30\text{мм}$; б) $\delta=40\text{мм}$

Вплив жорсткості поздовжнього зв'язку колісних пар з рамою візка на показники опору руху досліджувався в діапазоні поздовжньої жорсткості буксових повідців $J_{6x} = 1,00 \dots 20,0 \text{ кН/мм}$. На рис.4 у вигляді контурних ізодіаграм показані залежності кінематичного опору від радіуса кривої (200 ... 1000 м) і швидкості руху при жорсткості

J_{6x} – 1, 5, 10 і 20 кН/мм. Результати розрахунків також доводять, що для швидкостей понад 15 м/с підвищення жорсткості понад 5 кН/мм практично не впливає на показники опору, особливо в кривих малого радіуса. У межах від 5 до 1 кН/мм спостерігається підвищення опору в 1,5 ... 1,7 рази. Мінімальні значення опору мають місце при поєднаннях швидкостей і радіусів кривої, близьких до рівноважного режиму руху

$$\rho = \frac{163}{h} \cdot V^2, \text{ або при } h = 120 \text{ мм } \rho = 1,36 \cdot V^2. \quad (7)$$

Різке падіння опору руху в районі рівноважної кривої пов'язане з близькими до мінімальних абсолютним значенням кутів набігання прямої колісної пари на рейку. Криві ($\rho = 0,675 \cdot V^2$) на рис.4,а,б відповідають сполученням швидкості і радіуса кривої для гранично допустимого по нормах комфорту непогашеного доцентрового прискорення $\Delta a = 0,75 \text{ м/с}^2$.

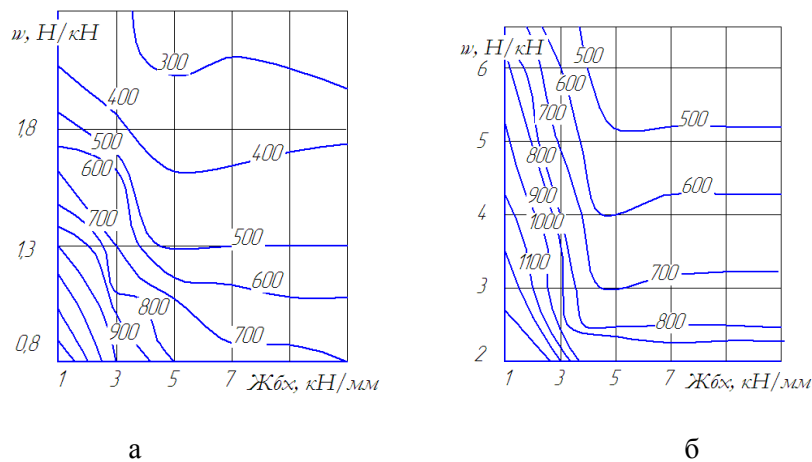


Рис. 4. Залежності кінематичного опору руху екіпажу ТЭ116 від поздовжньої жорсткості буксових повідців (J_{6x}) і радіуса кривої (ρ): а) $V=5 \text{ м/с}$, б) $V=50 \text{ м/с}$

Однак оптимальне значення жорсткості поздовжнього зв'язку в буксових вузлах назвати важко, тому що на положення мінімуму кінематичного опору в координатах ρ (V) впливає режим руху. Для рівноважного режиму руху як оптимального можна було б назвати значення $J_{6x}=4,2...7,5 \text{ кН/мм}$. Для зони комфорту це значення – $J_{6x}=3,6...6,8 \text{ кН/мм}$. Для руху із швидкостями вище швидкості комфорту – $J_{6x}=8,0...12,0 \text{ кН/мм}$.

Висновки. Екіпаж з меншим значенням кінематичного опору руху має менший горизонтальний динамічний вплив на колію. Найкращу керованість буде мати екіпаж з меншим рівнем кінематичного опору руху в кривих ділянках колії. Вдосконалення конструкцій колісних пар з точки зору розділення обертання коліс знімає питання про стійкість руху, але додає питань з підвищення опору руху і значного підрізу гребенів.

Зменшення ділянок рейкових колій з малими радіусами може привести до зменшення кінематичного опору руху і зносу коліс рухомого складу, але не багато країн можуть собі дозволити реконструкцію таких ділянок.

Питання пошуку методів покращення характеристик кінематики фрикційної взаємодії рейкових екіпажів з колією, спрямованих на зниження опору руху, залишаються актуальними і потребують подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Фомін О.В.* Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: Науковий журнал. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
2. *Фомін, О.В.* Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції / О.В. Фомін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76
3. *Fomin, O.* Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43
4. *Астахов П.Н., Стромский П.П.* Определение основного сопротивления подвижного состава на экспериментальном кольце / П.Н. Астахов, П.П. Стромский // Вестник ВНИИЖТ. – 1962. – №2.
5. *Астахов П. Н.* Сопротивление движению железнодорожного подвижного состава // Труды ЦНИИ МПС. – Москва: Транспорт, 1966. – Вып. 311. – 178 с.
6. *Астахов П.Н.* Формулы для определения основного сопротивления пассажирских вагонов / П.Н. Астахов // Вестник ВНИИЖТ. – 1958. – №5.
7. *Баранов А.М.* Основное сопротивление движению пассажирских вагонов на роликовых подшипниках/ Вестник ВНИИЖТ. – 1963. – №4.
8. *Стромский П.П.* Определение коэффициента воздушного сопротивления вагонов / П.П. Стромский // Вестник ВНИИЖТ. – 1963. – №2.
9. *Правила тяговых расчётов для поездной работы.* – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
10. *Фомін О.В.* Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів / О.В. Фомін // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 6(83). – С. 87-91.
11. *Ткаченко В.П.* Кинематическое сопротивление движению рельсовых экипажей: монография / В.П. Ткаченко. – Луганск:Изд-во ВУГУ, 1996. – 200 с.
12. *Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств/* Под ред. В.Ф.Ушкалова. – К.: Наук.думка, 1989. – 240 с.
13. *Ткаченко В.П.* Управляемость рельсовых экипажей: монография / В.П. Ткаченко. – Луганск: Изд-во СУДУ, 1997. – 92 с.
14. *Ткаченко В.П., Крамарь Н.М.* Влияние жесткости пути на тяговые качества локомотивов/ Конструирование и пр-во трансп. машин. – Харьков: Вища школа, 1980. – Вып.12. – С. 32-35.
15. *Satoh Eisaku, Miyamoto Masayuki* // Nihon kikai gakkai ronbunshu/ Trans. Jap. Soc. Mech. Eng.C.-1993.– 59, №562.– С.1686 – 1693.
16. *Ткаченко В.П.* Кинематическое сопротивление движению и его место в общей классификации сопротивлений движению рельсовых экипажей // Восточноукр.гос.ун-т. – Луганск, 1996. – 6 с. Деп.в ГНТБ Украины 21.10.96 г., №1947-Ук96.

Svitlana Yu. Sapronova, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor
(Associate Professor, Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)

Viktor P. Tkachenko, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor
(Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

Anna M. Fomina

(Engineer, Public Joint Stock Company «Ukrainian Railways»)

Yevhen P. Zub

(Graduate Student of Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)

**MODELING OF RAIL CARRIAGES AND INFLUENCE OF THEIR DESIGN
 FEATURES ON THE CINEMATIC RESISTANCE MOVEMENT**

In modeling of rail carriages three were taken into account the features compared to other systems modeling. To the special features of the system «carriage-track» are attributed: wheels and rails; wheelset axles and axle unit in the presence of gaps in the axial stop; carriage body and trucks with communication plan through bearers. In this regard,

an attempt was made to reach the largest possible number of types of rolling stock, including contemporary design schemes and forgotten ones, which in terms of kinematics resistance movement had not been previously considered. Using a system of coordinates $XYZ\Phi\Theta\Psi$, generalized coordinates and a number of differential equations of motion for settlement schemes investigated carriages without intermediate bolsters, with an intermediate bolster, with a longitudinal and transverse bolster. The obtained dependences of angles of incidence and trolley base radius curve, dependences on the kinematic motion of support base trolley radius curve and the gap in the rail track, dependences on the movement resistance of kinematics carriage TE116 on longitudinal rigidity and axle leash radius curve. There have been made the conclusions on the impact of the kinematic motion resistance in curved track sections; further study methods to improve performance of frictional interaction kinematics with the track rail carriages aimed at reducing the movement resistance.

Keywords: railway rolling stock, control crew direction, the resistance movement, mathematical model, chassis, structural schemes, payment schemes, trolleys, longitudinal stiffness ties.

REFERENCES

1. Fomin, O.V. Koncepcija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267 – 271.
2. Fomin, O.V. Pidvishhennja stupenja ideal'nosti vantazhnikh vagoniv ta prognozuvannya stadij ih evoljucii [Increased ideal freight cars and forecasting stages of their evolution] [Text] / O.V. Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University. – Dnepropetrovsk: NSU, 2015. – №3. – P. 68-76 – Access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennja-stupenja-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
3. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43. [<http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf>].
4. Astakhov P.N., Stromskyy P.P. Opredelenye osnovnogo soprotivleniya podvyzhnogo sostava na eksperymentalnom koltse / P.N. Astakhov, P.P. Stromskyy // Vestnyk VNYYZHT. – 1962. – №2.
5. Astakhov P. N. Soprotivlenye dvizheniyu zheleznodorozhnogo podvyzhnogo sostava // Trudy TSNIY MPS. – Moskva: Transport, 1966. – Vyp. 311. – 178 s.
6. Astakhov P.N. Formuly dlya opredeleniya osnovnogo soprotivleniya passazhyrskikh vahnov / P.N. Astakhov // Vestnyk VNYYZHT. – 1958. – №5.
7. Baranov A.M. Osnovnoe soprotivlenye dvizheniyu passazhyrskikh vahnov na rolykovykh podshypanyakh/ Vestnyk VNYYZHT. – 1963. – №4.
8. Stromskyy P.P. Opredelenye koefitsyenta vozdušnogo soprotivleniya vahnov / P.P. Stromskyy // Vestnyk VNYYZHT. – 1963. – №2.
9. Pravyla tyahovykh raschetov dlya poezdnoy raboty. – M.: Transport, 1985. – 287 s.
10. Fomin O.V. Teoretychni osnovy prohramnogo kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahniv / O.V. Fomin // Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'nogo universytetu imeni Mykhayla Ostrohradskoho». – Kremenchuk: KDPU, 2013. – Vyp. 6(83). – S. 87-91.
11. Tkachenko V.P. Kynematycheskoe soprotivlenye dvizheniyu relsovykh ekypazhey: monografyya / V.P. Tkachenko. – Luhansk: Yzd-vo VUHU, 1996. – 200s.
12. Matematycheskoe modelyrovanye kolebanyy relsovykh transportnykh sredstv/ Pod red. V.F.Ushkalova. – Kyev: Nauk.dumka, 1989. – 240s.
13. Tkachenko V.P. Upravlyaemost relsovykh ekypazhey: monografyya / V.P. Tkachenko. – Luhansk: Yzd-vo SUDU, 1997. – 92s.
14. Tkachenko V.P., Kramar N.M. Vlyyanye zhestkosti puty na tyahovye kachestva lokomotyvov/ Konstruyrovanye y pr-vo transp. mashyn. – Khar'kov: Vyshcha shkola, 1980. – Vyp.12. – S.32-35.
15. Satoh Eisaku, Miyamoto Masayuki // Nihon kikai gakkai ronbunshu/ Trans. Jap. Soc. Mech. Eng.C. – 1993. – 59, №562. – S.1686-1693.
16. Tkachenko V.P. Kynematycheskoe soprotivlenye dvizheniyu y eho mesto v obshchey klassyfykatsyy soprotivleniyu dvizheniyu relsovykh ekypazhey // Vostochnoukr.hos.un-t.-Luhansk, 1996. – 6 s. Dep.v HNTB Ukrainy 21.10.96 h., №1947-Uk96.

УДК 629.4.027

С. О. Семенов

(старший викладач кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Сєвєродонецьк)

**ПРО МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ
ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ОПОРУ РУХУ РЕЙКОВОГО
ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ**

У статті розглядається можливість застосування теорії подібності при проведенні експериментальних досліджень опору руху модельного рейкового транспортного засобу. Для фізичного моделювання системи і дослідження процесів в контакті «гребінь колеса – бічна поверхня рейки» використовувався метод аналізу розмірностей з певними обмеженнями. Визначено критерії подібності класичним способом, заснованим на π -теоремі. На етапі моделювання подібності механічної системи враховані обмеження, що визначають динаміку механічної системи.

Результати досліджень дають можливість одержати достовірні дані під час проведення стендових випробувань з подальшою обробкою та інтерпретацією отриманих даних моделі в натуру.

Ключові слова: визначник, коефіцієнт переходу, критерії розмірності, опір руху, теорія подібностей.

В статье рассматривается возможности применения теории подобия при проведении экспериментальных исследований сопротивления движению модельного рельсового транспортного средства. Для физического моделирования системы и исследования процессов в контакте «гребень колеса – боковая поверхность рельса» использовался метод анализа размерностей с определенными ограничениями.

Вычислены критерии подобия классическим способом, основанным на π -теореме. На этапе моделирования подобия механической системы учтены ограничения, определяющие динамику механической системы. Результаты исследований дают возможности получить достоверные данные при проведении стендовых испытаний с последующей обработкой и интерпретацией полученных данных модели в натуру.

Ключевые слова: определитель, коэффициент перехода, критерии размерности, сопротивление движению, теория подобия.

Постановка проблеми. Низка проведених досліджень [1-6] довели переваги використання колеса перспективної конструктивної схеми [3, 7, 8], тому подальша перевірка цього конструктивного рішення здійснювалась із застосуванням чисельних методів і засобів фізико-математичного моделювання.

Відомо, що в більшості випадків використання методів фізичного моделювання при рішенні задач динаміки пов'язане з серйозними труднощами, що виникають під час випробувань вузлів і агрегатів різних конструкцій [5-8].

© Семенов С. О., 2016

Отримання більшої інформації про особливості випробуваного зразка з допомогою випробувань зазвичай стає можливим лише на заключному етапі розробки об'єкта, коли внесення змін у конструкцію вже практично неможливе. Перевагою модельних випробувань є можливість оперативно оцінювати властивості майбутньої конструкції безпосередньо в процесі проектування і дозволяє вносити необхідні поправки в початковій стадії проектних робіт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження особливостей руху стенового екіпажа відбувалося за допомогою експериментально-лабораторних методів, основою яких є використання теорії фізичної подібності та моделювання [2-7, 9-15]. Для вирішення завдань комплексних досліджень ходових частин рейкових екіпажів і оптимізації їх параметрів на базі методів фізичної подібності та моделювання [8, 11-13], створюються спеціальні методики і стенди для їх реалізації, що імітують умови, близькі до реальних умов експлуатації.

Мета статті – дослідити можливості використання теорії подібності для моделювання опору руху рейкового транспортного засобу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Подальше вивчення ефективності застосування перспективної конструктивної схеми колеса здійснювалося із застосуванням чисельних методів і методів фізичного і математичного моделювання. У роботах [2-7, 9-15] було відмічено, що основною теоретичною базою для дослідження особливостей руху модельного екіпажа є експериментально-лабораторні методи, базисом яких служить використання теорії фізичної подібності та моделювання, для чого створюються спеціальні методики і стенди для їх реалізації, що імітують умови, близькі до реальних умов експлуатації [9-15].

У більшості випадків використання методів фізичного моделювання під час вирішення завдань динаміки визначене серйозними труднощами, що виникають при організації натурних випробувань вузлів і агрегатів різних конструкцій [7]. Отримання великої інформації про особливості випробуваного зразка за допомогою випробувань зазвичай стає можливим лише на завершальному етапі розробки об'єкта, коли внесення змін до конструкції вже практично неможливе. Для ефективного використання цих методів, як свідчить аналіз літератури по теорії подібності [4, 6-11], треба визначити низку умов, виконання яких забезпечить успішність процесу моделювання, насамперед – визначити масштабні коефіцієнти переходів від моделі до натури.

У нашому випадку заздалегідь приймаємо такі положення:

– відношення лінійних розмірів об'єкта і моделі дорівнює геометричному масштабу подібності $K_L = \frac{l_o}{l_m} = 5$;

– відношення сил (зокрема осьового навантаження), що діють на об'єкт і модель дорівнює масштабу подібності сили, тобто $K_{P_o} = \frac{P_{o-o}}{P_{o-m}} = 25$;

– процес взаємодії контактуючих поверхонь повинен реалізовуватися в реальному масштабі часу, тобто $K_t = 1$.

Для фізичного моделювання системи і дослідження процесів в контакті «гребінь колеса – бічна поверхня рейки» використовуємо метод аналізу розмірностей з обмеженнями [6, 16], за допомогою якого можна знаходити єдині значення масштабних коефіцієнтів переходу від моделі до натури для кожного з параметрів.

У процесі рішення поставленої задачі також треба врахувати низку зауважень, сформульованих в наукових працях з застосування теорії подібності [9, 14, 15, 18]. Наприклад, те, що при визначенні кількості чинників (вхідні величини), що діють на модель і впливають на кінцевий результат (вихідні величини), слід керуватися раціональною

кількістю даних, що впливають на кінцеве рішення, оскільки збільшення кількості інформації щодо об'єкта приводить до ускладнення моделі і стає скрутним отримати нову інформацію про об'єкт, тобто модель знецінюється. Моделювання ефективне лише поблизу діапазону, де достовірність отриманих результатів максимальна. Отже, само істота методу моделювання неминуче пов'язана із спрощенням моделі в порівнянні з об'єктом.

Побудова фізичної моделі рейкового екіпажа здійснювалася для вивчення впливаючих чинників на процес дії сили опору руху екіпажа. Результати експериментальних досліджень поведінки контактуючої пари колесо-рейка [18, 19] доводять, що сила опору руху є функцією, залежною від певних параметрів, пов'язаних з режимом роботи і середовищем, в якому працює ця пара. На основі переліку елементів, приведених в [7, 20] для вирішення нетеплових завдань про динамічне навантаження пружного тіла, треба виділити основні параметри, що впливають на опір руху коліс транспортних засобів. З урахуванням результатів робіт [7, 9, 11, 12, 15], була виведена функціональна залежність, яка виглядає таким чином:

$$F_{\text{сопр}} = f(P_o, v, m, F_{\text{тр}}, F_{\text{поп}}, l, t, c) \quad (1)$$

де P – осьове навантаження, Н;

v – швидкість руху рейкового екіпажа, м/с;

m – маса, кг;

$F_{\text{тр}}$ – сила тертя, Н;

$F_{\text{поп}}$ – поперечна сила, Н;

l – переміщення, м;

t – час руху, с;

c – лінійна жорсткість зв'язків, Н/м.

Розмірності параметрів, задіяних в даній системі, подані в табл. 1.

Визначимо критерії подібності класичним способом, заснованим на π -теоремі [9, 17]. На етапі моделювання подібності механічної системи треба врахувати обмеження, що визначають динаміку механічної системи.

У системі основних одиниць [М], [L], [Т] (маса, довжина і час) приймемо як первинні величини базисні параметри l , P_o , t .

Таблиця 1. Перелік параметрів, що входять в залежність (1) по системі [М] [L] [Т] (М – розмірності маси, L розмірності довжини, Т – розмірності часу)

№ з/п	Параметр	Розмірність в системі			
		СІ	М	L	T
1	P_o , осьове навантаження	Н	1	1	-2
2	v , швидкість руху рейкового екіпажа	м/с	0	1	-1
3	m , маса	кг	1	0	0
4	$F_{\text{тр}}$, сила тертя	Н	1	1	-2
5	$F_{\text{поп}}$, поперечна сила	Н	1	1	-2
6	l , переміщення	м	0	1	0
7	t , час руху	с	0	0	1
8	c , жорсткість лінійних зв'язків	Н/м	1	-1	-2

$$\begin{aligned}\ln l &= 0 \cdot \ln M + \ln L + 0 \cdot \ln T \\ \ln P_O &= \ln M + \ln L - 2 \cdot \ln T \\ \ln t &= 0 \cdot \ln M + 0 \cdot \ln L + \ln T\end{aligned}\quad (2)$$

Перевіримо незалежність вибраних основних одиниць, для чого розрахуємо такий основний визначник

$$D_0 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & -2 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = -1 \neq 0 \quad (3)$$

Оскільки умова (3) відмінна від 0, отже незалежність величин l , P_O , t підтверджується.

Виведемо критерії подібності небазисних параметрів в матричному вигляді, після чого здійснимо перевірку результату.

Для параметра v :

$$\begin{aligned}D_{v1} &= \begin{vmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = -1 \\ \alpha_{v1} &= \frac{D_{v1}}{D_0} = \frac{-1}{-1} = 1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D_{v2} &= \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0 \\ \alpha_{v2} &= \frac{D_{v2}}{D_0} = \frac{0}{-1} = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D_{v3} &= \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & 1 & -1 \end{vmatrix} = 1 \\ \alpha_{v3} &= \frac{D_{v3}}{D_0} = \frac{1}{-1} = -1\end{aligned}$$

де α_{v1} α_{v2} – відношення визначника для параметра швидкості і основного визначника в системах одиниць маси, довжини і часу.

Критерій подібності для параметра швидкості (v):

$$\pi_v = \frac{v}{l^{\alpha_{v1}} \cdot P_O^{\alpha_{v2}} \cdot t^{\alpha_{v3}}} = idem$$

або

$$\pi_v = \frac{v}{l^1 \cdot P_O^0 \cdot t^{-1}} = 1,$$

тоді

$$\pi_v = \frac{v \cdot t}{l} = idem.$$

$$\text{Перевірка: } \pi_v = \frac{L^1 T^1}{L^1 T^1} = 1.$$

Аналогічним чином зв'язується з базисними решта всіх параметрів, прийнятих для моделювання при визначенні сили опору руху.

Результати розрахунку зведені в табл. 2.

Рівняння подібності, що об'єднало отримані критерії, складається з 5 критеріїв, оскільки, згідно з теоремою Бекінгема, має дорівнювати числу параметрів за вираженням трьох базисних.

Після перетворень залежність (1) прийме вигляд

$$F_{conp} = f \left(\frac{vt}{l}, \frac{m}{l P_o t^2}, \frac{F_{mp}}{P_o}, \frac{F_{non}}{P_o}, \frac{cl}{P_o} \right) \quad (4)$$

Отримані критерії подібності, які складають критеріальне рівняння (4), вимагають перевірки.

Таблиця 2. Результати розрахунку для моделі сили опору

№ з/п	Параметр	СІ	Критерій подібності	Формула перерахунку з оригіналу на модель
1	P_o , осьове навантаження від колеса на рейку	Н	Базисний параметр	$P_M = \frac{P_o}{K_p}$
2	V , швидкість руху рейкового екіпажа	м/с	$\pi_v = \frac{vt}{l}$	$v_M = \frac{v_o}{K_v}$
3	m , маса	кг	$\pi_m = \frac{ml}{P_o t^2}$	$m_M = \frac{m_o}{K_m}$
4	F_{mp} , сила, тертя	Н	$\pi_{F_{mp}} = \frac{F_{mp}}{P_o}$	$F_{mp_M} = \frac{F_{mp_o}}{K_{F_{mp}}}$
5	F_{non} , поперечна сила	Н	$\pi_{F_{non}} = \frac{F_{non}}{P_o}$	$F_{non_M} = \frac{F_{non_o}}{K_{F_{non}}}$
6	L , переміщення	м	Базисний параметр	$L_M = \frac{L_o}{K_L}$
7	t , час руху	з	Базисний параметр	$t_M = t_o$
8	c , жорсткість лінійних зв'язків	Н/м	$\pi_c = \frac{cl}{P_o}$	$C_M = \frac{C_o}{K_c}$

Приведемо незалежні критерії подібності (див. табл. 2) до індикаторів подібності (K_i), рівним одиниці для подібних систем. Наприклад, для параметра швидкості:

$$\pi_v = \frac{vt}{l} = 1 \equiv \frac{K_v \cdot K_t}{K_l} = 1 \Rightarrow K_v \cdot K_t = K_l \quad (5)$$

Аналогічно виразу (5) обчислимо в загальному вигляді решту параметрів:

$$K_m = K_p \cdot K_v^2 \cdot K_L; \quad K_{F_{TP}} = K_p; \quad K_{F_{нон}} = K_p; \quad K_L \cdot K_c = K_p \quad (6)$$

З отриманої рівності визначені масштаби моделювання, остаточно:

$$K_1 = K_p = 25; \quad K_2 = K_v = 5; \quad K_3 = K_m = 125; \quad K_4 = K_{F_{TP}} = 25; \quad (7)$$

$$K_5 = K_{F_{нон}} = 25; \quad K_6 = K_L = 5; \quad K_7 = K_t = 1; \quad K_8 = K_c = 5.$$

Таким чином, на підставі залежностей (7) можна здійснити перехід за всіма показниками і параметрами від величин, отриманих при моделюванні, до величин оригіналу.

Висновки. За допомогою використання методів теорії подібності розглянуто вплив факторів, що впливають на процес дії сили опору руху на візок екіпажа. Виконані розрахунки дозволяють визначити масштабні коефіцієнти переходу від об'єкта дослідження до модельного експерименту, виконати стендові випробування та перенести результати випробувань на об'єкт дослідження. Результати досліджень дають можливість отримати достовірні дані при проведенні стендових випробувань з подальшою обробкою та інтерпретацією отриманих даних моделі в натуру.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Mikhailov E.* The possibility of reducing kinematic slip with two-point contacting with rail wheel railway vehicle./ Mikhailov E., Semenov S., Panchenko E.// TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Vol. 13, No. 1, Poland 2013. – pp. 108 – 112.
2. *Fomin, A. V.* The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. – № 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – 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).
3. *Михайлов Е.В.* Математическое моделирование движения колесной пары с подвижными гребнями / Е.В. Михайлов, А.Г. Рейдемейстер, С.А. Семенов, К.В. Макаров // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2014. – № 3 (210). – С.181-186.
4. Пат. 87418 Україна, МПК2013 В60 В17/00. Колесо рейкового транспортного засобу / Михайлов Є.В., Слащов В.А., Горбунов М.І., Мокроусов С.Д., Щербаков В.П., Коршко М.М., Семенов С.О., Солодовнік М.Д.; заявник та патентовласник Східноукр. нац. у-нт ім. В. Даля. – № u201309109; заявл. 19.07.2013; опубл. 10.02.2014, бюл. №3. – 7 с.
5. *Фомін О.В.* Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів / О.В. Фомін // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 6(83). – С. 87-91.
6. *Фомін О.В.* Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: Науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
7. *Шаповалов Л.А.* Моделирование в задачах механики элементов конструкций [Текст] / Л.А. Шаповалов. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
8. *Фомін О.В.* Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції / О.В. Фомін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76
9. *Александров А.А.* Повышение ресурса колесных пар грузовых вагонов и рельсов путем улучшения условий их взаимодействия и динамического мониторинга: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Александров Александр Александрович; РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2011. – 214 с.

10. Бердинских В.А. Статическое моделирование процессов фрикционно-контактного взаимодействия при внешнем трении / Бердинских В.А., Запорожец В.В. / Надежность и долговечность машин и сооружений. – 1984. – № 5. – С. 80 – 84.
11. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. – М.: Высшая школа, 1963. – 254 с.
12. Назаров А.Г. О механическом подобии твердых деформируемых тел. – Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1965. – 218 с.
13. Седов Л.И. Методы подобия и размерностей в механике. – М.: Наука, 1967. – 438 с.
14. Bockmenn G., Schulz W. Modellierung des Tropfenschlagverschleises in der instationären Phase // Schmierungstechnik, 1984. Jg. 15. – № 8. – S. 246 – 250.
15. Lorenz A. Modellbetrachtungen zum Schadensprozess in Maschinen und Geraten // Schmierungstechnik, 1984. Jg. 15. – № 8. – S. 250 – 253.
16. Браун Э.Д. Модели трения и изнашивания в машинах/ Браун Э.Д., Евдокимов Ю.А., Чичинадзе А.В. – М.: Машиностроение, 1982.
17. Кутателадзе С.С. Анализ подобия и физические модели [Текст] / Кутателадзе С.С. – Новосибирск: Наука, 1982. – 304 с.
18. Голубенко А.Л. Сцепление колеса с рельсом.—Луганск: ВУГУ, 1999.—476 с.
19. Ткаченко В.П. Кинематическое сопротивление движению рельсовых экипажей.— Луганск: Изд-во ВУГУ, 1996.— 200 с.
20. Горбунов Н.И. Повышение тяговых качеств тепловозов за счет совершенствования упругих связей тележек: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Горбунов Николай Иванович; ЛМИ. – Ворошиловград: – 1987. – 269 с.

Stanislav Semenov

(Senior Lecturer of Chair «Logistics management and traffic safety in transport», East-Ukrainian national University named after Volodymyr Dahl)

ON THE POSSIBLE USE OF SIMILARITY THEORY IN MODELING RESISTANCE TO MOVEMENT OF RAIL VEHICLES

The article discusses application possibilities of similarity theory in the conduct of experimental studies of resistance the model a rail vehicle. For physical modeling of systems and processes in the contact «wheel flange – side surface of the rail» was used the method of dimensional analysis with certain restrictions. By using this method found a single scale factor values for the transition from model to nature for each of parameters.

Criterion similarity is defined in the classical way, based on the π – theorem. At the stage of modeling the similarity of mechanical system must take account the constraints that determine the dynamics of the mechanical system. Thus, on the basis dependencies of the transition for all indicators and parameters from the values obtained in the simulation, the values of original.

The calculations allow us to determine scales factors of transition from object studies to model the experiment, perform bench tests and transfer the test results to objects of study. The results of studies allow to obtain reliable data when conducting bench tests with the subsequent processing and interpretation of the obtained data model in nature.

Keywords: determinant, the transition rate, criteria of dimension, resistance to movement, the theory of similarity.

REFERENCES

1. Mikhailov E. The possibility of reducing kinematic slip with two-point contacting with rail wheel railway vehicle/ Mikhailov E., Semenov S., Panchenko E.// TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Vol. 13, No. 1, Poland 2013. – pp. 108 – 112.

2. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text] / A. V. Fomin // East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. – № 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – 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)
3. Mikhajlov E.V., Rejdemejster A.G., Semenov S.A., Makarov K.V. Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya kolesnoj pary s podvizhnymi grebnymi [Mathematical modeling of the movement of the pair of wheels with movable combs] // *Visnik SNU im.V.Dalya* [Bulletin of SNU named after V. Dahl]. – 2014. – № 3 (210). – pp.181-186.
4. Mikhajlov E.V., Slashhov V.A., Gorbunov M.I., Mokrousov S.D., Sherbakov V.P., Korshko M.M., Semenov S.O., Solodovnik M.D. *Koleso rejkovogo transportnogo zasobu* [The wheel of the rail vehicle] Patent UA, no. u201309109, 2013.
5. Fomin O.V. Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vagoniv / O.V. Fomin // *Naukovy zhurnal «Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhayla Ostrohradskoho»*. – Kremenchuk: KDPU, 2013. – Vyp. 6(83). – S. 87-91.
6. Fomin O.V. Konceptiya ideal'nykh kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // *Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal*. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
7. Shapovalov L.A. *Modelirovanie v zadachakh mekhaniki ehlementov konstruksij* [Modeling in mechanics of structural elements]. Moscow: Mashinostroenie publ, 1990. – 288 p.
8. Fomin O.V. Pidvishchennja stupenja ideal'nosti vantazhnykh vagoniv ta prognozuvannya stadij ih evolucii [Increased ideal freight cars and forecasting stages of their evolution] [Text] / O.V Fomin // *Scientific Bulletin of National Mining University*. – Dnepropetrovsk: NSU, 2015. – №3. – P. 68-76 – Access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnykh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
9. Aleksandrov A.A. *Povyshenie resursa kolesnykh par gruzovykh vagonov i rel'sov putem uluchsheniya uslovij ih vzaimodejstviya i dinamicheskogo monitoringa*. Kand.Diss. [Increase of a resource wheel pairs freight wagons and rails by improving their interaction and dynamic monitoring]. Rostov-na-Donu, 2011, 214 p.
10. Berdinskikh V.A., Zaporozhets V.V. Staticheskoe modelirovanie protsessov friktsionno-kontaktного vzaimodejstviya pri vneshnem trenii [Static modeling of frictional-contact interaction with an external friction] // *Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i sooruzhenij* [The reliability and durability of machines and structures]. – 1984. № 5. pp. 80 – 84.
11. Gukhman A.A. *Vvedenie v teoriyu podobiya* [Introduction to the theory of similarity]. Moscow: Vysshaya shkola publ, 1963. – 254 p.
12. Nazarov A.G. *O mekhanicheskom podobii tverdykh deformiruemykh tel* [On the mechanical similarity of solid deformable bodies]. Erevan: Publ AN Arm. SSR, 1965. – 218 p.
13. Sedov L.I. *Metody podobiya i razmernostej v mehanike* [Methods of similarity and dimensions in mechanics]. Moscow: Nauka publ, 1967. – 438 p.
14. Bockmann G., Schulz W. Modellierung des Tropfenschlagverschleises in der instationaren Phase // *Schmierungstechnik*. 1984. Jg. 15. – № 8. – S. 246 – 250.
15. Lorenz A. Modellbetrachtungen zum Schädigungsprozess in Maschinen und Geräten // *Schmierungstechnik*. 1984. Jg. 15. № 8. – S. 250 – 253.
16. Braun E.D., Evdokimov YU.A., Chichinadze A.V. *Modeli treniya i iznashivaniya v mashinakh* [Models of friction and wear in machines]. Moscow: Mashinostroenie Publ, 1982, 231 p.
17. Kutateladze S.S. *Analiz podobiya i fizicheskie modeli* [Analysis of similarity and physical models]. Novosibirsk: Nauka publ, 1982. – 304 p.
18. Golubenko A.L. *Stseplenie kolesa s rel'som* [The adhesion of wheel and rail]. Lugansk: VUGU Publ., 1999. – 476 p.
19. Tkachenko V.P. *Kinematicheskoe soprotivlenie dvizheniyu rel'sovykh ehkipazhej* [Kinematic resistance to movement of rail crews]. Lugansk: VUGU Publ., 1996. – 200 p.
20. Gorbunov N.I. *Povyshenie tjavovykh kachestv teplovozov za schet sovershenstvovaniya uprugih svyazej telezhek* Kand.Diss. [Improving the traction qualities of the locomotive by improving elastic ties trucks]. – Voroshilovgrad, 1987. – 269 p.

УДК 004.94

О. С. Гайденко

(аспірант кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПЕРВИННИХ ДАНИХ

Розглянуто фундаментальні методи інтелектуального аналізу первинних даних, такі як графічні та статистичні методи, штучний інтелект, дерево рішень і генетичний алгоритм. Досліджено області їхнього можливого застосування у вирішенні завдань інтелектуалізації системи електропостачання залізниці.

Ключові слова: інтелектуальна обробка інформації, data mining, електропостачання, залізниця.

Рассмотрены фундаментальные методы интеллектуального анализа первичных данных, такие как графические и статистические методы, искусственный интеллект, дерево решений и генетический алгоритм. Исследованы области их возможного применения в решении задач интеллектуализации системы электропостачения железной дороги.

Ключевые слова: интеллектуальная обработка информации, data mining, электропостачение, железная дорога.

Постановка проблеми. Стрімке зростання інформації у базах даних привело до необхідності розробки нових технологій та інструментів для інтелектуальної та автоматичної обробки даних в корисну інформацію та знання [1].

Для вирішення деяких завдань інтелектуальної енергетики потрібна така обробка даних, яка дозволить на підставі знайдених взаємозв'язків будувати моделі, здатні описати особливості функціонування реальних систем електропостачання [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що напрям інтелектуального аналізу первинних даних сьогодні актуальний як у діяльності, пов'язаній безпосередньо з інформацією, так і в промисловості [1-12]. Причиною цього є розвиток комп'ютерних обчислювальних систем і сховищ даних [2].

Основна частина. Первинні дані (початкові, сирі або історичні дані) – необроблені масиви даних, отримувані в результаті спостереження за динамічною системою або об'єктом, що відображають його стан у конкретні моменти часу.

У випадку системи електропостачання залізниці джерелом первинних даних є пристрої моніторингу – різного роду датчики та елементи системи комерційного обліку АСКОЕ.

Оброблені дані несуть у собі інформаційну цінність, тобто є вже не даними, а інформацією.

Також у сучасному інтелектуальному аналізі даних data mining (DM) популярним є термін «видобуток знань» із даних. Знання в data mining – це знайдені взаємозв'язки між об'єктами аналізу.

© Гайденко О. С., 2016

Розглянемо всі сучасні фундаментальні підходи DM, які можуть використовуватись для завдань інтелектуалізації системи електропостачання залізниці.

Статистичні методи

Статистичні методи є незамінним компонентом у відборі та аналізі даних, і оцінці здобутих знань. Вони використовуються для оцінки результатів DM, щоб відокремити корисні дані від негативних. Статистичні методи пропонують використовувати у процесі очищення даних, для виявлення «сторонньої» інформації, а також для оцінки спотворень. Статистичні методи також можуть використовуватися для роботи з відсутніми даними, використовуючи засоби оцінки.

Методи для транзакцій і реляційної бази даних

Як відомо, транзакція – логічна одиниця роботи з даними, що являє собою окрему послідовність операцій із БД. Інтелектуальний пошук правил асоціацій популярний для використання у транзакціях БД і реляційних БД. Завдання полягає в тому, щоб отримати набір чітких асоціативних правил у формі

$$X_1 \dots X_n \Rightarrow Y_1 \dots Y_m,$$

де X_i (для $i \in 1, \dots, n$) та Y_j (для $j \in 1, \dots, m$) – атрибутизначень з множини відповідних наборів інформації у базі даних. Наприклад, у одній і тій самій транзакції можна знайти правило про асоціацію: якщо потяг спізнюється відносно розкладу, то він зазвичай витрачає більше енергії на проходження тієї самої ділянки. Оскільки операції DM для транзакцій бази даних можуть вимагати повторюваного читання (Repeatable Read, Snapshot), може знадобитися величезна потужність обробки [3].

Методи штучного інтелекту (Artificial intelligence (AI))

Методи AI широко застосовуються в DM. Методам розпізнавання образів, машинного навчання і нейронних мереж приділяється велика увага. Інші методи в AI, такі як здобуття знань, представлення знань і пошуку, мають відношення до різних етапів процесу в DM.

Одним із рішень класифікації як одного з основних завдань DM є використання нейронної мережі. Класифікація – це процес розподілу набору даних на взаємовиключні групи.

Нейронна мережа для DM складається з трьох основних етапів [4]:

1. Будівництво мережі та навчання: в цій фазі багаторівнева нейронна мережа створюється та навчається на основі заданих атрибутів, класів та обраного методу.
2. Спрощення мережі: на даному етапі надлишкові зв'язки та блоки видаляються без збільшення частоти помилок класифікації у мережі.
3. Вилучення правил класифікації.

Генетичний алгоритм

Генетичний алгоритм – відносно нова парадигма програмного забезпечення, підґрунтям якого є теорія еволюції Дарвіна. Популяція правил, кожна з яких відображає можливе рішення проблеми у вигляді хромосом, спочатку створюється випадковим чином. Тоді пари правил (як правило, найсильніші правила вибираються як «батьки») об'єднуються, щоб зробити «потомство» для наступного покоління. Нова популяція рішень формується застосуванням двох генетичних операторів. Перший – секції хромосом двох рішень міняються місцями та дають нові рішення. Другий – використовується процес мутації для зміни випадковим чином генетичної структури деяких членів кожного нового покоління. Система працює протягом кількох десятків або сотень поколінь. Процес завершується, коли буде виконана наперед задана умова (прийнятне або оптимальне рішення знайдене, або після деякої межі, встановленого часу) [5]. Ге-

нетичні алгоритми підходять для вирішення завдань, що вимагають оптимізації за певним обчислюваним критерієм. Ця парадигма може бути застосована до завдань DM. Величина, яка повинна бути зведена до мінімуму, часто є числом помилок класифікації на навчальній вибірці. Щоб отримати відповідні результати в розумні терміни, великі та складні завдання вимагають потужного апаратного забезпечення. Видобуток великих масивів даних за допомогою генетичних алгоритмів набирає практичної популярності лише останнім часом у зв'язку з наявністю доступних високошвидкісних комп'ютерів.

Графічні методи DM

Візуальні методи DM довели цінність пошукового аналізу даних, і вони також мають хороший потенціал для роботи з великою базою даних. Такий підхід вимагає інтеграції людини в процес DM. Є кілька добре відомих методів для візуалізації багатовимірних масивів даних: діаграми, графіки, паралельні координати, матриці проекцій, а також інші методи геометричної проекції, такі як ієрархічні методи, засновані на графах.

Часто графічні моделі передають взаємозв'язки з використанням структури графа [6,7]. У своїй простій формі, модель визначає, які змінні безпосередньо залежать одна від одної.

Дерева рішень

Дерева рішень – набори рішень у деревовидній формі для кращого сприйняття людиною. Вони в основному використовуються для прогнозного моделювання, класифікації набору даних по заданих правилах і завдань регресійного аналізу [8].

Для ухвалення рішення слід дати відповідь на питання виду «значення $Y < x$?» у вузлах дерева, починаючи від кореня.

Конкретні методи дерев рішень у DM, бувають двох основних типів [9,10]:

- класифікації, результатом роботи яких є присвоєння категорії для даних;
- регресійного аналізу, коли результат можна сприймати як дійсне число (наприклад, час руху потяга або вартість спожитої електроенергії).

Classification and Regression Trees (CART) і Chi Square Automatic Interaction Detection (CHAID) – популярні алгоритми дерев рішень, які використовуються для класифікації набору даних. Вони визначають набір правил, які можуть бути застосовані до нового (несортованого) набору даних для прогнозування.

CART, як правило, вимагає менше підготовки даних, ніж CHAID. CART може обробляти відсутні значення. Побудована модель може бути перевірена на окремо зазначеному тестовому наборі даних, крім того, вона може бути збережена і використана згодом на додаткових тестових наборах [9].

Велика кількість алгоритмів дерев рішень описано в літературі з області машинного навчання і прикладної статистики [11,12].

Гібридні методи

Очевидно, що гібридні методи в інтелектуальному аналізі не належать до основних, проте через зростання їхньої популярності проігнорувати їх було б недоречно.

Ідея алгоритмів побудованих на основі гібридних методів полягає в комбінації декількох методів для знаходження наближеного рішення без гарантій якості. Головною особливістю таких систем є використання окремого модуля для прийняття рішень, в який, наприклад, надходить інформація з нейронної мережі і структуровані дані з експертної системи. Використання таких систем виправдане при автоматизації аналітичних процесів обробки великого масиву даних з подальшою агрегацією, а також при автоматизації складних технологічних процесів. Однією з останніх тенденцій у розробці гібридних інтелектуальних алгоритмів і систем є об'єднання класичних методів AI з нечіткими системами, генетичними алгоритмами і т. п. Проте при впровадженні гіб-

ридних інтелектуальних систем часто виникають проблеми, пов'язані з інтеграцією окремих компонентів, через складнішу архітектуру такі системи мають низьку відмовостійкість [5].

Висновки. Наведені підходи інтелектуального аналізу первинних даних дозволяють вирішувати актуальні завдання, такі як прогнозування електроспоживання, зміни графіка руху потягів, ефективної діагностики та керування системою електропостачання залізниці тощо. На підставі розглянутих методів при практичному застосуванні можуть виникати нові нетрадиційні алгоритми, пристосовані до виконання конкретних завдань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sang Jun Lee A review of data mining techniques / Sang Jun Lee, Keng Siau // Industrial Management & Data Systems, Vol. 101 Iss: 1, pp.41–46
2. О.С. Гайденк. Інтелектуальна обробка баз знань господарства електропостачання залізниць // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 28. – К.: ДЕТУТ, 2016. – С. 147–153.
3. Jim Gray. The Transaction Concept: Virtues and Limitations. Proceedings of the 7th International Conference on Very Large Databases, 1981, pp. 144–154.
4. Lu H. Effective Data Mining Using Neural Networks / Lu H., Setiono R., Liu H. // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering – 1996, Vol. 8 No. 6. – pp. 957–961.
5. В.А. Гречкин. Интеллектуальные алгоритмы обработки информации в многокритериальных системах поддержки принятия решений // Вестник Ставропольского государственного университета – 2010. – №70. – С. 35–39.
6. Whittaker J. Graphical Models in Applied Multivariate Statistics // New York: Wiley – 1990.
7. Pearl J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems // San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann – 1988.
8. Fayyad U.M. From Digitized Images to On-Line Catalogs: Data Mining a Sky Survey / Fayyad U.M., Djorgovski S.G., Weir N. // AI Magazine – 1996. – №17(2). – pp. 51–66.
9. Joshua Gould Classification and Regression Trees (CART) Documentation [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <ftp://ftp.broad.mit.edu/pub/genepattern/modules/CART/broad.mit.edu:cancer.software.genepattern.module.analysis/00056/1/CART.pdf>.
10. Breiman L. Classification and regression trees. Monterey / Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J. // CA: Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software, 1984.
11. Breiman L. Classification and Regression Trees / Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J. // Belmont, Calif.: Wadsworth, 1984.
12. Quinlan J. C4.5: Programs for Machine Learning / San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann, 1992.

Oles Haidenko

(Graduate Student of Automation and Computer-Integrated Technologies of Transport Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

CURRENT TRENDS AND BASIC METHODS OF RAW DATA INTELLIGENT ANALYSIS

Fundamental methods of the data mining, such as visualization and statistical methods, artificial intelligence, decision trees and genetic algorithm are considered. Fields of their possible application in the task of railroad power supply system intellectualization are research.

Keywords: *intelligent information processing, data mining, electricity, railways.*

REFERENCES

1. Sang Jun Lee. A review of data mining techniques / Sang Jun Lee, Keng Siau // *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 101 Iss: 1, pp.41–46
2. O. Haidenko. Intelktualna obrobka baz znan hospodarstva elektropostachannya zaliznyc [Intelligent processing knowledge bases of railway power facilities] // *Zbirnyk naukovykh prac' DETUT: Serija «Transportni systemy i tehnologii»*, vol. 28. – K.: 2016. – pp. 147-153.
3. Jim Gray. The Transaction Concept: Virtues and Limitations. *Proceedings of the 7th International Conference on Very Large Databases*, 1981, pp. 144–154.
4. Lu H. Effective Data Mining Using Neural Networks / Lu H., Setiono R., Liu H. // *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* – 1996, Vol. 8 No. 6. – pp. 957-961.
5. V. Hrechkin. Intelktualnye algoritmy obrabotki informacii v mnogokriterialnykh sistemah podderjki prinyatiya resheniy [Intelligent information processing algorithms in multiobjective decision support systems] // *Vestnik Stavropolskogo gosudarstvennogo universiteta* – 2010. – №70. – pp. 35-39.
6. Whittaker J. *Graphical Models in Applied Multivariate Statistics* // New York: Wiley – 1990.
7. Pearl J. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems* // San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann – 1988.
8. Fayyad U.M. From Digitized Images to On-Line Catalogs: Data Mining a Sky Survey / Fayyad U.M., Djorgovski S.G., Weir N. // *AI Magazine* – 1996. – №17(2). – pp. 51–66.
9. Joshua Gould. Classification and Regression Trees (CART) Documentation. <ftp://ftp.broad.mit.edu/pub/genepattern/modules/CART/broad.mit.edu:cancer.software.genepattern.module.analysis/00056/1/CART.pdf>
10. Breiman L. Classification and regression trees. Monterey / Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J. // CA: Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software, 1984.
11. Breiman L. Classification and Regression Trees / Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J. // Belmont, Calif.: Wadsworth, 1984.
12. Quinlan J. C4.5: Programs for Machine Learning / San Francisco, Calif.: Morgan Kaufmann, 1992.

УДК 621.395.74

О. А. Герцій, к.т.н, доцент
(доцент кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ

У роботі розглядаються методи забезпечення якості зв'язку в телекомунікаційних мережах. Досліджено моделі функціонування мережі та проведено оцінку параметрів її роботи для різної величини абонентського навантаження. Розроблено алгоритм розрахунку часу затримки передачі пакетів мережею при використанні механізмів забезпечення якості послуг інтегрального і диференціального обслуговування та проведено порівняння ефективності їх використання.

Ключові слова: мультисервісна мережа, якість обслуговування, модель інтегрованого обслуговування, модель диференційованого обслуговування.

В работе рассматриваются методы обеспечения качества связи в телекоммуникационных сетях. Исследованы модели функционирования сети и приводится оценка параметров ее работы для разных значений абонентской нагрузки. Разработан алгоритм расчета времени задержки передачи пакетов в сети при использовании механизмов обеспечения качества услуг интегрального и дифференциального обслуживания и проведено сравнение эффективности их использования.

Ключевые слова: мультисервисная сеть, качество обслуживания, модель интегрального обслуживания, модель дифференциального обслуживания

Постановка проблеми. Основою розвитку сучасних телекомунікаційних мереж є принципова зміна характеру і структури абонентського трафіку. Це пов'язано зі стрімким зростанням кількості нових інформаційних додатків та зміною співвідношення між вже існуючими і новими мережевими послугами. При цьому вимагається забезпечення високоякісної передачі, розподілу, зберігання та перетворення різномірної інформації, високого ступеню гнучкості її розвитку, можливості управління користувачами, об'єднанню та розділенню ресурсів.

В зв'язку з цим відбувається зближення окремих мереж: телефонної мережі загального користування, мережі рухомого зв'язку та мережі документального електронного зв'язку. Такий процес об'єднання називають конвергенцією. Як наслідок, раніше ізольовані локальні мережі об'єднуються в глобальні, що відкриває перспективи побудови універсальної мультисервісної мережі [1,2]. Результатом процесу конвергенції стане практично повне об'єднання мереж і утворення мультисервісної мережі наступного покоління.

Але інформаційні потоки телекомунікаційних мереж сильно розрізняються за своїм складом і вимогами, внаслідок зростання кількості нових мережеских додатків, а також зміною співвідношення між вже існуючими і новими мережевими послугами. Це вимагає проведення детального аналізу структури та майбутніх функцій самої

© Герцій О. А., 2016

мережі при її проектуванні чи модернізації в напрямку мультисервісності, а поява нових властивостей мережевого трафіку та необхідність забезпечення високої якості обслуговування різних категорій додатків, роблять необхідним розробку сучасних механізмів забезпечення якості роботи таких мереж.

Метою роботи є дослідження моделей функціонування мультисервісних мереж і розробка алгоритму для оцінки параметрів її роботи при використанні механізмів забезпечення якості інтегрального і диференціального обслуговування.

Виклад основного матеріалу. Метою теоретичних досліджень, направлених на створення методик планування мультисервісних мереж зв'язку, являється визначення функціональних залежностей між об'ємами трафіку, показниками якості обслуговування та структурними параметрами мережі, що в кінцевому результаті можуть бути використані для визначення вартості того чи іншого рішення. Головною проблемою тут являється оцінка показників якості обслуговування (Quality of Service – QoS), адже поняття якості носить комплексний характер і включає різні аспекти доставки інформації по мережі. Таким чином, розробка комплексу методів, щоб охоплював аналіз якості роботи та оптимізацію проектних рішень при проектуванні мультисервісних мереж, є актуальним завданням [3].

При цьому необхідно враховувати складність такого завдання, що виражається багатогранністю самої мережі, що, у свою чергу, обумовлює складність виведення коректного рішення задачі оптимальної організації мультисервісної мережі. Тому із всіх можливих характеристик необхідно виділити декілька основних інтегральних показників, що глобально оцінюють якість обслуговування і можуть бути використані для оцінки необхідного ресурсу мережі.

Вибір таких характеристик необхідно проводити на основі комплексного аналізу складових, що визначають та впливають на процес роботи мережі. Тому, користуючись даним підходом, на основі аналізу поставленого питання, можна виділити два основних аспекти, що пов'язані з забезпеченням якості, а саме: конструктивні особливості мережі та особливості організації (управління) роботою мережі.

Конструктивні аспекти визначаються вибором топології мережі, використовуваних технологій транспортної мережі та мережі доступу, технічних характеристик обладнання та ін., що у свою чергу, залежать від загального абонентського навантаження, підтримки відповідних сервісів, необхідної швидкості передачі, безвідмовності роботи того чи іншого обладнання. Всі ці фактори враховуються на початкових етапах проектування мережі з врахуванням на найближчу перспективу. Під час експлуатації мережі їх вплив на якість обслуговування в середньому залишається незмінним. Як наслідок вирішення цих завдань відносять до питань проектування мережі і як механізми забезпечення якості використовують лише при наступній модернізації структури мережі. До того ж, покращення функціонування мережі шляхом нарощування структурних елементів мережі не є економічно доцільним, що в умовах сучасного економічно орієнтованого підходу є визначальним.

Організаційні аспекти роботи мережі включають контроль за ресурсами мережі, управління даними абонентів та використання менеджменту. Вони безпосередньо визначають якість зв'язку в процесі експлуатації мережі і тому саме їх виділяють як основні механізми забезпечення QoS. Такий класифікаційний підхід оснований на рекомендаціях Y.1291 Міжнародного союзу електрозв'язку та його інтерпретаціях вітчизняними вченими [1, 4]. Повна структура механізмів забезпечення QoS представлена на рис.1.

При цьому запропонована класифікація враховує той факт, що мультисервісні мережі являються IP-орієнтованими, а отже, представлені механізми в повній мірі можуть бути застосовані лише в IP-мережах.



Рис. 1. Механізми забезпечення якості обслуговування

Серед основних з них треба відмітити метод управління доступом до ресурсів мережі шляхом контролю подання нових заявок, метод маркування пакетів відповідно до класу обслуговування, метод забезпечення вибору оптимального маршруту за параметром QoS, алгоритм своєчасного виявлення перенавантаження задля запобігання переповнення буферів у вузлах мережі, метод організації черг реалізований механізмом зваженої справедливої буферизації та механізмом буферизації за класом обслуговування, механізм укладання «Угоди про якість обслуговування» SLA, що дозволяє встановити однозначну відповідність між показниками якості зі сторони користувача та показниками функціонування мережі [4].

Приведена структура відображає всю різноманітність методів та підходів щодо реалізації забезпечення якості, кожен з яких забезпечує вирішення того чи іншого завдання у забезпеченні QoS. Проте сучасні темпи розвитку вимагають більш досконалих механізмів, які б дозволяли одночасно вирішувати декілька проблем. Прикладом такої реалізації можуть бути моделі представлені RSVP, DiffServ та MPLS [5].

Зокрема модель надання інтегрованих послуг, передбачає використання протоколу RSVP, згідно з яким відбувається резервування та управління частиною ресурсів мережі з метою «жорсткого» забезпечення якості. Проте таке резервування вимагає значних затрат ресурсів мережі, що накладає обмеження на її використання.

Більш досконалий механізм забезпечується моделлю надання диференційованих послуг, що реалізується протоколом DiffServ. Він передбачає організацію передачі пакетів між вузлами мережі на основі присвоєного класу обслуговування. Як наслідок розподіл ресурсів відбувається більш «м'яко».

Третя модель передбачає використання механізму багатопроTOCOLьної комутації по міткам – MPLS, що полягає в значному спрощенні процесу маршрутизації пакету, що стало можливим за рахунок відмови від аналізу IP-адреси в його заголовку.

Методика оцінки параметрів якості зв'язку мультисервісних мереж

Обґрунтування того чи іншого підходу при дослідженні процесу передачі даних в першу чергу повинне ґрунтуватися на дослідженні властивостей абонентського трафіку. При цьому намагаються як найточніше змодельовати характер поведінки трафіку, що б найбільш повно відповідав статистичним даним. Зокрема, на основі аналізу робіт ряду закордонних вчених (Crovello, Molnar та ін.) була отримана класифікація, яка відображає співвідношення між типами трафіка та законами розподілу,

що дозволяють найбільш повно описати параметри трафіку на конкретному рівні моделі OSI [6].

Для опису трафіку в мультисервісних IP-мережах найбільш широкого застосується розподіл Парето. Крім того, для трафіка конкретних додатків обмежено використовується розподіл Вейбула, нормований логарифмічний розподіл та розподіл Пуассона. Важливо відмітити, що розподіл Парето відноситься до розподілів з важким хвостом і володіє нескінченною дисперсією в діапазоні $1 < \alpha < 2$, де показник α характеризує «вагу» хвоста розподілу та визначає «пачечність» процесу. Такі процеси відносяться до самоподібних та характеризують трафік сучасних комп'ютерних мереж. Враховуючи широке застосування закону Парето для опису трафіку IP-орієнтованих мереж, в подальшому буде використовувати саме розподіл Парето.

В якості моделі системи масового обслуговування виберемо систему з загальним розподілом вхідного потоку та процесу обслуговування, з одним каналом та обмеженим розміром m буфера вузла [7, 8]. З використанням символіки Кендала вона представляється моделлю $G/G/1/m$. Завдання розрахунку системи такого виду для вказаних вхідних процесів та процесів обслуговування ускладнена тим, що дисперсії цих процесів є нескінченними. Тому для спрощення розрахунків необхідно використовувати обмеження випадкової величини за мінімальним та максимальним значенням, що дозволить розрахувати необхідні коефіцієнти без зміни форми самого розподілу.

На основі запропонованих припущень проводиться дослідження роботи зазначених QoS-моделей IntServ та DiffServ, що ґрунтується на особливостях організації кожної з них.

Час обробки даних в вузлах мережі визначається затримками пакетів в буферах даних. Для розрахунків часу затримки на вузлах скористаємося результатами теорії дифузійної апроксимації [9], що представлені в монографії Зелінгера М. Б., Чугреєва О. С. та Яновського Г. Г.:

$$T_{treatment.x} = P \cdot \frac{t_s}{m \cdot 1 - \rho} \cdot \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} \quad (1)$$

де m – розмір буфера вузла мережі;

ρ – навантаження системи трафіком;

P – ймовірність відмови в обслуговуванні через зайнятість приладів;

t_s – середній час обслуговування пакету мережевим пристроєм;

C_a^2 та C_s^2 – квадратичні коефіцієнти варіації розподілу вхідного потоку та часу обслуговування відповідно.

Згідно теорії телетрафіку, навантаження системи визначається за формулою:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (2)$$

де λ – інтенсивність поступання абонентського трафіку;

μ – інтенсивність обслуговування трафіку пристроєм.

В даному випадку інтенсивність навантаження буде виражатися через середню інтенсивність навантаження від одного абонента:

$$\lambda = N \cdot \lambda_s \quad (3)$$

де N – кількість абонентів мережі;

λ_s – середня інтенсивність трафіку від одного абонента;

Ймовірність відмови в обслуговуванні залежить від завантаження вузлів мережі і може бути наближено обчислена за другою формулою Ерланга:

$$P = m \cdot 1 - \rho \cdot \frac{\rho^m}{1 - \rho^m} \quad (4)$$

Квадратичні коефіцієнти варіації, відповідно до розподілу Парето, будуть визначатися на основі наступної апроксимаційної формули [9]:

$$C_x^2 = \frac{1 - \alpha^2 \cdot L^\alpha - k^\alpha}{\alpha \cdot L \cdot k^\alpha - L^\alpha \cdot k^2} \cdot \left(\frac{L^2 \cdot k^\alpha - L^\alpha \cdot k^2}{2 - \alpha} - \frac{\alpha \cdot L \cdot k^\alpha - L^\alpha \cdot k^2}{1 - \alpha^2 \cdot L^\alpha - k^\alpha} \right) \quad (5)$$

де α – коефіцієнт ваги хвоста розподілу, що визначає «пачечність» процесу;

L – максимальний розмір блоку даних;

k – мінімальний розмір блоку даних.

При цьому під розміром блоку даних розуміють розмір пакету, що генерується додатком або ж розміри пачки пакетів, що виникають в результаті роботи додатку чи проходження пакетів по мережі.

Математичне моделювання механізмів IntServ та DiffServ

На основі описаної методики були проведені розрахунки ефективності роботи механізмів забезпечення QoS, що представлені моделями IntServ та DiffServ. При цьому процес моделювання реалізовувався шляхом використання програмного середовища Mathcad. В якості досліджуваної мережі було обрано мережеву область організовану на чотирьох маршрутизаторах, де один з маршрутизаторів відіграє роль ядра мережі, а інші три являються її приграничними вузлами, до яких підключаються локальні мережі кінцевих абонентів. При цьому приграничні маршрутизатори були з'єднані з центральним маршрутизатором за допомогою оптичних одномодових волокон довжиною в 2 кілометри зі швидкістю передачі 100 Мбіт/с (згідно стандарту 100BASE-FX Fast Ethernet) [10]. Передбачається, що мережа обслуговуватиме до 1000 абонентів, де середня інтенсивність трафіку від кожного з них становитиме 30 кбіт/с [11, 12].

Змінюючи кількість активних абонентів моделюється різна величина навантаження мережі. При цьому для моделі DiffServ в формулу 3 для розрахунку загального навантаження вводиться додатковий коефіцієнт, що враховує зменшення загального навантаження, пов'язане з відкиданням частини пакетів, що не відповідає угоді про рівень обслуговування SLA (Service Level Agreement). В нашому випадку кількість відкинутих пакетів відповідає 10% загального трафіка.

Щоб реалізувати режим великого навантаження системи, інтенсивність обслуговування трафіка маршрутизаторами вибиралася близькою до максимальної. Зокрема найближчим нормативним значенням із лінійки пропускних спроможностей маршрутизаторів була обрана величина інтенсивності в 32 Мбіт/с.

Як нормативна довжина лінії в роботі зазначена лінія довжиною в 4000 м, що відповідає відстані між будь-якими приграничними маршрутизаторами мережі.

Об'єм даних, що передається одним абонентом обирався рівним 10 кбайт, щоб цим самим нівелювати затримки на передачу службових повідомлень.

Величини сигнальних повідомлень *Path* та *Resv* були обраховані за їх структурою. Зокрема повідомлення *Path*, крім заголовку Common Header в 64 байти містить вісім об'єктів по 64 байти – *Integrity*, *Session*, *RSVP Hop*, *Policy Data*, *Sender Template*, *Sender TSpec*, *ADSpec*, – що в загальному дають 576 байт. До складу повідомлення *Resv* входить загальний заголовок Common Header в 64 байти та десять об'єктів також по 64 байти – *Integrity*, *Session*, *RSVP Hop*, *Time Values*, *RSVP Confirm*, *Scope*, *Policy Data*, *Style*, *FlowSpec*, *FilterSpec*, – що в сумі дають 704 байти.

Середній час обробки даних на вузлі та середній час класифікації в приграничних маршрутизаторах були прийнятими в 100 мкс.

Розмір буфера вузла був обраний рівний 8, що відповідає восьми максимальним розмірам IP-пакетів, тобто 32 кбайти.

За мінімальний та максимальний розмір блоку даних було обрано величину IP-пакету в 64 та 4000 байт відповідно.

Величина «ваги» хвоста абонентського трафіку відповідає за взаємкореляцію між трафіком та визначає його «пачечність». Зокрема для вхідного трафіку був обраний коефіцієнт ваги рівний 1,1, що відповідає його високій «пачечності». Через застосування політики вирівнювання (*shaping*), вихідний трафік маршрутизаторів є більш рівномірним, а тому для нього був обраний коефіцієнт 1,7. Сигнальний трафік, що генерується обладнанням є періодичним, а тому «пачечність» йому як така не характерна. У зв'язку з цим коефіцієнт ваги для повідомлень *Path* та *Resv* був обраний рівним 1,97. Результати моделювання IntServ та DiffServ за прийнятими значеннями наведені в табл. 1 і табл. 2 відповідно.

Таблиця 1. Результати моделювання роботи технології IntServ

Кількість абонентів	Навантаження системи	Час затримки передачі, мс			
		Повідомлення <i>Path</i>	Повідомлення <i>Resv</i>	Даних	Сумарний
10	0,009	0,0205	0,0218	0,8148	0,8572
100	0,094	0,0205	0,0218	0,8148	0,8572
200	0,188	0,0206	0,0219	0,8148	0,8572
300	0,281	0,0206	0,0219	0,8149	0,8573
400	0,375	0,0207	0,0220	0,8153	0,8581
500	0,469	0,0216	0,0228	0,8180	0,8624
600	0,563	0,0248	0,0261	0,8285	0,8794
700	0,656	0,0355	0,0368	0,8630	0,9352
800	0,750	0,0671	0,0684	0,9654	1,1010
900	0,844	0,1651	0,1663	1,2830	1,6140
1000	0,938	0,6391	0,6404	2,8170	4,0970

Таблиця 2. Результати моделювання роботи технології DiffServ

Кількість абонентів	Навантаження системи	Час затримки передачі, мс			
		В приграничних вузлах	В проміжних вузлах	В лінії	Сумарний
10	0,008	0,1000	-	0,8148	0,9148
100	0,084	0,1000	-	0,8148	0,9148
200	0,169	0,1000	-	0,8148	0,9148
300	0,253	0,1000	-	0,8148	0,9148
400	0,338	0,1000	0,0003	0,8148	0,9150
500	0,422	0,1000	0,0014	0,8148	0,9162
600	0,506	0,1000	0,0058	0,8148	0,9207
700	0,591	0,1000	0,0203	0,8148	0,9352
800	0,675	0,1000	0,0609	0,8148	0,9757
900	0,759	0,1000	0,1682	0,8148	1,0830
1000	0,844	0,1000	0,4678	0,8148	1,3830

Результати експериментальних досліджень та їх аналіз

На основі проведених обчислень були отримані результати затримки передачі даних в мережах IntServ та DiffServ. Їх графічна інтерпретація подана на рис. 2. і рис. 3. відповідно.

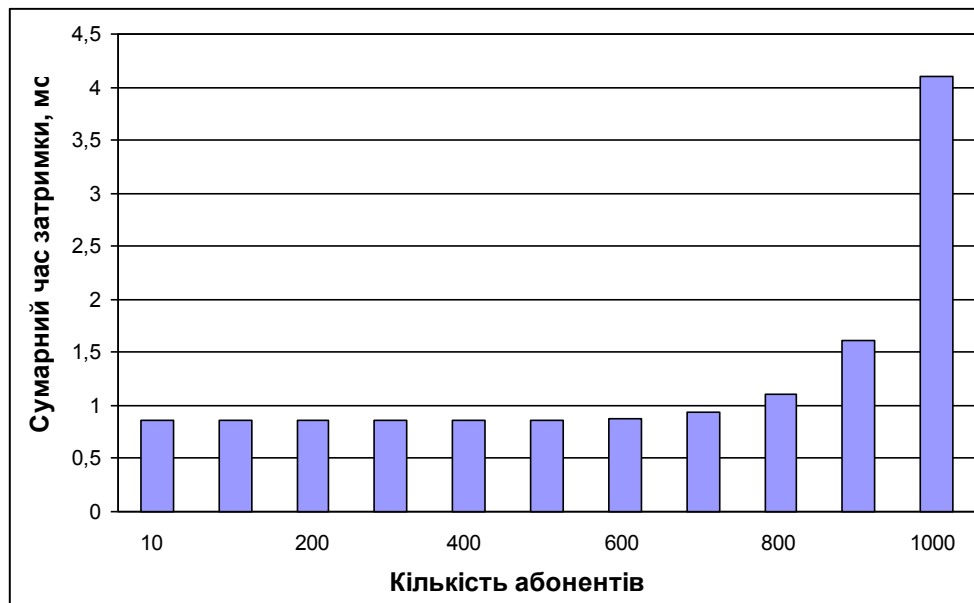


Рис. 2. Час затримки передачі за технологією IntServ

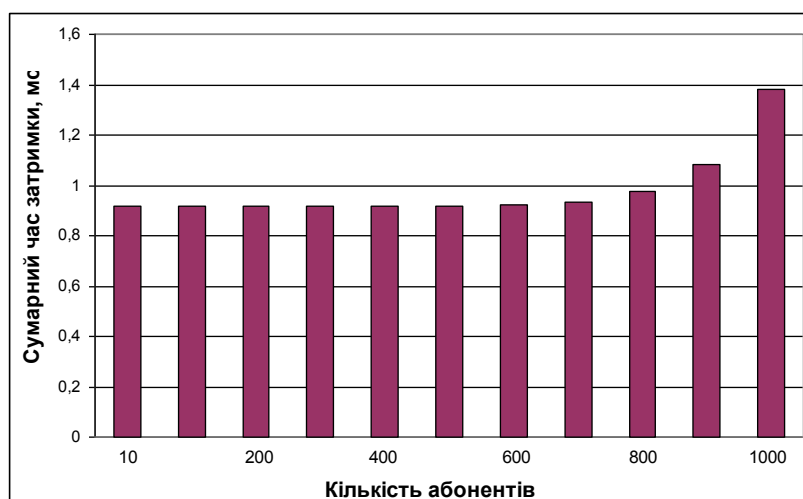


Рис. 3. Час затримки передачі за технологією DiffServ

Аналіз приведених діаграм підтверджує вищезазначені характеристики обох механізмів. Зокрема чітко видно, що модель DiffServ являється гнучкішою порівняно з IntServ, адже забезпечує менші величини затримки при великих значеннях навантаження, а отже є ефективнішою для організації великих мереж з різнорідними типами трафіку. При цьому перехід на більш ефективнішу модель DiffServ є виправданим зі збільшенням кількості абонентів, що обслуговуються.

В деяких випадках представлені діаграми можуть розрізнятися. Це визначається співвідношеннями між заданими значеннями вихідних величин. В такому випадку аналіз доцільності застосування необхідно проводити з врахуванням кривизни графіку. Як правило, за такого характеру діаграм, перехід на більш ефективнішу технологію є виправданим, починаючи з точки, де затримка передачі є в два рази більшою від номінальної (відповідає малим навантаженням), за якою вже йде область стрімкого зростання часу затримки.

Висновки. В роботі проведено моделювання роботи мультисервісної мережі організованої за технологією IntServ та DiffServ та оцінено час затримки передачі даних мережею для кожної з них. На основі отриманих результатів проведено порівняння ефективності роботи технологій та сформульовані рекомендації по забезпеченню якості передачі даних в конвергентних мультисервісних мережах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи: учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.
2. Гургенидзе А.Н. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 400 с.
3. Герцій О.А., Гребінь Р.О. Методи забезпечення якості зв'язку мультисервісних мереж. // Збірник наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 20. – К.: ДЕТУТ, 2012. – с.191-196.
4. Степанов С. Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 392 с.
5. Семенов Ю. В. Проектирование сетей связи следующего поколения. – СПб.: Наука и Техника, 2005. – 240 с.
6. Столлингс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
7. Яновский Г.Г. Качество обслуживания в сетях IP. // Вестник связи, – 2008. – №1. – с. 1-16.
8. Galkin A.M., Simonina O.A., Yanovsky G.G. Multiservice IP Network QoS Parameters Estimation in Presence of Self-similar Traffic // Springer Verlag. Lecture Notes on Computer Science, № 4003. 2006. С. 235-245.
9. Зелингер Н.Б., Чугреев О.С., Яновский Г.Г. Проектирование сетей и систем передачи дискретных сообщений. – М.: Радио и связь, 1992. – 175с.

10. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для ВУЗов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
11. Герцій О. А. Математичне моделювання та оцінка параметрів якості зв'язку IP-мереж // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 22. – К: ДЕТУТ, 2013. С. 144-151.
12. Gertsy O., Liesoviyi V. Modelling and evaluation of quality parameters of IP-networks connection // «Problems of Infocommunications. Science and Technology – PIC S&T-2015». – IEEE Proceedings, 2015. P. 118-121.

**Olexander Gertsy, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor «Department of Telecommunications Technologies and Automatics», State University for Transport Economy and Technologies)**

RESEARCH OF MODELS FOR QUALITY ASSURANCE OF MULTI-SERVICE NETWORKS FUNCTIONING

In this paper a methods of ensuring connection quality of telecommunication networks is considered. The analysis of the quality assurance mechanisms of the multi-service networks, and shows that they are linked to structural and organizational characteristics of the work.

The models of functioning of network are researched and the estimation of parameters of quality of its work is conducted for the different size of the subscriber loading. In particular, the algorithm of calculating the delay time of the packet transmission network was made when using the quality assurance mechanisms integrated services and differentiated services, and comparison of their efficiency, depending on the number of network users.

It is shown that the differentiated services model appears to be more flexible compared to integrated services because it provides less volumes of delay with large values of load.

Keywords: Multi-service network; Quality of Service; Integrated Services Model; Differentiated Services Model

REFERENCES

1. Goldstein B.S., Sokolov N.A., Yanovskii G.G. Telecommunications: textbook for universities. – SPb.: BHV-Peterburg, 2010. – 400 p.
2. Gurgenzidze A.N. Multiservice networks and broadband services. – M.: Eko-Trends, 2000. – 400 p.
3. Gertsy O.A., Hrebin R.O. Methods of quality assurance of multiservice network connection // Zbirnyk nauk. prats DETUT. Seriiia «Transportni systemy i technologiii». – Vyp. 20. – K.: DETUT, 2012. – p.191-196.
4. Stepanov S. N. Basics Teletraffic multiservice networks. – M.: Eko-Trends, 2010. – 392 p.
5. Semenov Yu. V. Designing the next generation of communication networks. – SPb.: Nauka i technica, 2005. – 240 c.
6. Stollings V. Modern computer networks. 2-nd edition. – SPb.: Peter, 2003. – 783 p.
7. Yanovskii G.G. Quality of service in IP-networks. // Vestnik sviazi. – 2008. – №1. – p. 1-16.
8. Galkin A.M., Simonina O.A., Yanovsky G.G. Multiservice IP Network QoS Parameters Estimation in Presence of Self-similar Traffic // Springer Verlag. Lecture Notes on Computer Science, № 4003. 2006. p. 235-245.
9. Zelinger N.B., Chugreev O.S., Yanovskii G.G. Construction of networks and discrete message transmission systems. – M.: Radio i sviaz, 1992. – 175p.
10. Olifer V.G., Olifer N.A. Computer networks. Principles, technologies, protocols: Textbook for students. 4th edition. – SPb.: Peter, 2010. – 944 p.
11. Gertsy O.A. Mathematical modelling and evaluation of quality parameters of IP-networks connection // Zbirnyk nauk. prats DETUT. Seriiia «Transportni systemy i technologiii» – Vyp. 22. – K: DETUT, 2013. – p. 144-151.
12. Gertsy O., Liesoviyi V. Modelling and evaluation of quality parameters of IP-networks connection / Proceedings of Second International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology –PIC S&T 2015, Kharkov, Ukraine, Oct. 13-15, 2015, p. 118-121.

УДК 697.32

И. О. Баранов

(старший преподаватель кафедры «Логистическое управление и безопасность движения на транспорте» Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Северодонецк)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Запропонована технологія виробництва водовугільного палива, на основі вугільних шламів, дозволяє реанімувати і зберегти природні ресурси і забезпечити використання неліквідної паливної сировини в паливно-енергетичному комплексі України.

Сутність процесів приготування водовугільного палива полягає в подрібненні вугільних часток, збагачених методом масляної агломерації, одночасно зі змішуванням їх з водою і реагентом-пластифікатором в кульовому млині. Встановлено, що подрібнення великих класів вугілля йде безперервно, зміст середніх класів в початковий період помелу зростає, а до кінця подрібнення помітно знижується. Отже, на швидкість подрібнення істотно впливає крупність вихідного вугілля.

У даній статті розглянута технологія приготування водовугільного палива з вугільних шламів Донецького басейну та запропоновано спосіб покращення його властивостей. Виконаний аналіз різних способів подрібнення вугілля в єдиному циклі виробництва ВВП дозволив визначити найменш енерговитратні технології отримання даного палива.

Ключові слова: паливо, приготування, вугільний шлам, подрібнення, стійкість, властивості, агломерація.

Предложенная технология производства водоугольного топлива, на основе угольных шламов, позволяет реанимировать и сохранить природные ресурсы и обеспечить использование неликвидного топливного сырья в топливно-энергетическом комплексе Украины.

Сущность процессов приготовления водоугольного топлива заключается в измельчении угольных частиц, обогащенных методом масляной агломерации, одновременно со смешиванием их с водой и реагентом-пластификатором в шаровой мельнице. Установлено, что измельчение крупных классов угля идет непрерывно, содержание средних классов в начальный период помола возрастает, а к концу измельчения заметно снижается. Следовательно, на скорость измельчения существенное влияние оказывает крупность исходного угля.

В данной статье рассмотрена технология приготовления водоугольного топлива из угольных шламов Донецкого бассейна и предложен способ улучшения его свойств. Выполненный анализ различных способов измельчения угля в едином цикле производства ВУТ позволил определить наименее энергозатратные технологии получения данного топлива.

Ключевые слова: топливо, приготовление, угольный шлам, измельчение, устойчивость, свойства, агломерация.

© Баранов И. О., 2016

Постановка проблеми. Устойчивое развитие топливно-энергетического комплекса Украины тесно связано с использованием альтернативных видов топлива, которые являются наиболее целесообразными и экономически эффективными для энергетики страны в современных сырьевых условиях. В настоящее время прогнозируется повышение роли угля в энергетике Украины, что обусловлено его крупными запасами, недостатком месторождений нефти и газа и их высокой себестоимостью. В тоже время экологические проблемы, возникающие при использовании угольного топлива, требуют разработки и внедрения новых ресурсосберегающих с экономической и экологической точек зрения угольных технологий, которые обеспечат существенный экологический эффект с максимально высокой полнотой использования добываемого топлива [1-4]. Особенно остры эти проблемы для угольных областей Украины, таких как Донбасс, испытывающих недостаток в экологически чистых природных энергоносителях и нуждающихся в снижении зависимости от дорогих угольных ресурсов теплоэнергетики. Кроме того, вокруг многих угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий в гидроотвалах и отстойниках скапливается большое количество добываемого угля, представленного в виде тонкодисперсных угольных шламов, перевод которых в технологически приемлемое топливо позволит не только улучшить экологическую обстановку в регионах, но и получить существенный экономический эффект, так как себестоимость данного топливного сырья практически равна нулю и способствует максимальному снижению затрат на производство топлива в условиях ресурсосберегающей концепции развития Украины [3-8].

Наличие шламонакопителей, наружных отстойников и гидроотвалов в Донбассе приводит к загрязнению земли, воды и воздуха и исключению (потере) этих природных ресурсов. Кроме того, миллионы тонн угольных шламов, хранящихся в этих сооружениях, исключены из производственного цикла, хотя могли бы использоваться для вторичной переработки с получением товарных угольных продуктов таких как брикеты, пеллеты, водоугольное топливо (ВУТ).

Получаемое топливо должно отвечать жестким требованиям современного рынка: стабильность основных технологических характеристик, задаваемых потребителем, рентабельность производства и минимально возможное негативное экологическое воздействие на окружающую среду при его получении и использовании.

В связи с этим становится актуальным использование шламов в виде водоугольного топлива, разработка эффективных процессов получения и применения которых должна базироваться на научно обоснованных процессах физического и физико-химического воздействия на исходный уголь с учетом свойств его органической и минеральной составляющих.

Анализ последних исследований и публикаций. Для ВУТ применяемого в процессе прямого сжигания в котлоагрегатах, существуют оптимальные пределы изменения основных характеристик: максимальная крупность частиц не более 350 мкм. при остатке на сите 90 мкм. не более 25-30%, массовая доля твердой фазы 57-63%, вязкость при скорости сдвига 100 c^{-1} не более 0,8 Па с. при перекачке по трубопроводу и 1,6 Па с. при перевозке автомобильным или железнодорожным транспортом, низшая теплота сгорания не менее 3200 ккал/кг и стабильность не менее 30 суток [6].

Негативной особенностью ВУТ является наличие инертной среды – воды, понижающей его качественные характеристики. Полностью компенсировать влияние воды на качество ВУТ не возможно, однако частично снизить это влияние можно путем выбора наиболее оптимального исходного угля. Исходный уголь должен обладать высокой теплотой сгорания, повышенным содержанием летучих веществ, большим содержанием углерода (малой зольностью). Высокая теплота сгорания повышает значение низшей теплоты сгорания ВУТ. Большое содержание летучих веществ и угле-

рода делает ВУТ высокореакционным для преодоления негативного воздействия влаги, что в конечном итоге сказывается на стабильности горения.

Применение углей (угольных шламов) с высокой теплотой сгорания (антрациты) малоприспособлено из-за невысокого содержания летучих веществ. С другой стороны применение углей низкой стадии метаморфизма, имеющих высокое содержание летучих веществ и высокую реакционную способность, также практически недопустимо для приготовления ВУТ из-за невысокой теплоты сгорания. Существующие методы применения этих углей для технологии ВУТ (термическая, гидротермическая, барометрическая и др.) существенно дороги из-за их сложности и высокой энергоемкости.

Указанным требованиям могут удовлетворять угли и угольные шламы марок Д и Г Донецкого бассейна [7]. Также пригодны угольные шламы марки СС. Запасы этих углей весьма велики, кроме того, в гидроотвалах и шламоотстойниках сосредоточено большое количество тонкодисперсных угольных шламов этих марок, применение которых в качестве исходного сырья для приготовления ВУТ позволит получить высокий экономический и экологический эффекты.

Цель статьи – усовершенствование технологии приготовления водоугольного топлива путем использования эффективных методов измельчения и обеззоливания угольных шламов и улучшения свойств топлива.

Изложение основного материала исследования. Все исходные угольные шламы имеют высокую зольность и для прямого использования в технологии ВУТ не годятся. В связи с этим необходимо проверить соответствие зольности угольных шламов с табличными данными, найти относительные ошибки экспериментальных данных и определить гранулометрический состав исходных шламов с выявлением закономерности распределения зольности по классам и выполнить соответствующую их обработку.

Сущность процессов приготовления ВУТ заключается в измельчении угольных частиц, обогащенных методом масляной агломерации [8], одновременно со смешиванием их с водой и реагентом-пластификатором в шаровой мельнице. Приготовление ВУТ из угольных шламов осуществляется по предложенной схеме (рис.1.).

Подготовленные угольные шламы должны пройти процесс одностадийного мокрого помола в лабораторной шаровой мельнице в присутствии реагента-пластификатора. Реагент-пластификатор (гумат натрия) добавляется в шаровую мельницу в количестве 1% к массе сухого угольного шлама. Через заданные промежутки времени производится отбор проб, в которых определяется гранулометрический состав путем мокрого сита на ситах 30, 60, 120, 240, 480 мкм и зольность угольных частиц.

Анализ полученных результатов показывает, что измельчение крупных классов угля идет непрерывно, содержание средних классов в начальный период помола возрастает, а к концу измельчения заметно снижается (рис. 2.). Содержание мелких классов в процессе измельчения постоянно увеличивается. Следовательно, на скорость измельчения существенное влияние оказывает крупность исходного угля. В процессе дробления это влияние уменьшается, причем для более крупного класса быстрее, чем для более мелкого.

В процессе развития технологии производства ВУТ были опробованы различные типы измельчителей и в настоящее время в процессе производства ВУТ в промышленных условиях предпочтение отдается барабанным мельницам мокрого измельчения, таких как стержневые и шаровые мельницы. Достоинствами барабанных мельниц (особенно шаровых) являются: возможность организации непрерывного производственного процесса, возможность увеличения размера конструкций по запросам массового производства ВУТ, конструкция этих мельниц и условия их функционирования также как и форма мельницы, набор и сочетание размеров шаров, скорость вращения

мельницы, количество шаров или стержней, концентрация измельченного угля легко совместимы с распределением крупности частиц и необходимой энергии для дробления. Шаровые мельницы мокрого измельчения, являются не только измельчителями, но и эффективными перемешивающими устройствами.



Рис. 1. Схема получения ВУТ на основе угольных шламов

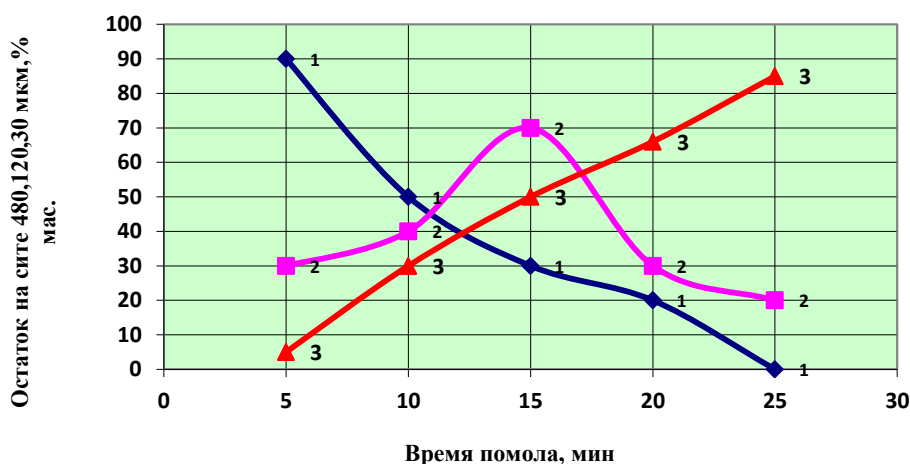


Рис. 2. Кинетика мокрого помола частиц угля в зависимости от длительности измельчения в мельнице: 1 - 120 – 480 мкм; 2 - 30 – 120 мкм; 3 - 0 – 30 мкм

Выполненный анализ различных способов измельчения угля в едином цикле производства ВУТ позволил определить наименее энергозатратные технологии получения ВУТ, некоторые из них приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сводная таблица энергопотерь

№ з/п	Технология измельчения угля (тип мельницы)	Удельные энергозатраты (%)	Энергоемкость приготвления ВУТ (кВт ч/т)
1	Шаровая, стержневая мельницы	51,12	36 – 50,4 кВт ч/т
2	Вертикальная валковая мельница (МВС, ОК)	13,08	9,2 – 14 кВт ч/т
3	Гидроударный узел мокрого помола (ГУУМП)	14,3	Менее 10 кВт ч/т
4	Дезинтегратор	14,3	≈ 10 кВт ч/т
5	Кавитационные аппараты	7,2	5 – 20 кВт ч/т

Технологические свойства углей, используемых при получении ВУТ, в значительной мере определяются их надмолекулярной структурой, а также состоянием поверхностных ионогенных групп, ответственных за энергетическое состояние угольной поверхности при ее взаимодействии с окружающей средой. Контакт угля с водой и реагентом – пластификатором при мокром помоле приводит к существенным изменениям поверхностных свойств углей. Интенсивные ионообменные процессы, сопровождающиеся образованием на угольной поверхности двойного электрического слоя ионов, фактически приводят к усилению взаимодействия угольной фазы топлива с водой.

Наиболее важной задачей стоящей перед исследователями является создание ВУТ устойчивого к нарушению гомогенности. Устойчивость топлива зависит от многих факторов, например, таких как дисперсность угольных частиц, степень их окисления, характер взаимодействия частиц дисперсной фазы и дисперсионной среды, сольватация и т.д. Улучшить свойства ВУТ и предать ему большую устойчивость можно путем введения в систему стабилизирующих добавок – реагентов-пластификаторов, действие которых связано с образованием адсорбционных слоев на поверхности твердой фазы. Сольватные слои, образующиеся при адсорбции стабилизатора, препятствуют слипанию и агрегированию частиц, т.е. способствуют их седиментационной устойчивости [9-11].

В наше время создание оптимального водоугольного топлива связано с поиском универсальных реагентов или их композиций, которые одновременно выполняли бы функции реагента, ингибитора, разжижителя и стабилизатора.

В работе был проведен анализ и поиск наиболее эффективных реагентов-пластификаторов ВУТ. Был изучен опыт использования следующих легкодоступных реагентов: желатина, карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), лигносульфоната (ЛСТ) и гумата натрия [10].

Применение в качестве стабилизатора гуминового препарата (гумата натрия) позволяет получить стабильное ВУТ с практически не изменяющимися во времени реологическими характеристиками. Стабильность ВУТ является максимальной при использовании от 1 % гумата натрия к массе угля (рис.3.).

Сырье для получения гумата натрия легко доступно (бурые угли, торфы, окисленные каменные угли, возможно применение осадочных илов водоочистных произ-

водств), технология получения является комплексной с низкими затратами на производство. Согласно требованиям к ВУТ, предназначенному к прямому сжиганию в котлоагрегатах, является важным определить вязкость полученного топлива, по значениям которой можно сделать выводы о его реологических характеристиках [12].

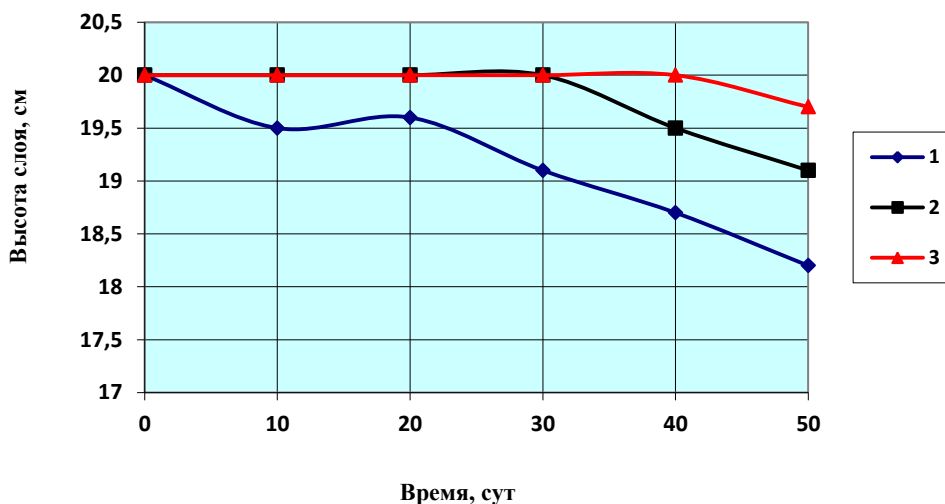


Рис. 3. Зависимость слоя дисперсной фазы от времени: 1 – 0,5% к массе угля; 2 – 1,0% к массе угля; 3 – 2,0% к массе угля

Выводы и предложения. Выполненный анализ технологий производства ВУТ показал, что указанным требованиям могут удовлетворять угли и угольные шламы марок Д и Г Донецкого бассейна, также пригодны угольные шламы марки СС. Запасы этих углей весьма велики, их себестоимость достаточно низка, что позволяет получить высокий экономический и экологический эффекты от использования этих топливных ресурсов в энергетике в рамках ресурсосберегающей концепции развития Украины.

Важной вехой в изменении экологической обстановки Украины является возможность утилизации угольных шламов и низкосортных угольных топлив, которые выполняют роль избыточных ресурсов и несут негативные последствия для экологии Украины. Предложенная технология производства водоугольного топлива на основе угольных шламов, позволяет реанимировать и сохранить природные ресурсы и обеспечить использование неликвидного топливного сырья в топливно-энергетическом комплексе Украины.

Из полученных данных видно, что наилучшими реологическими характеристиками обладает ВУТ с добавками гумата натрия (вязкость при скорости сдвига 100 с^{-1} не более $0,8 \text{ Па} \cdot \text{с}$). После весьма длительного хранения (более 30 суток) ВУТ постепенно сжималось с образованием рыхлых осадков, выделяя жидкую фазу, содержащуюся в его структуре. Предположительно, это результат коагуляционной перегруппировки частиц, число контактов которых очевидно увеличивается, что и приводит к сжатию ВУТ и «выжиманию» из него дисперсионной среды.

Повторные эксперименты анализа стабильности ВУТ показали, что стабильность с добавками ЛСТ и КМЦ снизилась. Тогда как, в ВУТ с добавкой гумата натрия ее значения остались неизменными.

В определенной степени ВУТ, приготовленное с добавкой гумата натрия, сохраняет существовавшую при его образовании внутреннюю структуру. Таким образом, механизм структурообразования данного ВУТ отличен от топлив приготовленных с другими добавками. Следовательно, в дальнейшем будет исследован характер процесса адсорбции реагента гумата натрия на поверхности угольного шлама.

При внедрении менее энергозатратных методов получения ВУТ, значение энергопотерь на транспортирование увеличивается, что обуславливает необходимость продолжить работы в указанном направлении, кроме этого следует обратить внимание на оптимизацию режимов работы нагнетателей с характеристиками гидротранспортной системы, что обеспечит дополнительную экономию гидроэнергетических ресурсов связанных с функционированием комплексной системы использования ВУТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экология и промышленность. // Ежеквартальный научно-производственный журнал. – 2013. – Вип. 2 (35), г. Харьков. – С. 15-21.
2. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. – № 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – 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).
3. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: ЧНУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
4. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції / О.В. Фомін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76
5. «Уголь». // Ежемесячный научно-технический и производственно-экономический журнал. – 12-2012. – Вип. 1041, г. Москва. – С. 48-54.
6. Производство и использование водоугольного топлива: підручник / В.Е. Зайденварг, К.Н. Трубецкой, В.И. Мурко, И.Х. Нехороший. – М.: Академия горных наук, 2001. – 176 с.
7. Требования для углей и угольных шламов марок Д и Г Донецкого бассейна [Электронный ресурс]. Угольная продукция – Режим доступа: <http://www.ueex.com.ua/rus/auctions/coal/manual>.
8. Клейн, М. С. Кинетическая модель процесса масляной агломерации / М. С. Клейн // Вестник Кузбасского Государственного технического университета. – К., 2003. – Вип. 6. – С.74-80.
9. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів / О.В. Фомін // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 6(83). – С. 87-91.
10. Мурко В.И. Научные основы процессов получения и эффективного применения водоугольных суспензий: дис. д-ра техн. Наук : 05.17.07 / Мурко Василий Иванович ; Новокузнецкое государственное научно-производственное предприятие «Экотехника». – Н., 1999. – 289 с. – Библиогр.: с. 172- 216.
11. Сергеев, П. В., Белецкий, В. С. Селективная флокуляция угольных шламов органическими реагентами: Монография / П. В. Сергеев., В. С. Белецкий. – Д. : Восточный издательский дом, 2010. – 240 с.
12. Делягин, Г. Н., Корнилов, В. В., Кузнецов, Ю. Д., Чернегов, Ю. А. Совершенствование водоугольного топлива и перспектива его применения / Г. Н. Делягин, В. В. Корнилов, Ю. Д. Кузнецов, Ю. А. Чернегов // Приложение к научно-техническому журналу «Экономика топливно-энергетического комплекса России». – М., 1993. – ВНИИОЭНГ. – С. 31.

Igor Baranov

(Senior Lecturer of Logistics Management and Traffic Safety Vehicle Department Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University)

IMPROVING COAL-WATER FUEL PREPARATION TECHNOLOGY

The proposed coal-water fuel production technology, based on the coal slurry, allows revive and conserve natural resources and ensure use non-liquid fuel feedstock in fuel

and energy complex of Ukraine. The analysis different ways crushing of coal in single cycle coal-water fuel production allowed us to determine least energy-intensive technology this fuel.

Summary processes preparation of coal-water fuel is coal grinding particles enriched oil agglomeration method, simultaneously with mixing them with water and reagent, a plasticizer in ball mill. Prepared coal sludge process are single-stage wet grinding in laboratory ball mill in presence of reagent-plasticizer. It was found that milling of large classes coal are continuously contents middle classes in initial period grinding is increased, and by the end grinding is markedly reduced. The content fine fractions in grinding process constantly increased. Consequently, speed of grinding is significantly affected by initial coal particle size. In an industrial environment are most effective wet grinding mill drum, such as rod and ball mills. Use as stabilizer humic preparation (sodium humate) gives stable suspension with substantially no time-changing rheological characteristics.

The article describes technology of preparation coal-water slurry of coal sludge Donets Basin, and provides method for improving properties coal-water slurries.

Object of the study – coal-water slurry of coal sludge Donets Basin. Purpose of the study – improvement technology for preparation of coal-water slurry through use effective methods grinding coal slurry and improve the properties coal-water slurries.

Method of the study – comparison, analysis and synthesis, synthesis, formalization, systematic approach.

The results can be used by scientific, engineering and management professionals involved in technology research and preparation of coal-water fuel combustion in boiler plants various enterprises in Ukraine. Forecast assumptions about the object of study – search for optimal preparation technology of coal-water slurries having desired properties use in power systems businesses.

Keywords: fuel, preparation, coal slurry, grinding, stability, properties, agglomeration.

REFERENCES

1. Ehkologiya i promyshlennost [Ecology and industry]. *Ezhkvartalnyj nauchno-proizvodstvennyj zhurnal – Quarterly Journal of Research and Production*, 2013, issue 2 (35), Kharkiv, pp. 15-21.
2. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building [Text]/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – 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)
3. Fomin, O.V. Konceptija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
4. Fomin, O.V. Pidvishhennja stupenja ideal'nosti vantazhnikh vagoniv ta prognozuvannja stadij ih evoljucii [Increased ideal freight cars and forecasting stages of their evolution] [Text] / O.V Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University. – Dnepropetrovsk: NSU, 2015. – №3. – P. 68-76 – Access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennja-stupenja-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
5. «Ugol» [Coal]. *Ezhemesyachnyj nauchno-tehnicheskij i proizvodstvenno-ehkonomicheskij zhurnal – Monthly scientific-technical and industrial-economic journal*, 12-2012, issue 1041, Moscow, pp. 48-54.
6. Zaidenvarg V.E., Trubetskoy K.N., Murko V.I., Nechoroshiy I.H. *Proizvodstvo i ispolzovanie vodougolnogo topliva* [Production and use of coal-water fuel]. – Moscow, Publishing house of the Academy of Mining Sciences., 2001. 176 p.
7. Trebovaniya dlya uglej i ugolnyh shlamov marok D i G Doneckogo bassejna (Requirements coal and coal slurries grades D and G of the Donets Basin). Ugolnaya produkcija – Coal production. Available at: <http://www.ueex.com.ua/rus/auctions/coal/manual>.

8. Klein M.S. Kineticheskaya model processa maslyanoj aglomeracii [Kinetic model of the process oil agglomeration]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Herald Kuzbass. state. tehn. Univ.], 2003, issue 6, pp. 74-80.
9. Fomin O.V. Teoretychni osnovy prohrannoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv / O.V. Fomin // *Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho»*. – Kremenchuk: KDPU, 2013. – Vyp. 6(83). – S. 87-91.
10. Murko V.I. *Nauchnye osnovy processov polucheniya i ehffektivnogo primeneniya vodougolnyh suspenzij* [Dokt. Diss. [Scientific bases of processes reception and effective use coal-water suspensions. Doct. Diss.]. Novokuznetsk, 1999. 289 p.
11. Sergeev P.V., Beletsky V.S. *Selektivnaya flokulyaciya ugolnyh shlamov organicheskimi reagentami* [Selective flocculation coal sludge organic reagents]. Donetsk, Vostochnyj izdatelskij dom Publ., 2010. 240 p.
12. Delyagin G.N., Kornilov V.V., Kuznetsov Y.D., Chernegov Y.A. Sovershenstvovanie vodougolnogo topliva i perspektiva ego primeneniya [Improving the coal-water fuel and prospect of its application]. *Prilozhenie k nauchno-tekhnicheskomu zhurnalu «Ekonomika toplivno-ehnergeticheskogo kompleksa Rossii»* [Annex to scientific and technical journal «Economics fuel and energy complex of Russia», 1993, issue VNIIOENG, p. 31.

УДК 372.853

Ю. Ф. Дубравін, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

Ю. В. Черняк, к.т.н., доцент

(завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

А. В. Фащевський

(завідуючий навчально-науковою базою «Київ-Волинський», здобувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту)

ВПРОВАДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

У статті розглянуто застосування комп'ютерних технологій при вивченні систем керування електрорухомого складу. Віртуальні комп'ютерні тренажери сприяють вдосконаленню освітнього процесу та є складовою частиною дослідницької бази кафедри. Авторами розроблено методичний підхід до використання комп'ютерних тренажерних технологій для дослідження та діагностики електромеханічних систем електрорухомого складу. Запропонований підхід сприяє вдосконаленню освітнього процесу, активізації навчальної діяльності та надає потужний інструмент для поглиблення наукових досліджень вузлів локомотивів.

Ключові слова: Система керування, ЕРС, імітаційне моделювання, пакет LabVIEW, тренінг, віртуальний лабораторний стенд, акустична діагностика.

В статье рассмотрено применение компьютерных технологий при изучении систем управления электроподвижного состава. Виртуальные компьютерные тренажеры способствуют совершенствованию образовательного процесса и является составной частью исследовательской базы кафедры. Авторами разработан методический подход к использованию компьютерных тренажерных технологий для исследования и диагностики электромеханических систем электроподвижного состава. Предложенный подход способствует совершенствованию образовательного процесса, активизации учебной деятельности и предоставляет мощный инструмент для углубления научных исследований узлов локомотивов.

Ключевые слова: Система управления, ЭДС, имитационное моделирование, пакет LabVIEW, тренинг, виртуальный лабораторный стенд, акустическая диагностика.

Характерною особливістю електрорухомого складу (ЕРС) нового покоління є використання безколекторного електроприводу та різноманітних за функціональним призначенням силових електронних перетворювачів [1-3]. Система керування (СУ) ЕРС включає в себе пристрої для перетворення електроенергії в силовому колі та пристрої управління, що здійснюють збір, обробку, передачу, збереження та відображення ін-

© Дубравін Ю. Ф., Черняк Ю. В., Фащевський А. В., 2016

формації, пов'язаної з роботою ЕРС і формування керуючих діянь на об'єкти регулювання. На сучасному ЕРС всі складові процесу управління та діагностики виконуються за допомогою мікропроцесорних систем управління і діагностики (МПСУ). Апаратура МСУД побудована на програмних принципах обробки інформації, що надходить від відповідних датчиків. Алгоритм і закони управління моделюються за допомогою пакетів програм, а функціональні блоки є чисто віртуальними, реалізованими програмно в МПСУ.

Розробка, модернізація і обслуговування сучасних СУ, МПСУ потребує відповідної теоретичної та практичної підготовки фахівців в галузі проектування і технічного обслуговування систем. Дієвим засобом інтенсифікації і підвищення продуктивності при підготовці спеціалістів є комп'ютерне моделювання на основі дослідницьких математичних моделей, що забезпечує дослідження усталених і динамічних режимів роботи систем та їх візуалізацію.

Розвиток сучасний інформаційних технологій дозволяє створювати найбільш наочні методичні посібники для навчання студентів, посібники по вивченню найбільш складних тем, коли студенту заочної форми навчання, важко зрозуміти суть за допомогою паперового опису, таблиць та схем.

Для дослідження і проектування електронних компонентів силової та мікроелектронної техніки, моделювання СУ добре зарекомендували себе прикладні математичні комп'ютерні пакети у вигляді імітаційного та аналітичного моделювання. Найпоширенішими серед цих пакетів є OrCAD, MatLab, LabVIEW, Multisim, Mathcad.

Комп'ютерне моделювання та комп'ютерні тренажери із використанням віртуального середовища виконують функції потужних інструментів при проведенні наукових досліджень та в навчальному процесі. Широкі функціональні можливості та інформативність віртуальних тренажерів дають змогу забезпечувати візуальне спостереження в процесі дослідження, виконувати гармонічний аналіз струмів та напруг в електричному колі, змінювати керуючі та збурні діяння на автоматизовані СУ, аналізувати та візуально контролювати динамічні характеристики системи. Віртуальні комплекси, призначені для навчального процесу можуть бути також складовою частиною дослідницької бази кафедри. Використання комп'ютерних тренажерів дає змогу створювати лабораторні навчально-дослідницькі комплекси у відповідності із сучасним станом розвитку техніки та адаптувати фахівців до сучасних вимог європейського рівня. Особливістю комп'ютерних тренажерних технологій є використання в них віртуального навколишнього середовища. Віртуальні лабораторії застосовуються при проведенні експериментальних досліджень на ЕОМ, розширюють можливості дистанційного навчання і дозволяють частково згладити існуючу проблему матеріально-технічного забезпечення учбового процесу. Віртуальні учбово-дослідницькі тренажери можуть використовуватися не тільки в лабораторному практикумі, але і в курсовому і дипломному проектуванні, в науково-дослідних роботах студентів.

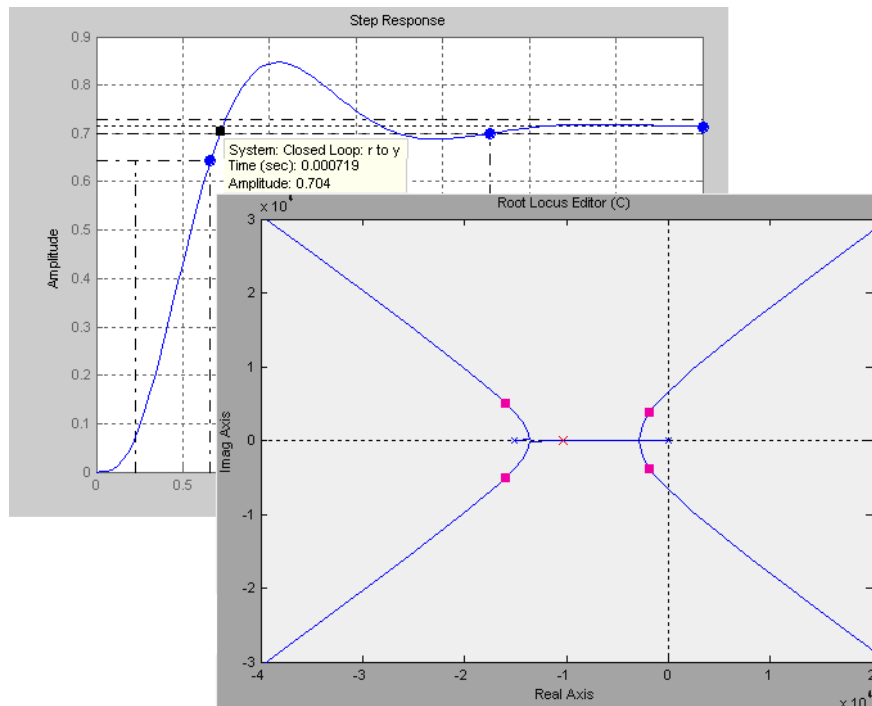
Актуальним є впровадження тренажерів в наступних напрямках:

- при дослідженні впливу СУ ЕРС на гармонічний склад та якість струму в контактній мережі;
- при аналізі залежності коефіцієнта потужності ЕРС від алгоритму керування вхідного чотириквadrантного перетворювача;
- при дослідженні роботи автономного інвертора напруги (АІН) при різних алгоритмах керування;
- при вивченні законів регулювання напруги та частоти АСД;
- при дослідженні динамічних характеристик САУ;
- при дослідженні цифрових систем управління та їх характеристик;
- при дослідженні функціонування системи імпульсно-фазового управління;

- при виконанні тягових розрахунків, дослідженні тягових і гальмівних характеристик поїзда та ін.

Шляхом змін та доповнень у структурі тренажера окремих програмних модулів можна виконувати дослідження також СУ електровозів змінно-постійного та постійного струмів з колекторним електроприводом постійного струму. Модульна структура тренажера та автономність окремих математичних модулів дає змогу виконувати дослідження в цілому систем та їх складових.

Незамінним інструментом моделювання і дослідження систем ЕРС є математична матрична лабораторія MATLAB [4]. Задача розширення системи вирішується за допомогою спеціалізованих пакетів (Toolbox) прикладних програм для рішення специфічних задач науки і техніки. Пакет Control System призначений для моделювання, аналізу і проектування як безперервних, так і дискретних систем автоматичного управління і регулювання. Функції пакета реалізують методи дослідження динамічних систем з використанням передавальних функцій. Це дає змогу обчислювати і відображати у вигляді графіків і діаграм частотні та часові характеристики типових динамічних ланок, досліджувати системи із запізнюванням, досліджувати стійкість та точності регулювання лінійних систем, будувати кореневий годограф автоматизованих СУ (рис. 1), виконувати синтез замкнутих САР.



**Рис. 1. Фрагменти синтезу САР: перехідна характеристика та кореневий
годограф замкнутої САР**

Потужним інструментом моделювання і впровадження САПР при виконанні дослідницьких робіт, курсових і дипломних робіт є програмна система Simulink, інтегрована з MATLAB і створена для моделювання динамічних систем та пристроїв, заданих у вигляді блоків [5]. На основі принципів візуально-орієнтованого програмування Simulink дає змогу виконувати моделювання складних систем з високим рівнем достовірності і зручними засобами відображення результатів. Для створення моделі викорис-

товується бібліотека блоків, що містить необхідний набір блоків для виконання математичних операцій, лінійних та нелінійних елементів, блоків задання сигналів, блоків прийому та відображення сигналів та ін. Інтерфейс пакету використовує інструментальний засіб LTI-Viewer програмного пакету Control System.

На рис. 2 показана схема моделі для дослідження реакції САР на одиничний скачок. Система Simulink має досить широкий набір стандартних блоків для моделювання, а у випадку відсутності необхідного блока можна за допомогою S -функцій створювати опис блоків будь-якої складності. Пакет розширення SimPower System Blockset MATLAB досить зручний при моделюванні СУ ЕРС в цілому та окремих електронних та електромашинних перетворювачів.

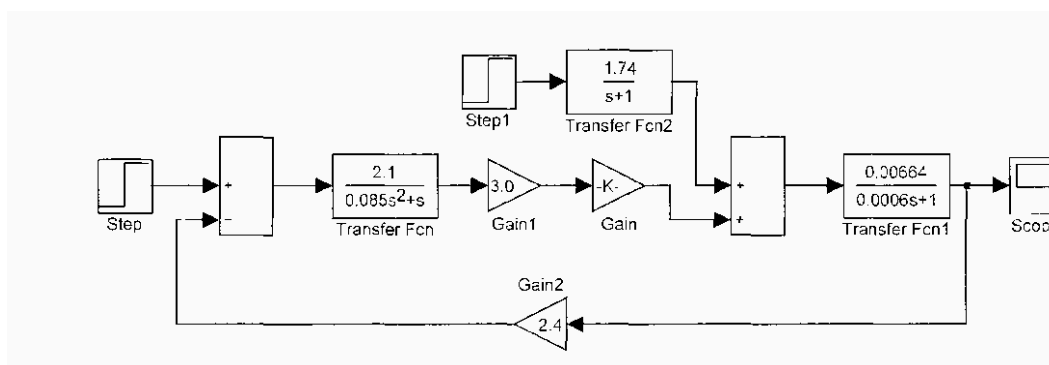


Рис. 2. Схема моделі електропривода

В пакет входять бібліотеки практично всіх необхідних для моделювання пристроїв починаючи від енергетичної електроніки, електричних машин до різноманітних джерел живлення та вимірювальних і контрольних пристроїв. Віртуальні моделі MATLAB є продуктом готових рішень і користувач може не володіти прийомами програмування. Але важливо навчитись створювати нові моделі, використовуючи стандартні алгоритмічні та програмні засоби.

Віртуальні моделі електронних та електромашинних перетворювачів, що входять до складу бібліотеки блоків SimPower System при моделюванні систем ЕРС потребують в більшості випадків суттєвих змін і доповнень.

Справжня потужність MATLAB стосовно моделювання, аналізу і синтезу СУ полягає в можливості багаторазового виконання послідовності команд, записаних у вигляді М-файлів, одним із видів яких є скрипт. Скрипт являє собою послідовність інструкцій і функцій, що використовуються на рівні командної строчки. Скрипт визивається також на рівні командної строчки шляхом введення імені файла. Кожен скрипт може визивати також інші скрипти. При зверненні до скрипта зразу починається виконання інструкцій і обчислення функцій, що входять у файл.

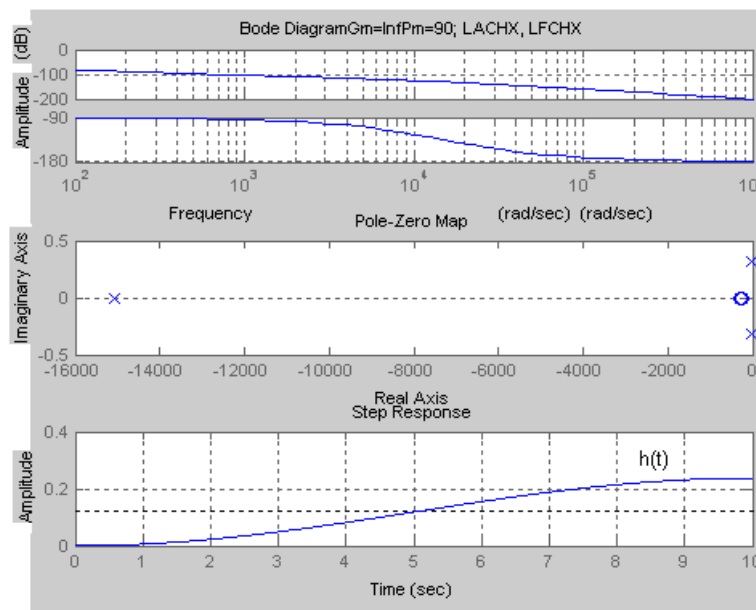
СКРИПТ СИНТЕЗУ САР СТРУМУ ТЕД

Передавальна функція нелінійного елемента – W1;
передавальна функція ланки інтегрування – W2;
передавальна функція управляючого елемента – W3;
передавальна функція ВПІ – W4;
передавальна функція ТЕД – Wд;
передавальна функція датчика струму – W8;

передавальна функція розімкнутої системи – W_p ;
передавальна функція замкнутої системи – W_z ;
Вхідні дані для розробки САР:
 $U_2=50$; $r=0.1$; $L=0.01$; $k_8=8.4$; $\alpha=0.17$; $k_1=1$; $k_2=1.1$; $k_3=2.1$; $m_j=3.826$; $N=1050$;
 $D_k=1.2$; $p_1=3$; $k_6=3.14 \cdot 10^{-3}$;
Передавальний коефіцієнт ВП $k_4=(2 \cdot \sqrt{2}) \cdot U_2 \cdot \sin(\alpha) / \pi$,
Передавальний коефіцієнт ВП по збуренню',
 $k_{14}=(2 \cdot \sqrt{2}) \cdot (1 + \cos(\alpha)) / \pi$, $c_1=(m_j \cdot p_1 \cdot N) / (3.6 \cdot \pi \cdot D_k)$;
 $k_5=1/r$; $k_6=3.14 \cdot 10^{-3}$; $k_7=c_1 \cdot V_0$;
Параметри електродвигуна: $T_5=L/r$; 'постійна часу електродвигуна, с.', $T_g=T_5/(k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 + 1)$;
коефіцієнт передачі електродвигуна', $k_g=k_5/(k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 + 1)$,
Передавальна функція САР в розімкнутому стані
 $W_p(p)=k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_d \cdot k_8 / [p(T_g \cdot p + 1)(T_8 p + 1)] = k_p / [p(T_g + 1)(T_8 p + 1)]$,
Загальний коефіцієнт підсилення розімкнутої САР', $k_p=k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_g \cdot k_8$,
Передавальна функція ланки інтегрування W_2' , $\text{num}W_2=[1]$; $\text{den}W_2=[1 \ 0]$; $W_2=\text{tf}(\text{num}W_2, \text{den}W_2)$,
Передавальна функція ланки ТЕД', $\text{num}W_d=[k_g]$; $\text{den}W_d=[T_g \ 1]$; $W_d=\text{tf}(\text{num}W_d, \text{den}W_d)$,
Передавальна функція датчика струму
 $\text{num}W_8=[k_8]$; $\text{den}W_8=[1]$; $W_8=\text{tf}(\text{num}W_8, \text{den}W_8)$;
Передавальна функція розімкнутої САР без датчика струму' $k_{p0}=k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_g$;
 $W_p=\text{series}(k_{p0} \cdot W_d, W_2)$,
Передавальна функція розімкнутої САР з датчиком струму', $W_{pdc}=\text{series}(W_8, W_p)$,
 $\text{margin}(W_p)$,
Обчислення запасу по модулю і фазі: $[mag, phase, w]=\text{bode}(W_{pdc})$;
 $[G_m, P_m, W_{cg}, W_{cp}]=\text{margin}(W_{pdc})$;
 $\text{nyquist}(W_{pdc})$; %Побудова ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої САР: $\text{subplot}(3,1,1)$,
 $\text{bode}(W_{pdc})$; $\text{title}(['\text{Bode Diagram Wpk}', 'G_m=', \text{num2str}(G_m), 'P_m=', \text{num2str}(P_m)])$
Замкнута САР (в колі зворотнього зв'язку – датчик струму);
Передавальна функція замкнутої САР W_z' , $W_z=\text{feedback}(W_p, W_8)$
Обчислення запасу по модулю (дБ) – G_m та фазі (град.) – P_m замкнутої САР
 $[G_m, P_m, W_{cg}, W_{cp}]=\text{margin}(W_z)$;
Обчислення та побудова діаграми Боде (ЛАЧХ та ФЧХ) для некоригованої розімкнутої САР $\text{margin}(W_{pdc})$
 $\text{title}(['\text{Bode Diagram}', 'G_m=', \text{num2str}(G_m), 'P_m=', \text{num2str}(P_m)])$, $\text{xlabel}('Frequency (rad/sec)'), \text{ylabel}('Amplitude(dB)')$
Обчислення полюсів та нулів передавальної функції некоригованої САР 'Нулі передавальної функції W_z замкнутої некоригованої САР', $z=\text{zero}(W_z)$. 'Полюси передавальної функції W_z замкнутої некоригованої САР', $p=\text{pole}(W_z)$
Синтез САР за допомогою MATLAB. Пошук раціональної коригуючої ланки САР
Варіант 3. Корегування за допомогою пропорційно-інтегрально-диференційного (ПІД) регулятора
Корегуюча ланка з ПІД регулятором', $f_1=[0.004 \ 1]$; $f_2=[0.0033 \ 1]$;
 $\text{num}W_{kc3}=[15 \cdot \text{conv}(f_1, f_2)]$; $\text{den}W_{kc3}=[1 \ 0]$; $W_{pk3}=\text{tf}(\text{num}W_{kc3}, \text{den}W_{kc3})$
Передавальна функція корегуючого ПІД регулятор',
 $\text{num}W_{kc4}=[9.150 \ 1.1]$; $\text{den}W_{kc4}=[10]$; $W_{kc4}=\text{tf}(\text{num}W_{kc4}, \text{den}W_{kc4})$
Передавальна функція розімкнутої системи з послідовною коригуючою ланкою',
 $W_{kr}=\text{series}(W_p, W_{pk3})$;

```
Передавальна функція замкнутої системи з коригуючою ланкою,  
Wkz=feedback(Wkr,W8);  
Обчислення полюсів та нулів передавальної функції CAP  
Нулі передавальної функції Wkz коригованої CAP ', z=zero(Wkz)  
Полюси передавальної функції Wkz коригованої CAP ', p=pole(Wkz)  
годограф розташування полюсів та нулів замкнутої коригованої CAP subplot(3,1,2),  
pzmap(Wkz);  
перехідна характеристика замкнутої системи регулювання t=[0:0.001:5];  
subplot(3,1,3),step(Wkz,t);  
xlabel('Час t(c)'),ylabel('h(t)')
```

В результаті виконання скрипта отримаємо розрахункові параметри CAP, необхідні динамічні характеристики та графіки функцій (рис. 3).



**Рис. 3. Логарифмічні частотні характеристики,
кореневий годограф та перехідна функція**

Широкі можливості для проведення досліджень і навчання студентів створює розробка і впровадження віртуальних приладів за допомогою візуально-графічної мови програмування LabVIEW [6]. Ця система широко використовується в учбовому процесі в багатьох провідних університетах світу та України [7]. У фундаментальній науці вона використовується в передових наукових центрах, а також у високотехнологічних науково-промислових корпораціях. Програмне забезпечення LabVIEW являє собою достатньо гнучкий і модульний інструмент, що дозволяє створювати віртуальні моделі, проводити точні вимірювання, починаючи від збору даних, до виводу результатів.

Мобільні віртуальні комплекси з математичними моделями, реалізованими засобами пакету LabView, створюють умови для поглиблення наукових досліджень режимів роботи ЕРС, проведення діагностики вузлів безпосередньо в умовах виробництва, оперативно отримувати і обробляти результати моделювання та видавати рекомендації по удосконаленню системи утримання локомотивів.

Поряд з віртуальними модулями необхідно також досліджувати характеристики реального обладнання (чотириквadrантні перетворювачі, АІН, АСД, комутаційна апаратура, датчики). При цьому тренажер з'єднується через пристрій стикування з відповідним реальним пристроєм. Програмно-апаратна підтримка тренажера, створена за допомогою пакету LabVIEW, виконує при цьому роль зовнішньої оболонки, через яку здійснюється введення початкових даних, відображення результатів вимірювання, введення сигналів управління та аналіз результатів розрахунку.

Комп'ютерні технології збору даних з модулем введення/виведення сигналів з використанням пакету LabView, датчиків, виконавчих пристроїв і об'єктів – традиційний підхід при створенні учбової та науково-дослідної бази. При цьому апаратно-програмний комплекс може включати в себе не тільки віртуальні, але й реальні електромеханічні об'єкти з інформаційними колами управління та вимірювання вихідних координат. Обмін інформацією між ЕОМ та об'єктом здійснюється через модуль введення/виведення сигналів. Такий комплекс необхідний для проведення лабораторних робіт по дослідженню динамічних характеристик систем автоматичного управління, характеристик електроприводів з фазовим та частотним регулюванням, автоматизованих цифрових систем управління ЕРС та ін.

Методи акустичної діагностики потребують перетворення акустичного сигналу, прийнятого від контрольованого вузла, в електричну форму за допомогою датчиків, запису аналогового сигналу в цифровий код, відтворення сигналу у вигляді амплітудно-часової залежності. Обробка записаних сигналів включає аналіз скануванням за часом, формування амплітудного спектру з використанням перетворення Фур'є на різних ділянках сигналу, порівняння спектрів і так далі. Середовище LabVIEW надає широкий спектр можливостей для обробки даних акустичної діагностики. При цьому користувач отримує коректний і точний аналіз даних.

Інструментарій обробки та реєстрації сигналів включає широку номенклатуру багатофункціональних плат та модулів введення/виведення компаній «National Instruments», «ХОЛИТ™ ДЭЙТА Системс», «Arduino Software» та ін.

Апаратна обчислювальна платформа Arduino об'єднує в собі усі основні функції необхідні для роботи в режимах збору і збереження даних. Перевага плат Arduino перед аналогічними платформами – відносно невисока ціна і масове поширення серед аматорів і професіоналів робототехніки і електротехніки. У лінійці пристроїв Arduino в основному застосовуються мікроконтролери Atmel AVR, ATmega328, ATmega168, ATmega256, ATmega324 з тактовою частотою 16 або 8 МГц.

Використання функцій LabVIEW при обробці сигналів, аналізі коливань спрощує процес, економлячи час, сили і засоби на створення програми в графічному середовищі програмування, в порівнянні з текстовими мовами. Необхідно відмітити, що програмне середовище дозволяє візуально контролювати хід виконання програми і переміщення потоків даних між підприладами, що є безперечним плюсом при лабораторних дослідженнях і учбових цілях.

Засоби пакету LabView дозволяють організувати тренінг студентів з метою придбання навичок практичної роботи з електромеханічним обладнанням ЕРС і розуміння фізичних процесів, що відбуваються в системах.

Прикладом організації тренінгу студентів з якнайменшими фінансовими витратами на створення традиційного лабораторного практикуму є віртуальний лабораторний стенд для випробування тягових електродвигунів локомотивів в режимі взаємного навантаження (рис. 4).

Модель стенда включає в себе статичні вольтододатковий (ВДП) та лінійний (ЛП) перетворювачі, перший з яких компенсує електричні втрати, а другий – механічні та магнітні втрати в однотипних електромашинах М1, М2, що випробовуються. При

цьому електромашина М2 послідовно підключена до ВДП і працює в режимі генератора, а інша М1 – в режимі двигуна.

Основним елементом віртуального стенду є математична модель, що характеризує зміну струмів, магнітних потоків, обертальних моментів та кутової швидкості електричних машин.

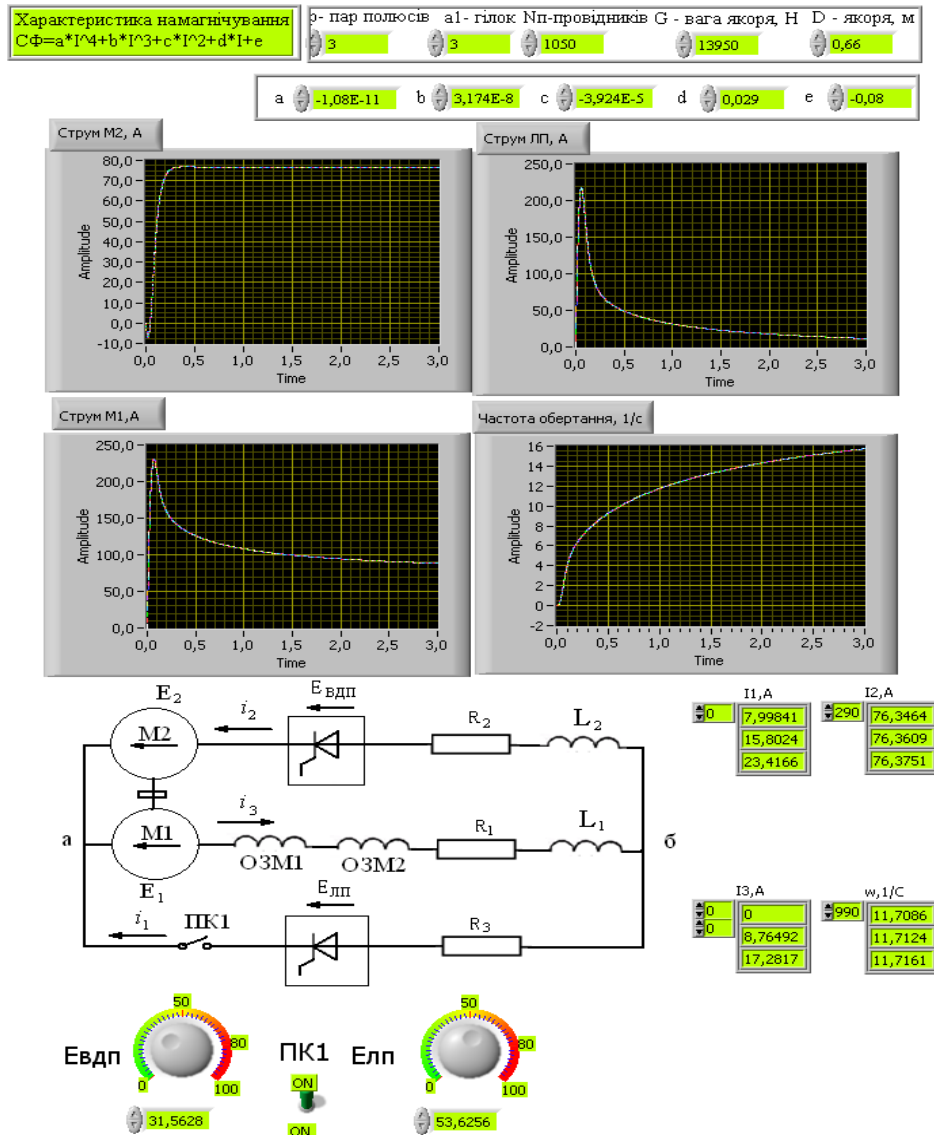


Рис. 4. Віртуальний стенд взаємного навантаження тягових двигунів

Випробування починається з перевірки працездатності зібраних машин при вимкненому ЛП. Струм ВДП i_2 протікає по колу машин М1, М2. Так як обмотки збудження обох машин увімкнені в загальне коло з М1, а вали машин з'єднані муфтою, то при однакових магнітних характеристиках їх обертові моменти рівні і протилежні. Зміна струму в колі при цьому

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{E_1 + E_{ВДП} + E_2 - i_2 R_1 + R_2}{L_1 + L_2},$$

де $E_{ВДП}$, E_1 , E_2 – відповідно ЕРС ВДП та машин М1, М2;

R_1 – опір якоря М1 та головних полюсів обох машин М1, М2;

R_2 – опір якорів М2 та ВД;

L_1 , L_2 – відповідно індуктивність кола машини М1 та кола ВДП з М2.

В режимі перевірки швидкісних характеристик, коли увімкнений контактор ПК1 і ЕРС ЛП перевищує ЕРС E_1 струм $i_1 > i_2$ починається обертання якорів машин. Перехідний процес зміни струму в колі описується системою рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{di_1}{dt} &= \frac{E_{ЛП} - E_1 - i_1 R_1 - i_3 R_3}{L_1}; \\ \frac{di_2}{dt} &= \frac{E_2 + E_{ВДП} - E_{ЛП} + i_3 R_3 - i_2 R_2}{L_2}; \\ i_2 + i_3 &= i_1, \end{aligned}$$

де i_1 , i_2 – відповідно струми в колі М1 та ЛП;

$E_{ЛП}$ – ЕРС ЛП;

R_2 – опір кола ЛП.

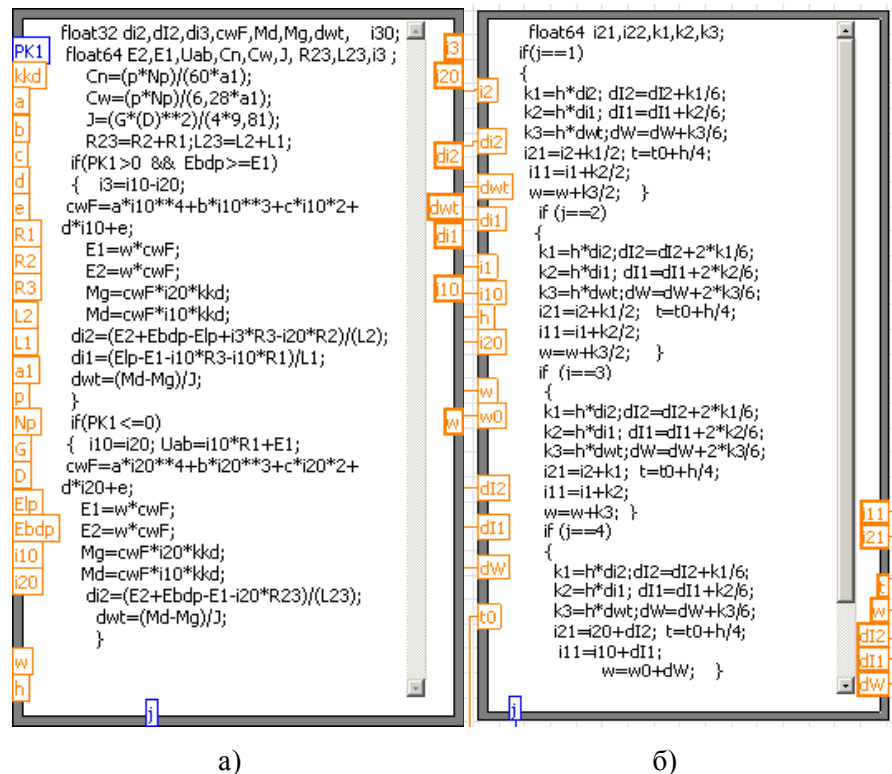


Рис. 5. Фрагменти реалізації математичної моделі (а–б) з використанням вузла «Формули»

Математична модель стенду реалізована засобами пакету LabView. Розрахунки по формулах виконуються з використанням конструкції Formula Node.

В одній конструкції (рис. 5.а) реалізується модель схеми стенду, а в другій (рис. 5. б) – рішення диференційних рівнянь методом Рунге-Кутта 4-го порядку з постійним кроком інтегрування. Конструкції Formula Node розміщені в подвійному циклі по завданню For Loop. Передача вихідних значень параметрів при кожній ітерації на входи наступної ітерації здійснюється за допомогою регістрів зсуву.

На фронтальній панелі віртуального стенду розміщені елементи управління, термінали a , b , c , d , e для корегування характеристик намагнічування електричних машин, введення конструкційних параметрів, управління виводом цифрових результатів та віртуальні прилади Waveform Graph.

Висновки. Комп'ютеризовані віртуальні лабораторні установки, вимірювально-діагностичні апаратно-програмні комплекси з реальними електромеханічними об'єктами та відповідним методичним забезпеченням дають змогу з найменшими фінансовими витратами організувати ефективний лабораторний практикум по циклах електротехнічних дисциплін та поліпшити дослідницьку базу кафедри. Запропонований підхід до вивчення систем ЕРС розширює можливості для самостійної роботи студентів в умовах зменшення кількості аудиторних занять, сприяє підвищенню якості засвоєння навчального матеріалу та вдосконаленню заочної форм навчання.

Віртуальні лабораторні стенди – незамінні ефективні інструменти при виконанні науково-дослідницьких робіт при кафедрі та на виробництві.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дорф Р. Современные системы управления / Р.Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ.Б.И. Копылова.– М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с. : ил.
2. Под ред. С. В. Покровского. Система управления и диагностики электровоза ЭП10 – М.: Интекст, 2009. — 356 с.
3. Плакс А.В. Системы управления электрическим подвижным составом. Учебник для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2005. – 360 с.
4. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. Серия «Библиотека профессионала»: – М.: СОЛЮН-Пресс, 2005.–576 с.
5. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
6. Трэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. 4-е издание, переработанное и дополненное – М.: Д М К Пресс, 2011. – 904 с.
7. Чорний О.П., Родькін Д.Й., Євстіфєєв В.О., Віртуальні лабораторні комплекси для навчального процесу і наукових досліджень. Інформаційно-технічний журнал ПИКАД, №4/2008. Тематичний випуск: «Современные технологии в образовании Украины».

Yuriy Dubravin, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Traction Rolling Stock of Railways Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

Yuriy Cherniak, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Head of Traction Rolling Stock of Railways Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

A. Faschevsky
(Head of educational and scientific base «Kyiv-Volyn», Researcher of Traction Rolling Stock of Railways Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

IMPLEMENTATION OF COMPUTER INFORMATION TECHNOLOGY IN THE
STUDY OF ELECTROMOTIVE ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

The article discusses the use of computer technology in the study of electromotive control systems. Virtual Computer simulators help improve the educational process and is part of the research base of the chair. The authors developed a methodical approach to simulator using computer technology for research and diagnosis of electromechanical systems electromotive.

Computerized virtual laboratory setup, measurement and diagnostic hardware and software systems with real objects and corresponding electromechanical methodological support enable the lowest financial cost to organize an effective laboratory practice cycles electrical disciplines and improve the research base of the chair. The approach to the study of EMF expanding opportunities for independent work in terms of reducing the number of classes, improves the quality of learning and improving distance learning.

The use of multimedia technology contributes to the improvement of the educational process, enhance training and provides a powerful tool to deepen the research units of locomotives.

Virtual laboratory models – essential tools effective at performing research work at the department and in the workplace.

Keywords: electromotive control systems, electromechanical systems, virtual laboratory, multimedia technology.

REFERENCES

1. Dorf R. Modern control systems. Translation from English B.I. Kopilova. – Moscow.: Laboratory of Basic Knowledge, 2002. – 832 p.
2. Pod red. Pokrovscogo. The control system and diagnostics of an electric locomotive EP10 – Moscow.: Intertekst, 2009. — 356 p.
3. Plaks A.V. Control systems of electric rolling stock. Textbook for high schools railway transport. – Moscow.: Marshryt, 2005. – 360 p.
4. Dikonow V.P. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 in mathematics and modeling. «Library professional» series: – Moscow.: SOLON-Press, 2005.–576 p.
5. Chernux I.V. Simulation of electrical devices MATLAB, SimPowerSystem and Simulink. – Moscow.: DMK Press; SPb.: Piter, 2008. – 288 p.
6. Trevis Dj., Kring Dj. LabVIEW for all/ – Moscow.: DMK Press, 2011. – 904 p.
7. Chorny O.P., Rodkin D.I., Evstifeev V.O., Virtual laboratory facilities for studies and research. Information technology magazine PyKAD, №4/2008. Special Issue: «Modern technologies in education of Ukraine».

УДК 629.4.015

Ю. В. Щербина

(магістр факультету «Інфраструктура і рухомий склад залізниць» спеціальності «Вагони і вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЯКОСТЕЙ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА ПРИ ЗМІНІ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ РОЗМІЩЕННЯ СИСТЕМИ ДЕМПФІРУВАННЯ ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У статті представлені дані проведених досліджень з визначення впливу наявності в конструкційній схемі гасителів коливань в буксовій ступені підвішування на ходові якості пасажирського вагона швидкісного руху на візках з безколісковим підвішуванням.

На базі комп'ютерної моделі динаміки пасажирського вагона для швидкісного руху в програмному комплексі «Универсальный механизм» виконанні розрахунки динамічних показників вагона

Ключові слова: система демпфірування пасажирського вагона, комп'ютерна модель вагона, гасителі коливань, коефіцієнт демпфірування.

В статье представлены данные проведенных исследований по определению влияния наличия в конструкционной схеме гасителей колебаний в буксовой ступени подвешивания на ходовые качества пассажирского вагона скоростного движения на тележках с безколесным подвешиванием. На базе компьютерной модели динамики пассажирского вагона для скоростного движения в программном комплексе «Универсальный механизм» выполнены расчеты динамических показателей вагона.

Ключевые слова: система демпфирования пассажирского вагона, компьютерная модель вагона, гасители колебаний, коэффициент демпфирования.

Вступ. Запровадження швидкісних пасажирських перевезень, а саме руху поїздів зі швидкостями 160 – 200 км/год, належить до пріоритетних завдань розвитку залізниць України. В значній мірі успіх організації швидкісних перевезень залежить від технічних характеристик рухомого складу [1-3], що значною мірою визначається конструктивними схемами і параметрами ходових частин. З огляду на досягнутий рівень теоретичних досліджень динамічних процесів, які супроводжують рух рейкового рухомого складу, оцінку показників динаміки швидкісного пасажирського рухомого складу та його взаємодії з колією доцільно виконувати з залученням сучасних засобів комп'ютерного моделювання [1, 6, 7]. Рациональні параметри ресорного підвішування ходових частин пасажирського вагона визначаються за результатами математичного моделювання. Візки швидкісних пасажирських вагонів переважно виконуються за конструкційними схемами, що передбачають реалізацію двоступеневого ресорного підвішування.

© Щербина Ю. В., 2016

Перша (буксова) ступінь підвішування виконується у вигляді пружинних комплектів з паралельним включенням гідравлічних гасителів коливань. У другому ступені у якості пружних елементів використовуються комплекти гнучких пружин або пневморесори. Для демпфірування вертикальних і горизонтальних поперечних коливань надресорної будови відповідно встановлюються гідравлічні гасителі коливань, які є одними з визначних елементів динамічної системи вагону. Динамічна поведінка вагона в значній мірі залежить від вибору конструкційної схеми системи демпфірування.

Відомо, що візки швидкісних вагонів Тверського вагонубудівного заводу перших партій виробництва були обладнані гідравлічними демпферами у буксовому підвішуванні. У подальшому, за рекомендаціями, розробленими за експериментальними даними, візки цього типу були модифіковані шляхом усунення буксових гасителів. Слід відзначити, що на візках російського виробництва моделі 68-4095 (68-4096), які експлуатуються при швидкостях руху до 160 км/год гідроамортизатори гасіння коливань в першій ступені відсутні, на відміну від вітчизняних візків моделі 68-7007 (68-7012).

З метою перевірки допустимості технічного рішення щодо позбавлення буксового підвішування швидкісних візків демпфірування коливань, засобами комп'ютерного моделювання проведено відповідну оцінку динамічних якостей вагона. При цьому розглянуто два розрахункових варіанти: 1 – коефіцієнт демпфірування буксового гасителя має номінальне значення, тобто $damp_bv=25000$ Нс/м; 2 – $damp_bv=0$ Нс/м, що відповідає випадку відсутності демпфера.

Постановка задачі. Пошук раціональних характеристик і оптимальних схем установки гасителів на візках пасажирських вагонів при підвищенні експлуатаційних швидкостей руху понад 160 км/ч для підвищення рівня комфорту пасажирів. Розрахункова оцінка динамічних якостей вагона при відсутності гасителів коливань в буксовій ступені підвішування з використанням розробленої комп'ютерної моделі пасажирського вагона швидкісного руху.

Методика і результати розробки. На базі пасажирського вагона швидкісного руху вітчизняного виробництва «Україна-2» в програмному пакеті ПК «УМ» за методом підсистем розроблена математична модель динаміки вагона [2-9]. Схематичне зображення моделі динаміки пасажирського вагона серії 788 представлено на рис. 1.

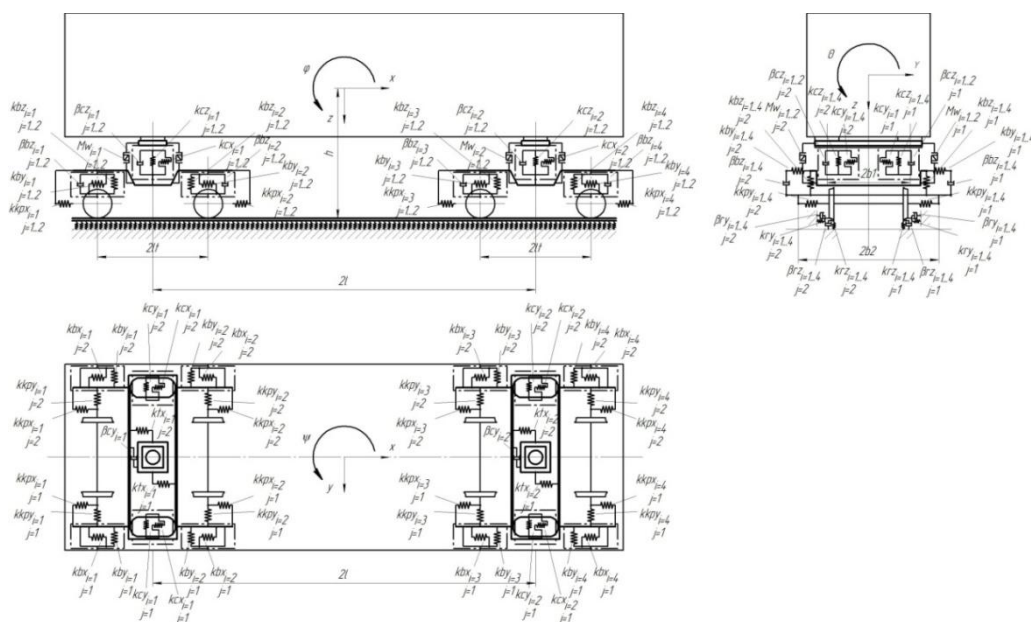


Рис. 1. Розрахункова схема пасажирського вагона

Структурно об'єкт «Пасажи́рський вагон» є цілісною системою, до складу якої входять окремі підсистеми твердих тіл, пов'язаних між собою шарнірними зв'язками і силовими елементами. Модель системи має три рівні (рис. 2): 1 – «Колісні пари з буксовими вузлами»; 2 – «Візок»; 3 – «Пасажи́рський вагон». Загальна модель містить тотожні підсистеми з еквівалентними ідентифікаторами масово-інерційних характеристик тіл, пружно-дисипативних властивостей, силових зв'язків.

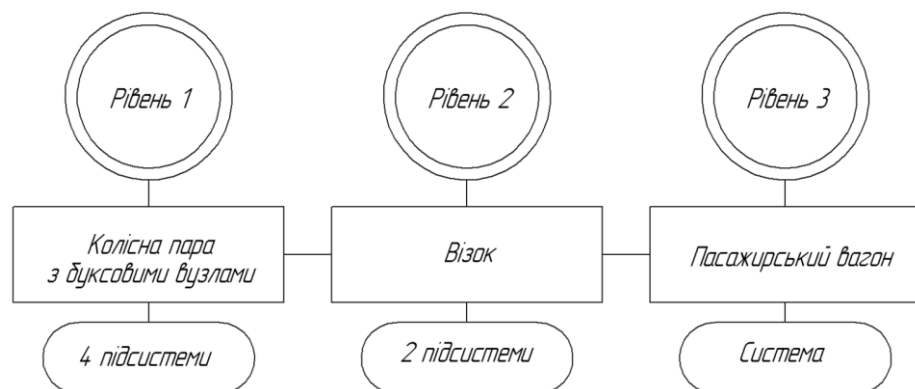


Рис. 2. Структурна схема моделі динаміки пасажирського вагона швидкісного руху

Підсистема «Колісна пара з буксовими вузлами» створена з двох твердих тіл – буксових вузлів, які за допомогою обертальних шарнірів з'єднані з колісною парою, що має шість степенів вільності. Загальний вигляд підсистеми показано на рис. 3.

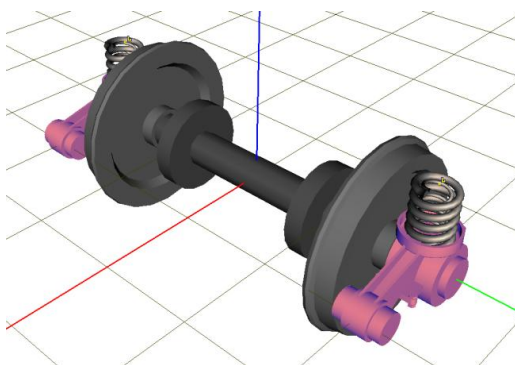


Рис. 3. Підсистема «Колісна пара з буксовими вузлами»

Буксове підвішування з важелем буксової підвіски, який обмежує горизонтальні і кутові переміщення колісних пар відносно рами візка (рис.4), представлено в моделі лінійними силовими елементами пружно-в'язкого типу, що відображають циліндричні пружини, та біполярними елементами, що відображають гідравлічні гасителі коливань. У моделі вони відображені лінійними силовими елементами пружно-в'язкого типу з встановленими параметрами жорсткості заданими за допомогою ідентифікаторів.

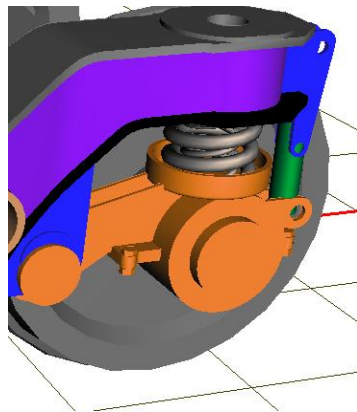


Рис. 4. Графічне зображення буксового підвішування вагона

Підсистема «Візок» складається з двох підсистем колісних пар з буксовими вузлами та рами візка, а також пружних елементів центрального підвішування і силових елементів – гасителів коливань, важелів буксового підвішування, торсійного пристрою (рис. 5).

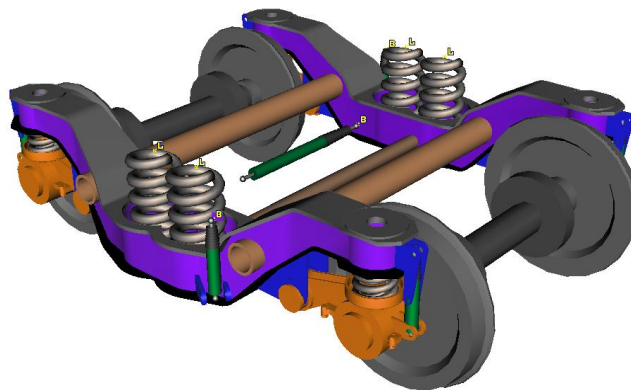


Рис. 5. Підсистема «Візок»

Система «Пасажирський вагон», графічний образ якої показано на рис. 6, сформована з 19-ти твердих тіл, 18-ти лінійних і 22-х біполярних силових елементів.

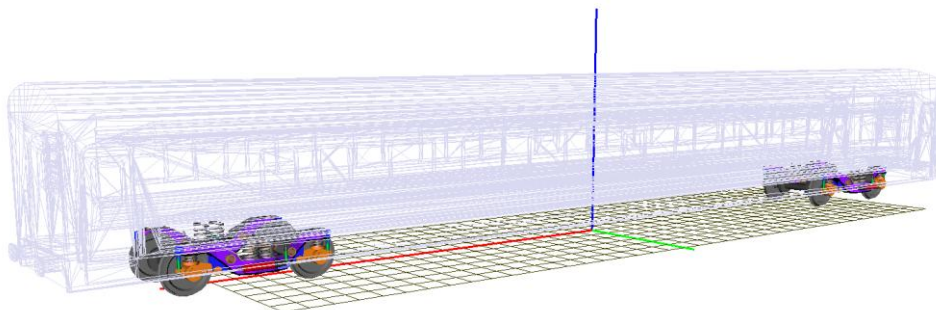


Рис. 6. Система «Пасажирський вагон»

Комп'ютерна модель динаміки швидкісного вагона містить 14 груп вихідних величин, до яких входять:

- бокові сили Y , що діють від коліс на рейкову колію (позначення « Fy_{ij} », де i – номер колісної пари; $i = 1 \dots 4$, j – ліве або праве колесо колісної пари, $j = l, r$);
- вертикальні сили Q , що діють від коліс на рейкову колію (позначення « Fz_{ij} », де i – номер колісної пари; $i = 1 \dots 4$, j – ліве або праве колесо колісної пари, $j = l, r$);
- рамні сили H , що діють від рами візка на колісну пару на (позначення « Hu_i », де i – номер колісної пари; $i = 1 \dots 4$);
- горизонтальні поперечні прискорення кузова вагона з урахуванням місць встановлення датчиків (позначення « ay ») за схемою (див. *рис. 7*);
- вертикальні прискорення кузова вагона з урахуванням місць встановлення датчиків (позначення « az ») відповідно до схеми (див. *рис. 7*);
- горизонтальні поперечні прискорення рами візка з урахуванням місць встановлення датчиків (позначення « ay ») згідно схеми розміщення датчиків (див. *рис. 7*);
- вертикальні прискорення рами візка з урахуванням місць встановлення датчиків (позначення « az ») за схемою розміщення датчиків (див. *рис. 7*);
- коефіцієнти вертикальної динаміки буксового ступеня підвішування;
- коефіцієнти вертикальної динаміки центрального ступеня підвішування;
- коефіцієнти запасу стійкості від сходу з рейок;
- коефіцієнти запасу стійкості від сходу з рейок (критерій Надаля);
- поперечні переміщення колісних пар вагона;
- горизонтальні і вертикальні нерівності рейкової колії.

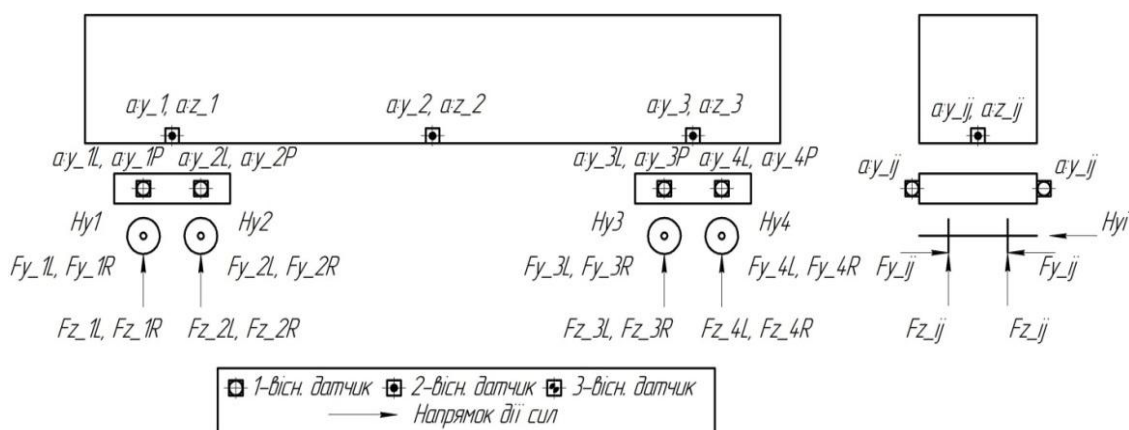


Рис. 7. Схема розміщення датчиків для визначення вихідних величин

За результатами дослідних розрахунків побудовані графіки залежностей середньоквадратичних відхилень (СКВ) сил взаємодії коліс і рейок, тобто сил Y і Q , а також прискорень рам візків і кузова.

На рисунках 8 – 9 приведено графіки СКВ сил контактної взаємодії Y і Q . Як видно з *рис. 8*, суттєві зміни в системі буксового підвішування стосовно демпфірування коливань практично не відображаються на бокових силах Y . Разом з тим, з порівняння даних розрахунків, представлених на *рис. 9* виходить, що відсутність сил в'язкого опору суттєво змінює залежності змін вертикальних сил Q . Так, якщо рівень цих сил поступово зростає з нарощуванням швидкості руху екіпажу з номінальними параметрами (*рис. 9, а*), то для конструкційного варіанту, що відповідає випадку відсутності буксових гасителів (*рис. 9, б*) рівень сил Q значно підвищується у швидкісному діапазоні 140-160 км/год.

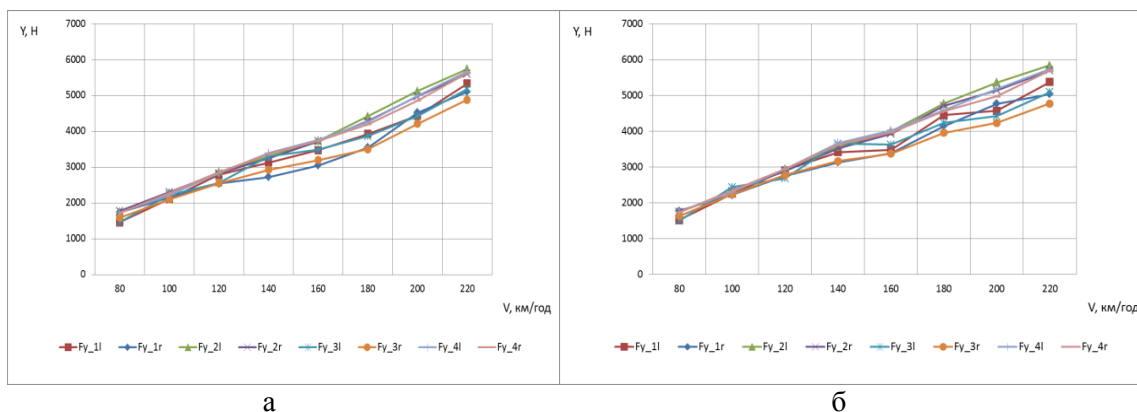


Рис. 8. СКВ горизонтальних сил взаємодії Y
а – при наявності буксових гасителів ($damp_{bv}=25000$ Нс/м);
б – при відсутності буксових гасителів ($damp_{bv}=0$ Нс/м)

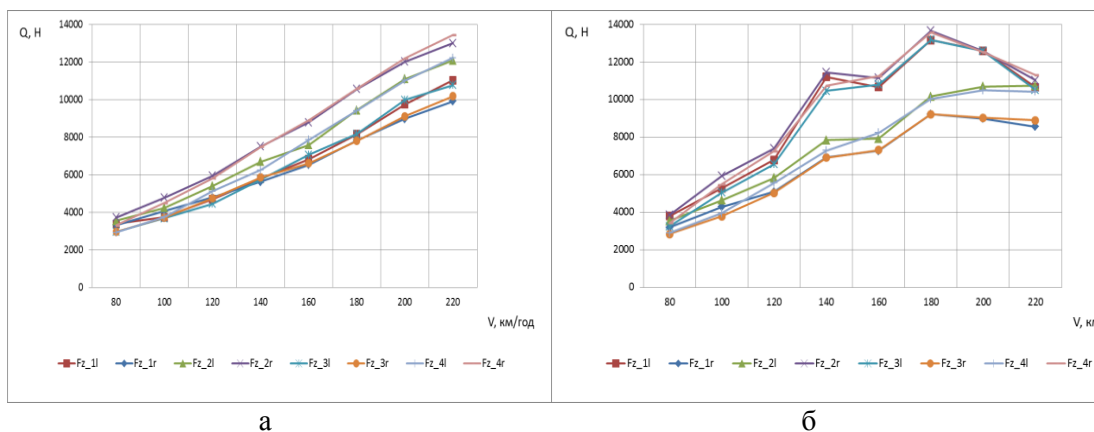


Рис. 9. СКВ вертикальних сил взаємодії Q
а – при наявності буксових гасителів ($damp_{bv}=25000$ Нс/м);
б – при відсутності буксових гасителів ($damp_{bv}=0$ Нс/м)

На рисунках 10 – 11 представлені графіки залежностей СКВ прискорень рам візків. В таблиці 1 наведено максимальні значення СКВ прискорень рам візків. В чисельнику приведено розрахункові дані для варіанту, коли параметр $damp_{bv}=25000$ Нс/м, а в знаменнику – дані, отримані при $damp_{bv}=0$ Нс/м.

Як видно з рисунків і даних таблиці 1, параметри демпфірування в буксовому підвішуванні істотно впливають на рівень вертикальних прискорень рам візків майже у всьому розрахунковому діапазоні швидкостей руху. Значно менше відзначається вплив цих параметрів на рівень горизонтальних прискорень (див. рис. 11).

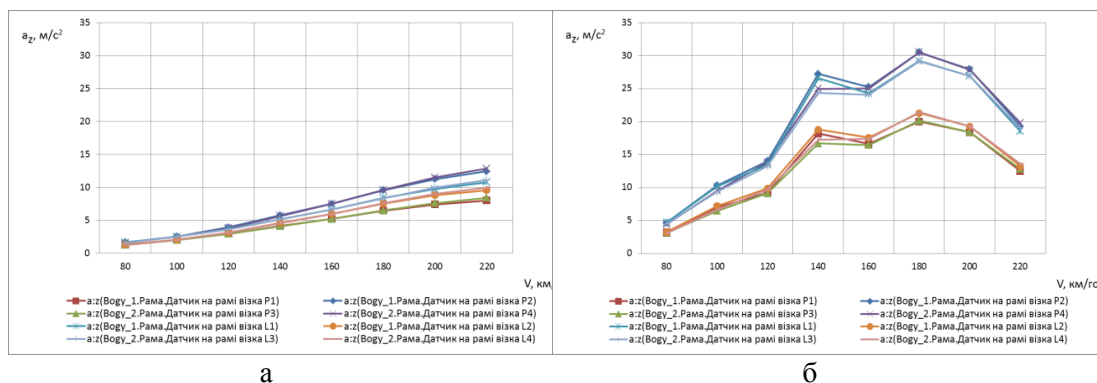


Рис. 10. СКВ вертикальних прискорень рам візків
а – при наявності буксових гасителів ($damp_{bv}=25000$ Нс/м);
б – при відсутності буксових гасителів ($damp_{bv}=0$ Нс/м)

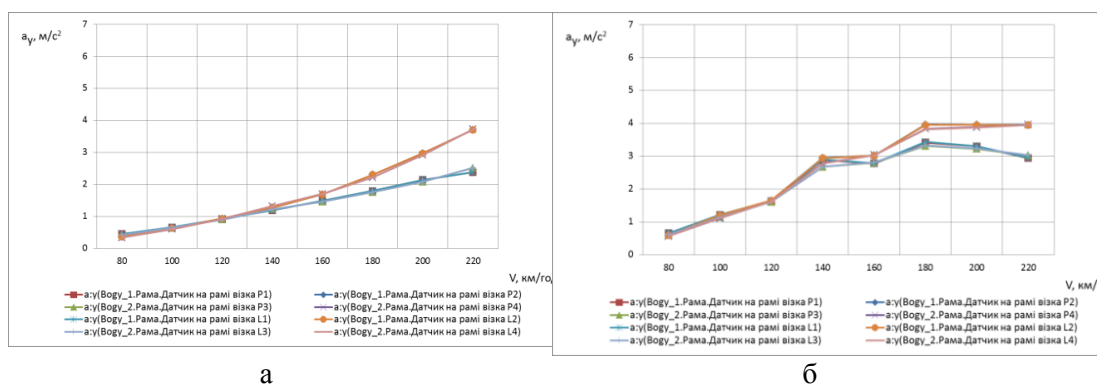


Рис. 11. СКВ горизонтальних прискорень рам візків
а – при наявності буксових гасителів ($damp_{bv}=25000$ Нс/м);
б – при відсутності буксових гасителів ($damp_{bv}=0$ Нс/м)

На рисунках 12 – 13 показано графіки залежностей СКВ прискорень кузова, отриманими за двома станами системи демпфірування в буксовому підвишенні. В таблиці 2 наведено максимальні значення СКВ прискорень кузова. Як і в таблиці 1, тут в чисельнику приведено розрахункові дані для варіанту, коли параметр $damp_{bv}=25000$ Нс/м, а в знаменнику – дані, отримані при $damp_{bv}=0$ Нс/м.

З приведених результатів розрахунків видно, що виключення з роботи буксових демпферів дещо підвищує рівень прискорень кузова.

Таблиця 1

Макс. СКВ прискорень рам візків	Швидкість руху, км/год							
	80	100	120	140	160	180	200	220
a_z , м/с ²	$\frac{1,63}{4,68}$	$\frac{2,52}{10,30}$	$\frac{3,89}{14,02}$	$\frac{5,74}{27,23}$	$\frac{7,50}{25,23}$	$\frac{9,60}{30,50}$	$\frac{11,48}{27,95}$	$\frac{12,84}{19,80}$
a_y , м/с ²	$\frac{0,45}{0,65}$	$\frac{0,66}{1,21}$	$\frac{0,93}{1,65}$	$\frac{1,32}{2,95}$	$\frac{1,70}{3,03}$	$\frac{2,30}{3,96}$	$\frac{2,97}{3,95}$	$\frac{3,72}{3,95}$

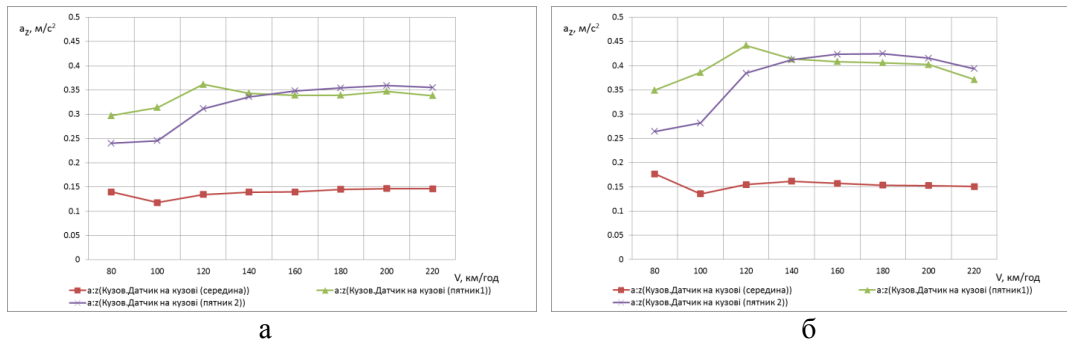


Рис. 12. СКВ вертикальних прискорень кузова
а – при наявності буксових гасителів ($damp_bv=25000$ Нс/м);
б – при відсутності буксових гасителів ($damp_bv=0$ Нс/м)

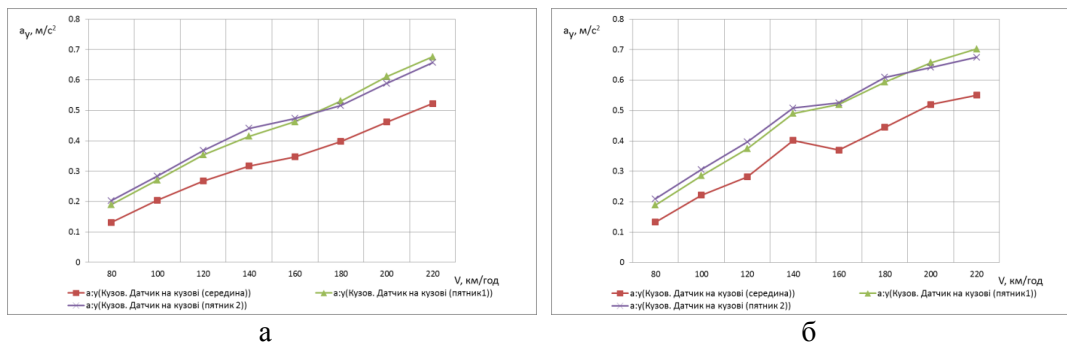


Рис. 13. СКВ горизонтальних прискорень кузова
а – при наявності буксових гасителів ($damp_bv=25000$ Нс/м);
б – при відсутності буксових гасителів ($damp_bv=0$ Нс/м)

Таблиця 2

Макс. СКВ прискорень кузова	Швидкість руху, км/год							
	80	100	120	140	160	180	200	220
a_z , м/с ²	0,30 0,35	0,31 0,39	0,36 0,44	0,34 0,41	0,35 0,42	0,35 0,42	0,36 0,42	0,36 0,39
a_y , м/с ²	0,20 0,21	0,28 0,31	0,37 0,40	0,44 0,51	0,47 0,52	0,53 0,61	0,61 0,66	0,68 0,70

Результати розрахунків показників плавності ходу при наявності і відсутності буксових демпферів представлені на рис. 14 – 15.

З рис. 14 видно, що відсутність демпфірування призводить до погіршення показників плавності ходу в горизонтальному напрямку при швидкостях руху вище 120 км/год.

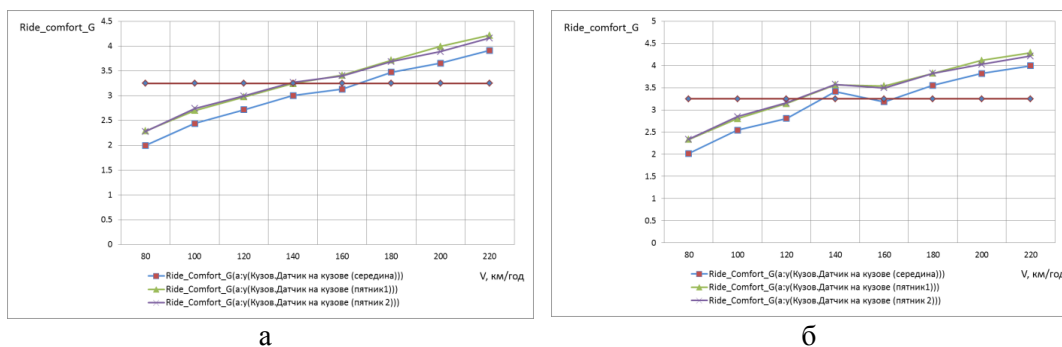


Рис. 14. Показники плавності ходу в горизонтальному напрямку
а – при наявності буксових гасителів ($damp_bv=25000$ Нс/м);
б – при відсутності буксових гасителів ($damp_bv=0$ Нс/м)

Як видно з рис. 15, при наявності буксових гасителів коливань достатня плавність ходу у вертикальному напрямку забезпечується впродовж всього дослідженого діапазону швидкостей руху, тоді як за відсутності гасителів коливань показники плавності ходу виходять на обмеження при швидкості 140 км/год.

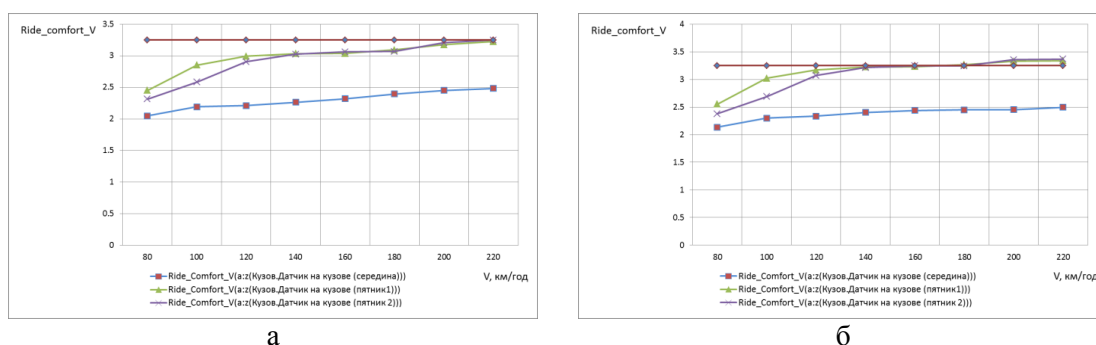


Рис. 15. Показники плавності ходу в вертикальному напрямку
а – при наявності буксових гасителів ($damp_bv=25000$ Нс/м);
б – при відсутності буксових гасителів ($damp_bv=0$ Нс/м)

Висновки. За результатами проведеної роботи встановлено наступне:

1. Рівень вертикальних сил контактної взаємодії коліс і рейок при конструкційно-модельному варіанті, що відповідає випадку відсутності буксових гасителів значно підвищується у швидкісному діапазоні 140-160 км/год.
2. При внесенні конструкційних змін, пов'язаних з вилученням гідравлічних гасителів буксового ступеня підвішування візка, на рамах візків виникають інтенсивні вертикальні коливання, а рівень СКВ прискорень рам візків при встановлених швидкостях руху $V = 80 - 220$ км/год підвищується в 2-4 рази, окрім того, виключення з роботи буксових демпферів дещо підвищує рівень прискорень кузова;
3. З аналізу розрахованих показників плавності ходу встановлено, що позбавлення першого ступеню ресорного підвішування демпфірування негативним чином позначається на плавності ходу як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках, за відсутності гасителів коливань показники плавності ходу виходять на обмеження при швидкості 140 км/год.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дёмин Ю.В., Черняк А.Ю. Математическое моделирование и динамика подвижного состава железных дорог // *Залізнич. транспорт України*. – 2007. – № 4. – С. 3-8.
2. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал*. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271
3. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції / О.В. Фомін // *Науковий вісник Національного гірничого університету*. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76
4. *Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)* ГосНИИВ — ВНИИЖТ, М., 1996. — 319 с.
5. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars / O.V. Fomin / *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*. 2014, No. 5 – P.31-43.
6. Совершенствование динамических качеств подвижного состава железных дорог средствами компьютерного моделирования / Михальченко Г.С., Погорелов Д.Ю., Симонов В.А. // *Тяжелое машиностроение*. — 2003. — №12. — С. 2-6.
7. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів / О.В. Фомін // *Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського»*. – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 6(83). – С. 87-91.
8. Базова комп'ютерна модель просторової динаміки пасажирського вагона для швидкісного руху / Г.Ю.Черняк, Ю.В. Щербина // *Залізничний трансп. України*. — 2012. — №6. — С. 55–58.
9. Черняк Г.Ю., Щербина Ю.В. Розробка математичної моделі динаміки пасажирського вагона в програмному комплексі «Універсальний механізм» // *Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції. Серія. «Техніка, технологія»*. – К.: ДЕТУТ, 2008. – С. 112.

Yuri Scherbina

(Student for Master Degree of the Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)

RESEARCH OF QUALITY OF PASSENGER WAGON CHANGES IN DESIGN LAYOUT BY MEANS OF DAMPING COMPUTER SIMULATION

The article presents the studies to determine the effect of the presence of a structural scheme of dampers in the axle-box level hanging on driving performance of high-speed passenger train on bogies without cradle suspension.

On the basis of a computer model of the dynamics of a passenger car for the high-speed service in the software complex «Universal mechanism» calculated the dynamic performance of the carriage.

Keywords: *damping carriage system, a computer model of the car, dampers, damping factor.*

REFERENCES

1. Diomin Yu, Chernyak G. Matematicheskoe modelirovanie i dinamika podvignogo sostava geleznihi dorogi // *Zalizn. Transport Ukraini*, 2007, No 4, P. 3-8.
2. Fomin, O.V. Konceptija ideal'nihi kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // *Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal*. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013, No 4 (193), pp. 267-271.
3. Fomin, O.V. Pidvishhennja stupenja ideal'nosti vantazhnihi vagoniv ta prognozuvannja stadij ih evoljucii [Increased ideal freight cars and forecasting stages of their evolution] [Text] / O.V Fomin // *Scientific Bulletin of National Mining University*. – Dnepropetrovsk: NSU, 2015, №3, P. 68-76 – Access:

<http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.

4. Normy rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh) s izmeneniyami i dopolneniyami [Norms calculating and designing railways carriages IPS gage railway 1520 mm (nesamohodnyh) s Changes and additions]. – HosNYVV – VNYYZHT. Moscow, 1996.

5. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5, P.31-43.

6. Sovershenstvovanie dinamicheskikh kachestv podvignogo sostava geleznykh dorog sredstvami komputernogo modelirovaniya / Mihalchenko G, Pogorelov D, Simonov V.// Tjageoe mashinostroenie. — 2003, No 12, P. 2-6.

7. Fomin O.V. Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv / O.V. Fomin // Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho». – Kremenchuk: KDPU, 2013, No. 6(83), S. 87-91.

8. Bazova komputernaja model proatorovoi dinamiki pasagirskogo vagona dlja shvidkysnogo ruhu / G. Chernyak, Yu. Scherbina // Zalizn. Transport Ukraini, 2012, No 6, P. 55–58.

9. Chernyak G., Scherbina Yu. Rozrobka komputernaja model proatorovoi dinamiki pasagirskogo vagona v programnomy kompleksi «Universalnij mehanizm» //Problemi ta perspektivi rozvitku transportnih system v umovah reformyvannja zaliznichnogo transportu: upravlinja, ekonomika s tehnologii: Materiali IV mignarodnoi naukovy-praktichnoi konferencii. Seria. «Tehnika, tehnologii», K.: DETUT, 2008, P. 112.

УДК 656:658.5

М. В. Володарець, к.т.н.

(ст. викладач каф. «Експлуатація та ремонт рухомого складу» Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків)

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ В ПРОЦЕСАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

В статті розглянута можливість застосування інформаційних технологій в системі технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів. Розглянуті особливості реалізації концепції безперервної інформаційної підтримки в процесах експлуатації транспортних засобів та запропонований механізм використання інтерактивних електронних технічних керівництв.

Ключові слова: транспортний засіб, інформаційні технології, життєвий цикл, технічне обслуговування і ремонт, інформаційна підтримка.

В статье рассмотрена возможность применения информационных технологий в системе технического обслуживания и ремонта транспортных средств. Рассмотрены особенности реализации концепции непрерывной информационной поддержки в процессах эксплуатации транспортных средств и предложен механизм использования интерактивных электронных технических руководств.

Ключевые слова: транспортное средство, информационные технологии, жизненный цикл, техническое обслуживание и ремонт, информационная поддержка.

Постановка проблеми. Ефективність діяльності транспортного підприємства в великій мірі залежить від того, як організовані й наскільки реалізовані сучасні принципи побудови системи технічного обслуговування й ремонту (ТОР) транспортних засобів.

Сьогодні у світовій практиці все ширше застосовуються автоматизовані системи керування ТОР з використанням інформаційних технологій (ІТ).

Хоча за кордоном активно використовуються сучасні методи організації ТОР, в Україні використання ІТ є вкрай обмеженим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обмежене використання ІТ в експлуатації транспортних засобів викликане низкою факторів, основні з яких наведені на рис. 1.

Оптимізація й удосконалювання системи ТОР є складним завданням, яке необхідно виконувати поетапно. При цьому варто накопичувати досвід експлуатації систем ТОР із включенням у них підсистем інформаційної підтримки, а також оцінювати адекватність застосовуваних методів.

Широке поширення у світовій практиці використання ІТ одержали так звані CALS-технології [1-4], які зараз розуміють як Continuous Acquisition and Life Circle Support (безперервна підтримка життєвого циклу виробів), стратегією якої є створення єдиного інформаційного простору (ЄІП). Але впровадження їх в повній мірі потребує низки досліджень.

© Володарець М. В., 2016



Рис. 1. Основні фактори, що впливають на рівень використання ІТ у системі TOP транспортних засобів
Джерело: авторська розробка

Мета статті – полягає у розгляданні можливості впровадження інформаційних технологій в системі технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Метою CALS є прискорення виводу на ринок нових зразків продукції, скорочення витрат на розробку, проектування й виробництво, скорочення витрат на підтримку в працездатному стані й поліпшення якості на всіх стадіях ЖЦ, де на початкових етапах застосовуються такі системи [4]:

CAE, (Computer Aided Engineering) – автоматизовані розрахунки й аналіз;

CAD, (Computer Aided Design) – система автоматизації проектних робіт;

CAM, (Computer Aided Manufacturing) – автоматизована технологічна підготовка виробництва.

Для вирішення проблем спільного функціонування компонентів (САПР) різного призначення використовуються системи керування проектними даними – PDM (Product Data Management).

Функції управління виробництвом і автоматизації бізнес-процедур покладено на системи:

ERP – планування і управління підприємством;

MRP-2 (Manufacturing Requirement Planning) – планування виробництва, MES (Manufacturing Execution System) - виробнича виконавча система;

SCM (Supply Chain Management) - управління ланцюгами поставок;

CRM - (Customer Relationship Management) – управління взаємовідносинами з замовниками;

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – диспетчерське управління і збір даних;

CNC (Computer Numerical Control) - комп'ютерне числове управління;

S&SM (Sales and Service Management) – управління продажами і обслуговуванням.

Взагалі існують два основні способи реалізації концепції безперервної інформаційної підтримки життєвого циклу виробу [5, 6].

Перший – уже згаданий раніше підхід CALS, в основі якого лежить SDE (Shared Data Environment – середовище спільно використовуваних даних), або єдиний інформаційний простір, побудований на застосуванні міжнародних стандартів вистави даних. Основним стандартом є ISO 10303 STEP. Статус міжнародного стандарту забезпечує дві дуже важливі властивості STEP: стабільність (стандарт переглядається приблизно раз у п'ять років, і нові версії не змінюють і не скасовують, а доповнюють старі) і загальнодоступність (необхідні для практичної роботи матеріали по стандарту або перебувають у вільному доступі в Інтернеті, або можуть бути куплені в офіційних органах стандартизації) (рис. 2).

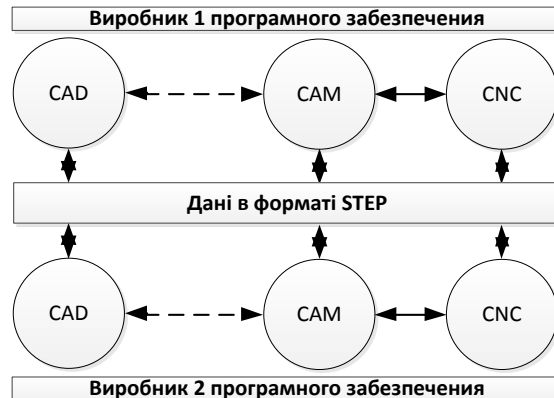
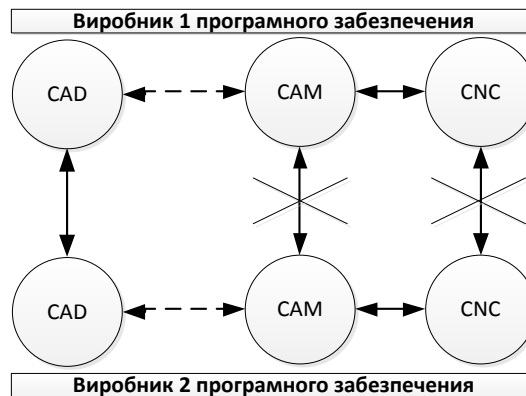


Рис. 2. Інтегровані можливості формату CALS
Джерело: на основі [6].

Другий підхід до автоматизації підприємства – це готові PLM-рішення (Product Lifecycle Management), які є комплексом САПР від одного виробника й, відповідно, не мають проблем з інтеграцією, тому що є єдиною системою (рис. 3).



*Рис. 3. Технологія безперервної комп'ютерної підтримки повного
ЖЦ виробу (PLM-технологія)*
Джерело: на основі [6].

Можна припустити, що використання PLM є більш вдалим рішенням, але воно включає можливість поступової й поетапної автоматизації (на рис. 3 проглядається основна виникаюча при цьому проблема – залежність користувача від програмних

продуктів одного виробника), а також не враховує наявний досвід співробітників по роботі з автоматизованими системами (крім того випадку, коли ці системи входять у комплекс систем PLM-рішень), і вимагає істотних грошових інвестицій. Із цієї причини багато транспортних підприємств віддають перевагу шляху поетапної автоматизації; втім, низка фірм здобувають поступово саме компоненти PLM-рішень з далеким прицілом на повноцінну реалізацію цього підходу.

На початковому етапі використання ІТ для систем TOP споживачеві необхідні тільки експлуатаційні дані про виріб. Тому як засіб доступу до ЄП доцільно використовувати не PDM-систему, а інтерактивні електронні технічні керівництва IETM (Interactive Electronic Technical Manuals), які являють собою структурований комплекс взаємозалежних технічних даних, призначений для видачі в інтерактивному режимі довідкової й описової інформації про експлуатаційні й ремонтні процедури, пов'язані з конкретним виробом.

IETM застосовуються для розв'язку широкого спектра завдань (рис.4) [7].

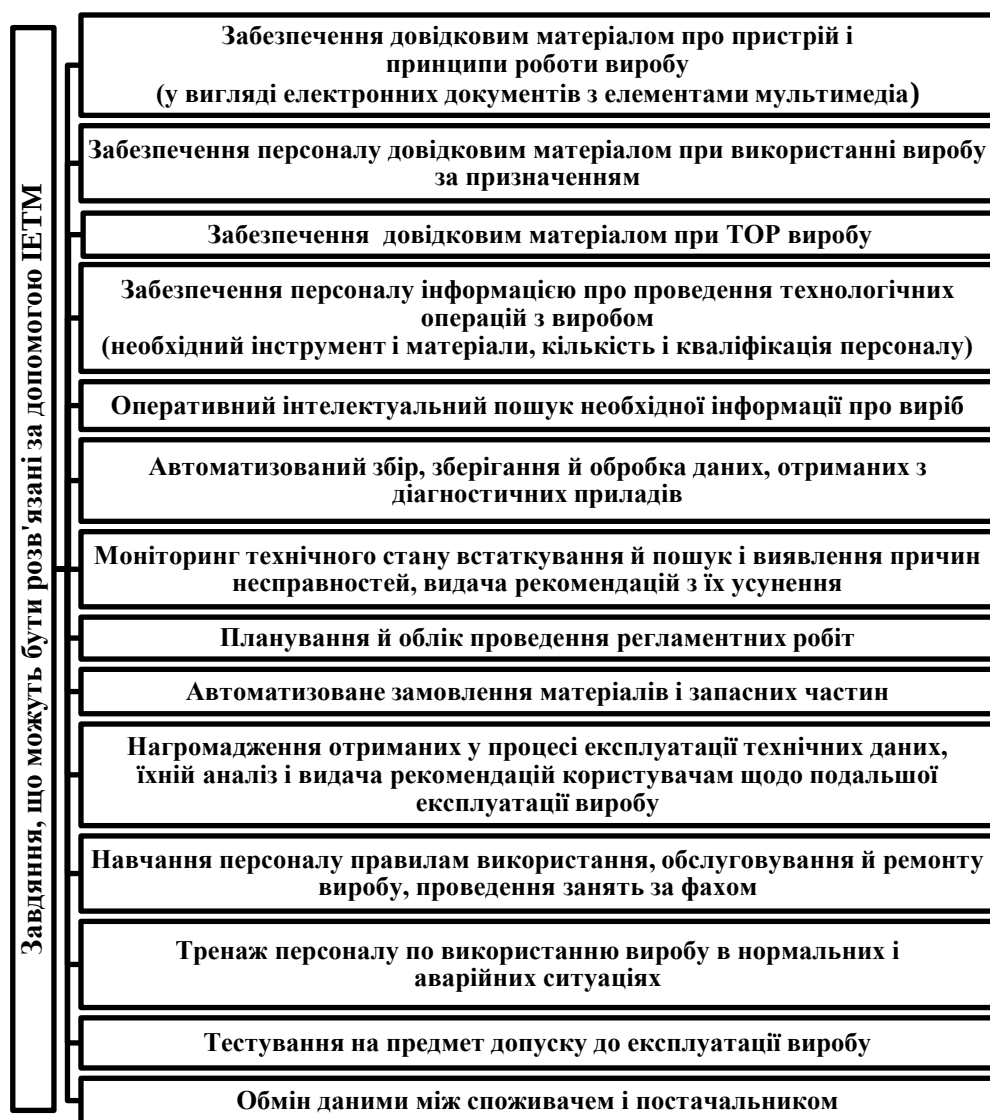
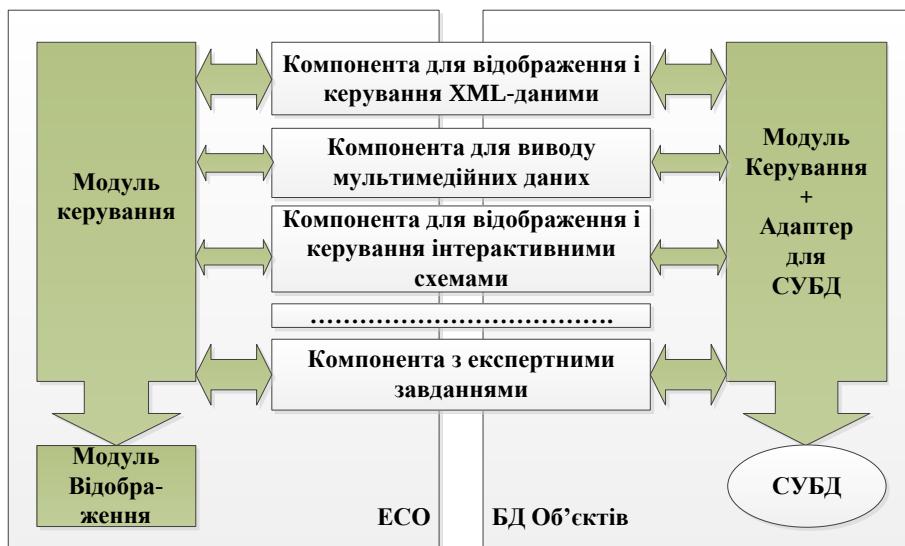


Рис. 4. Завдання, що можуть бути розв'язані за допомогою ІЕТМ
Джерело: на основі [7].

На рис. 5 наведено структурну схему ІЕТМ.

ІЕТМ містить у собі інтегровану базу даних і знань (ІБД), де зберігається вся інформація про виріб, і електронну систему відображення (ЕСВ) для візуалізації даних і забезпечення інтерактивної взаємодії з користувачем.

ІЕТМ є ефективною заміною традиційної документації на паперових носіях. Залежно від функціональності ІЕТМ, їх поділяють на 5 класів складності відповідно до вимог сучасних стандартів (на прикладі ГОСТ Р 54088-2010):



*Рис. 5. Завдання, що можуть бути розв'язані за допомогою ІЕТМ
Джерело: на основі [7].*

Клас ІЕТМ має велике значення, бо з його ростом збільшується функціональність і вартість.

За попередніми даними впровадження ІЕТМ на транспортних підприємствах дозволить знизити експлуатаційні витрати на ТОР на 5-20%.

Висновки та пропозиції. Розглянуто фактори, що впливають на можливість впровадження інформаційних технологій у системі технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів. Проаналізовано способи реалізації концепції безперервної інформаційної підтримки життєвого циклу виробу: CALS і PLM підходи. Запропоновано в якості засобу доступу до ЄП використовувати не PDM-систему, а інтерактивні електронні технічні керівництва ІЕТМ, бо на початковому етапі використання ІТ для систем ТОР споживачеві необхідні тільки експлуатаційні дані про виріб. Визначено, що впровадження ІЕТМ на транспортних підприємствах дозволить знизити експлуатаційні витрати на ТОР на 5-20 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шалумов А.С. и др. Введение в CALS-технологии [Текст] / А.С. Шалумов, С.И. Никишкин, В.Н. Носков : учеб. пособие. – Ковров : КГТА, 2002. – 137 с.
2. Балыбердин А. Использование CALS-технологий в морской деятельности [Электронный ресурс] / А. Балыбердин // Промышленник России. – 2007. – № 2. – Режим доступа: <http://www.calsnet.ru>.
3. Левин А. И., Судов Е. В. CALS - сопровождение жизненного цикла [Текст] // Открытые системы. – 2001. – № 3. – С. 31-36.

4. Волков, В.П. Особенности формирования жизненного цикла на основе CALS-технологий [Текст] / В.П. Волков, И.В. Грицук, В.Н. Павленко, Н.В. Володарец // Вестник ХНАДУ. – 2016. – Вып. 75. – С. 151-157.
5. Садовская, Т.Г. Системы управления жизненным циклом изделий и возможности их применения в отрасли энергетики [Текст] / Т.Г. Садовская, Т.Н. Чернышова // Аудит и финансовый анализ. – 2010. – № 6. – С. 328-341.
6. Шильников П. Путь НТЦ АПМ в единое информационное пространство [Электронный ресурс] / П. Шильников. – Режим доступа: <http://www.apm.ru/articles/05-02.htm>. – Загл. с экрана. – Проверено : 20.10.2016.
7. Интерактивные электронные технические руководства [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://neotech-marine.ru/ietr>. – Загл. с экрана. – Проверено : 20.10.2016.

Mykyta Volodarets

**(senior lecturer of the Department of of maintenance and repair of rolling stock,
Ukrainian State University of Railway. Transport)**

FEATURES OF IMPLEMENTATION OF CONCEPT OF CONTINUOUS INFORMATION SUPPORT FOR THE OPERATION OF THE VEHICLES

The efficiency of the transport company to a large extent depends on how organized and implemented modern principles of building systems maintenance and repair of vehicles. Was found that in Ukraine the use of information technology in service of vehicles is extremely limited. It examined factors that influence on it.

Optimization and improvement of system maintenance and repair is a complex task which must be performed in stages. It is necessary to accumulate operating experience of maintenance and repair with the inclusion of these subsystems information support, and is necessary to evaluate the adequacy applied methods. CALS-technologies are widely used in the world of information technology. It was analyzed ways to implement the concept of lifelong information support product life cycle: CALS and PLM approaches. It was proposed as a means of accessing unified information support not use PDM-cystemu and interactive electronic technical manuals IETM. It was found that the introduction of IETM in transport companies will reduce operating costs for maintenance and repair by 5-20%.

Keywords: vehicle, information technology, life cycle, maintenance and repair, information support.

REFERENCES

1. Shalumov A.S., Nikishkin S.I., Noskov V.N. Vvedenie v CALS-tehnologii [Introduction to the CALS-technologies]. – Kovrov, KGTA Publ, 2002., 137 p.
2. Balyberdin A. Ispol'zovanie CALS-tehnologij v morskoy dejatel'nosti (The use of CALS-technologies in maritime activities). Promyshlennik Rossii – Russian Industrialist, 2007, no2. – Available at: <http://www.calsnet.ru> (Accessed 20 November 2012).
3. Levin A. I., Sudov E. V. CALS-soprovozhdenie zhiznennogo cikla [CALS - support of lifecycle]. Otkrytye sistemy [Open systems], 2001, no3, pp. 31-36.
4. Volkov V.P., Gricuk I.V., Pavlenko V.N., Volodarec N.V. Osobennosti formirovaniya zhiznennogo cikla na osnove CALS-tehnologij [Features of formation of life cycle on the basis of CALS-technology]. Vestnik HNADU [Bulletin of HNAHU], 2016, issue. 75., pp. 151-157.
5. Sadovskaja T.G., Chernyshova T.N. Sistemy upravleniya zhiznennym ciklom izdelij i vozmozhnosti ih primeneniya v otrasli jenergetiki [Systems of management of products lifecycle and their possible applications in the energy sector]. Audit i finansovyj analiz [Audit and financial analysis], 2010, no.6, pp. 328-341.
6. Shil'nikov P. Put' NTC APM v edinoe informacionnoe prostranstvo (Way of APM NTC into a single information space). Available at: <http://www.apm.ru/articles/05-02.htm> (Accessed 20 November 2012).
7. Interaktivnye jelektronnye tehicheskie rukovodstva (Interactive electronic technical manuals). Available at: <http://www.apm.ru/articles/05-02.htm> (Accessed 20 November 2012).

УДК 629.4; 621.436; 543.27

А. П. Фалендиш, д.т.н., професор

(завідувач кафедри «Теплотехніка та теплові двигуни» Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків)

В. О. Гатченко, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

Ю. В. Черняк, к.т.н., доцент

(завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

О. В. Клецька

(асистент кафедри «Теплотехніка та теплові двигуни» Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків)

АНАЛІЗ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ, ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ ТЕПЛОВИЗНИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

В статті виконано аналіз вимог нормативних документів, щодо нормування та методів визначення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згорання поршневих, зокрема теплових у різних країнах.

Ключові слова: Двигуни внутрішнього згорання, викиди забруднюючих речовин, відпрацьовані гази, димність, режими випробувань.

В статье выполнен анализ требований нормативных документов, по нормированию и методам определения выбросов загрязняющих веществ с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания поршневых, в частности тепловых в разных странах.

Ключевые слова: Двигатели внутреннего сгорания, выбросы загрязняющих веществ, отработанные газы, дымность, режимы испытаний.

Постановка проблеми. Згідно з даними Державної служби статистики України за період з 2003-2015 р.р. в середньому за рік в країні в атмосферне повітря потрапляє 564,14 тис.т. оксиду азоту, 2838,46 тис.т. оксиду вуглецю та 612,06 тис.т. зважених часток [1]. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря в Україні за період з 2003-2015 рр. рис. 1.

На пересувні джерела забруднення (автомобільний, залізничний, авіаційний, водний транспорт та виробнича техніка) приходить значна частка всіх викидів, так оксид азоту складає – 44,8%, оксид вуглецю – 86,7%, а зважені частки – 5%.

Згідно з Транспортною стратегією України на період до 2020 р. одним з основних принципів є забезпечення екологічної безпеки, обов'язкового дотримання екологічних стандартів і нормативів під час провадження діяльності у галузі транспорту [2].

© Фалендиш А. П., Гатченко В. О., Черняк Ю. В., Клецька О. В., 2016

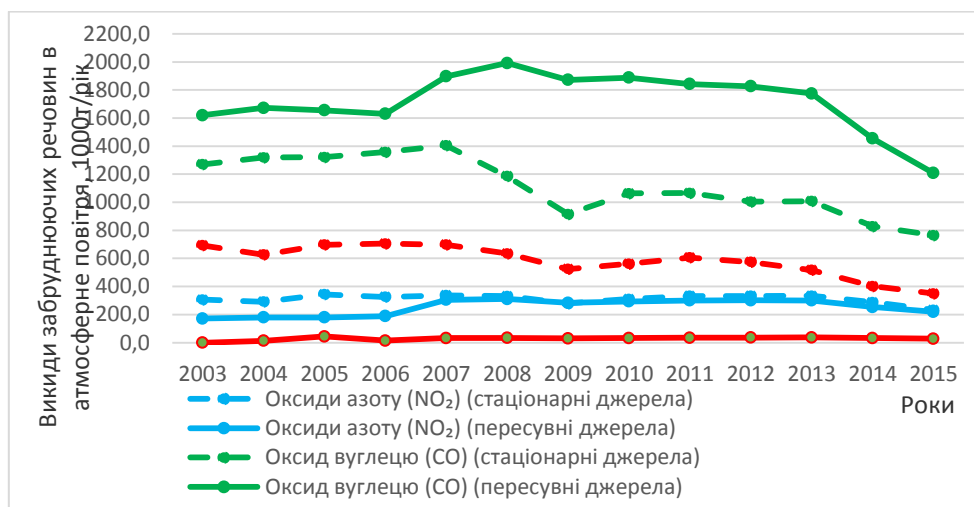


Рис. 1. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря в Україні за період з 2003-2015 р.р.

На залізничному транспорті основними джерелами забруднення атмосферного повітря є дизелі (двигуни внутрішнього згоряння поршневі) тепловозів.

При здійсненні міжнародних перевезень вимоги до викидів забруднюючих речовин дизелями тепловозів повинні відповідати міжнародним стандартам.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Велика кількість праць присвячена проблемам нормування, інструментального контролю, методам визначення забруднюючих речовин з відпрацьованими газами (ВГ) двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) та відповідність національних стандартів європейським. Однак основна маса цих праць стосується викидів автомобільним транспортом [3-4]. В галузі залізничного транспорту в країні діє низка стандартів, що регламентують норми викидів забруднюючих речовин з ВГ тепловозних дизелів, вимоги до газоаналізаторів для контролю викидів транспортних засобів та інші [5-8]. В багатьох країнах норми викидів забруднюючих речовин з ВГ двигунів транспортних засобів зазнали значних змін, тому необхідно виконати порівняння вимог нормативних документів, щодо норм, методів визначення викидів забруднюючих речовин з ВГ тепловозних дизелів.

Мета статті – проаналізувати вимоги нормативних документів, щодо нормування та методів визначення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння поршневих, зокрема тепловозних у різних країнах.

Виклад основного матеріалу. В Україні в частині залізничного транспорту з забезпечення екологічної безпеки діє галузевий стандарт ГСТУ 32.001-94 Викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів. Норми та методи визначення [5]. Згідно даного стандарту, норми викидів, це величини середньоексплуатаційних питомих значень E_{CO} , E_{CH} , E_{NOx} , E_{TCH} , г/(кВт*год), значення яких, відповідно до терміну експлуатації дизеля подані у табл. 1.

У Росії з 1.07.1997 р. був введений в дію стандарт ГОСТ Р 50953-96. Выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов магистральных и маневровых тепловозов. Нормы и методы определения [9]. Цей стандарт встановлював норми і методи визначення викидів шкідливих речовин (ВВ) з відпрацьованими газами (ОГ) і димності ВГ нових (після побудови), а також що знаходяться в експлуатації тепловозів на сталих режимах їх роботи.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Таблиця 1. Норми викидів

Найменування забруднюючої речовини	Норми викидів (величини середньоексплуатаційних питомих значень, г/(кВт. год))	
	Дизель у експлуатації до 2-х років	Дизель у експлуатації більше 2-х років
Оксиди азоту (у переліку на диоксид азоту)	18	18
Оксид вуглецю	10	12
Вуглеводні	4	4,5
Тверді частинки	0,4	0,2

Норми гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин (ШР) в ВГ нових (після побудови) тепловозів на режимах випробувань згідно з ГОСТ Р 50953-96 наведені в табл.2.

Таблиця 2. Норми гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин (ШР) в ВГ нових (після побудови) тепловозів на режимах випробувань згідно з ГОСТ Р 50953-96

Шкідливі речовини	Гранично допустимий вміст С на режимах 1 – 5												Примітка
	Об'ємна частка, %						Масова концентрація, г / н × м ³						
	магістральні тепловози			маневрові тепловози			магістральні тепловози			маневрові тепловози			
	режим(и)			режим(и)			режим(и)			режим(и)			
	1	2-4	5	1	2-4	5	1	2-4	5	1	2-4	5	
Для тепловозів з електропередачею													
Оксиди азоту NOx	0,065	0,310	0,290	0,060	0,275	0,260	1,33	6,36	5,95	1,23	5,65	5,33	Перерахунок по NO ₂
Окис вуглецю CO	0,050	0,210	0,195	0,045	0,170	0,160	0,63	2,63	2,44	0,56	2,13	2,00	-
Вуглеводні C _n H _m	0,028	0,039	0,036	-	-	-	0,55	0,77	0,71	-	-	-	Перерахунок по C ₃ H ₈
Для тепловозів з гідропередачею													
Оксиди азоту NOx	-	-	-	0,055	-	-	-	-	-	1,13	-	-	Перерахунок по NO ₂
Окис вуглецю CO	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	0,63	-	-	-

Норми димності ВГ нових (після будови) тепловозів на режимах випробувань наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Норми димності ВГ нових (після будови) тепловозів на режимах випробувань згідно з ГОСТ Р 50953-96

Граничне значення коефіцієнта ослаблення світлового потоку $N, \%$								
для магістральних тепловозів			для маневрових тепловозів					
з електропередачею			з електропередачею			з гідропередачею		
режиму 1	режимів 2-4	режиму 5	режиму 1	режимів 2-4	режиму 5	режиму 1	режимів 2-4	режиму 5
15	45	40	20	50	45	25	-	-

Для тепловозів, які перебувають в експлуатації, норми вмісту ШР (крім оксидів азоту) і димності ВГ, зазначені в таблицях 2 і 3, збільшують при пробігах, відповідних:

- першому ПР1 на 20%;
- першому ПР2 на 30%;
- другого ПР1 на 35%.

З 1.01.2009 р. у Росії замінили стандарт ГОСТ Р 50953-96 на новий стандарт ГОСТ Р 50953-2008. Выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов магистральных и маневровых тепловозов. Нормы и методы определения [10]. Цей стандарт встановлює норми і методи визначення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами та димності відпрацьованих газів тепловозів на сталих режимах їх роботи.

Значення гранично допустимого вмісту викидів шкідливих речовин в ВГ нових (після побудови) тепловозів, а також модернізованих (з заміною двигуна) на режимах випробувань наведені в табл. 4.

Таблиця 4. Значення гранично допустимого вмісту викидів шкідливих речовин в ВГ нових (після побудови) тепловозів, а також модернізованих (з заміною двигуна) на режимах випробувань

Шкідливі речовини	Об'ємна доля гранично допустимого вмісту С, % на режимах 1 – 3												Примітка
	при постановці на виробництво												
	до 2001 р.			з 2001 р.			з 2006 р.			з 2011 р.			
	режим			режим			режим			режим			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Для тепловозів з електропередачею													
Оксиди азоту NOx	0,06	0,29	0,27	0,05	0,24	0,23	0,04	0,2	0,19	0,03	0,15	0,14	Перерахунок по NO ₂
Окис вуглецю CO	0,045	0,19	0,175	0,015	0,06	0,055	0,015	0,06	0,055	0,02	0,07	0,065	-
Вуглеводні CnHm	0,05	0,07	0,06	0,02	0,03	0,025	0,02	0,03	0,025	0,01	0,014	0,013	Перерахунок по C ₃ H ₈

Гранично допустимі значення коефіцієнта ослаблення світлового потоку (димності) ВГ нових (після будови) тепловозів, а також модернізованих (з заміною дизеля) на режимах випробувань при стандартній базі димоміра 0,43 м, згідно з ГОСТ Р 50953-2008 наведені в табл. 5.

Таблиця 5. Значення гранично допустимого вмісту викидів шкідливих речовин в ВГ нових (після побудови) тепловозів, а також модернізованих (з заміною двигуна) на режимах випробувань

Режими випробувань тепловоза	Граничне допустиме значення коефіцієнта ослаблення світлового потоку $N, \%$, при постановці на виробництво			
	до 2001 р.	з 2001 р.	з 2006 р.	з 2011 р.
1	8	7	6	5
2	25	20	17	15
3	20	15	12	10

Для тепловозів, які перебувають в експлуатації, виробництва (модернізації) з 2001 р. норми вмісту викидів ШР (крім оксидів азоту) і димності ВГ, зазначені в таблицях 4 і 5, збільшують:

- на 15% – при пробігу магістрального тепловоза понад 100 тис.км або напрацюванню маневрового тепловоза більше 7,5 міс.;
- на 25% – при пробігу магістрального тепловоза понад 200 тис.км або напрацюванню маневрового тепловоза більше 15 міс.;
- на 30% – при пробігу магістрального тепловоза понад 500 тис.км або напрацюванню маневрового тепловоза більше 37,5 міс.

Для тепловозів, які перебувають в експлуатації, виробництва (модернізації) до 2001 р. норми вмісту викидів ШР (крім оксидів азоту) і димності ВГ збільшують на 15% по відношенню до норм для тепловозів, виробництва яких здійснюється з 2001р.

З 1.07.2014 р. в країнах Білорусь, Казахстан, Киргизія, Молдавія, Росія, Таджикистан, Узбекистан введений в дію міждержавний стандарт ГОСТ 31967. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения [11]. Цей стандарт поширюється на викиди газоподібних шкідливих речовин з відпрацьованими газами при проведенні стендових випробувань нових та капітально відремонтованих судових, тепловозних і промислових поршневих двигунів внутрішнього згорання (далі – двигуни) і встановлює їх норми і методи визначення. Згідно з ним гранично допустимі значення питомих середньозважених викидів шкідливих речовин у ВГ двигунів при їх стендових випробуваннях в залежності від року постановки двигуна на виробництво подані у табл. 6.

Таблиця 6. Гранично допустимі значення питомих середньозважених викидів шкідливих речовин у ВГ двигунів при їх стендових випробуваннях

Критичний параметр	Призначення двигуна	Норма питомих середньозважених викидів при постановці на виробництво	
		до 2016 р	з 2016 р
Питомий середньозважений викид оксидів азоту (NO_x) в приведенні до NO_2 , e_{NO_x} , г/(кВт.год)	Тепловозний	12,0	7,4
	Промисловий	10,0	6,0
	Судовий	Наведені в таблиці 7	
Питомий середньозважений викид оксиду вуглецю (CO), e_{CO} , г/(кВт.год)	Будь-яке	3,5	1,5
Питомий середньозважений викид вуглеводнів (CH) у приведенні до $\text{CH}_{1,85}$, e_{CH} , г/(кВт.год)	Будь-яке	1,0	0,4

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Норми викидів оксидів азоту для суднових двигунів наведені в таблиці 7.

Гранично допустимі значення питомих середньозважених викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигунів, $(e_i)_{\text{рем}}$ які пройшли капітальний ремонт, встановлюють на основі даних таблиць 6 і 7 з використанням коригуючих коефіцієнтів $\kappa_{\text{рем}}$ за формулою

$$(e_i)_{\text{рем}} = \kappa_{\text{рем}} e_i \quad (1)$$

$$\kappa_{\text{рем}}(CO)=1,2, \kappa_{\text{рем}}(NOx)=0,95, \kappa_{\text{рем}}(CH)=1,25.$$

Таблиця 7. Норми викидів оксидів азоту для суднових двигунів

Постановка на виробництво	Норми питомих середньозважених викидів оксидів азоту при номінальній частоті обертання		
	$n \leq 130$	$130 < n \leq 2000$	$n > 2000$
До 01.01.2011 р.	17,0	$45 n^{-0,2}$	9,8
Після 01.01.2011р.	14,4	$44 n^{-0,23}$	7,7

Згідно з ГОСТ 31967 викиди твердих часток (димність ВГ) визначаються окремим стандартом ГОСТ 24028-2013. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Дымность отработавших газов. Нормы и методы определения. (Армения, Беларусь, Киргизия, Молдова, Россия, Узбекистан) введен в действие с 1.07.2014 г [12].

Гранично допустимі значення натурального показника ослаблення світлового потоку і відповідні їм значення коефіцієнту ослаблення світлового потоку, а також гранично допустимі значення димового числа фільтра згідно з ГОСТ 24028 наведені в табл. 8.

Таблиця 8. Гранично допустимі значення натурального показника ослаблення світлового потоку і відповідні їм значення коефіцієнту ослаблення світлового потоку, а також гранично допустимі значення димового числа фільтра згідно з ГОСТ 24028

Витрата ВГ Vexh, л/ с	Натуральний показник ослаблення світлового потокy K,м ⁻¹ , не більше		Коефіцієнт ослаблення світлового потокy N, % (L=0,43м), не більше		Димове число фільтру FSN, ум.од., (L _F =0,405 м), не біль- ше	
	Норма димності ВГ двигунів, що поставлені у виробництво					
	До 2016 р	Після 2016 р	До 2016 р	Після 2016 р.	До 2016 р	Після 2016 р.
1	2	3	4	5	6	7
До 75 вкл.	1,36	1,01	44	35	3,4	2,7
Понад 75 до 95 вклоч.	1,23	0,9	41	32	3,2	2,5
Понад 95 до 140 вклоч.	1,07	0,8	37	29	3,0	2,4
Понад 140 до 210 вкл.	0,9	0,7	32	26	2,7	2,2
Понад 210 до 350 вкл.	0,73	0,58	27	22	2,4	2,0

Закінчення табл. 8

1	2	3	4	5	6	7
Понад 350 до 600 включ.	0,58	0,46	22	18	2,2	1,8
Понад 600 до 1150 включ.	0,46	0,35	18	14	1,8	1,4
Понад 1150 до 3000 включ.	0,32	0,25	13	10	1,4	1,1
Понад 3000	0,23	0,19	10	8	1,0	0,8
Для двигунів після капітального ремонту максимально допустимі норми димності збільшують на 29%.						

Порівнюючи стандарти можна сказати, що у ГСТУ 32.001 подані норми (це величини середньоексплуатаційних питомих значень E , г/(кВт*год) по чотирьох шкідливих речовинах це оксиди азоту (у переліку на диоксид азоту), оксид вуглецю, вуглеводні та тверді частинки, причому норма їх пов'язана з роботою дизеля в експлуатації.

У стандарті ГОСТ Р 50953-96 подані норми гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин (ШР) в ВГ нових (після побудови) тепловозів у об'ємних частках, % та масовій концентрації, г / н × м³ в залежності від роду служби та типу передачі при випробуванні на п'яти режимах. Також передбачається збільшення норми для тепловозів, що знаходяться в експлуатації в залежності від пробігу між ПР.

У оновленому стандарті ГОСТ Р 50953-2008 р. подані значення гранично допустимого вмісту викидів шкідливих речовин в ВГ нових (після побудови) тепловозів, а також модернізованих (з заміною двигуна) на трьох режимах у об'ємних долях С, % в залежності від року постановки на виробництво, незалежно від роду служби та типу передачі. Також передбачається збільшення норми для тепловозів, що знаходяться в експлуатації в залежності від пробігу або напрацювання за родом служби та роком виробництва або модернізації.

У ГОСТ 31967 подані гранично допустимі значення питомих середньозважених викидів шкідливих речовин, е, г/кВтгод, по трьох шкідливих речовинах це оксиди азоту, оксид вуглецю, вуглеводні та норма їх пов'язана не з терміном роботи дизеля в експлуатації, а з постановкою двигуна у виробництво до та після 2016 року. Крім того, в цьому документі регламентується перерахунок гранично допустимих значень питомих середньозважених викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигунів, які пройшли капітальний ремонт з урахуванням коригувальних коефіцієнтів.

Відрізняються також **режими та цикли** проведення випробувань. Згідно з ГСТУ 32.001 випробувальні цикли та склад режимів випробувань повинні відповідати ГОСТ 10448. Двигатели судовые, тепловозные и промышленные. Приемка. Методы испытаний и «Техническим требованиям на реостатных испытаниях тепловозов при выпуске из текущего и планового ремонтов». Параметри забруднюючих речовин, які нормуються, визначаються на таких режимах випробувань тепловозних дизелів:

- Pe_{100} – режим номінальної потужності, кВт;
- $Pe_{75} = 0,75 Pe_{100} \pm 5,0$, кВт
- $Pe_{50} = 0,5 Pe_{100} \pm 5,0$, кВт
- $Pe_{25} = 0,25 Pe_{100} \pm 5,0$, кВт
- $Re_{x.h.} = R_{доп.мех.}$ – режим тепловозного холостого ходу, кВт.

Середні значення відносних часів завантаження дизеля у залежності від виду виконуємої роботи подано в табл. 9.

Таблиця 9. Середні значення відносних часів завантаження дизеля залежно від виду роботи, що виконується

Вид виконуємої роботи	Відносний час роботи дизеля у експлуатації на нормованих режимах випробувань, у %				
	τ_{xx}	τ_{25}	τ_{50}	τ_{75}	τ_{100}
Магістральна	60	10	11	13	6
Вивозна	67	2	3	3	25
Маневрова	46	40	12	1,5	0,5

Згідно з ГОСТ Р 50953-96 режими випробувань тепловозів при вимірах змістів ШР і димності ВГ при роботі їх дизелів на сталих режимах по тепловозних характеристиках наведені в табл.10.

Таблиця 10. Режими випробувань тепловозів при вимірах змістів ШР і димності ВГ при роботі їх дизелів на сталих режимах по тепловозних характеристиках (ГОСТ Р 50953-96)

Режим випробувань тепловозів	Тепловози з 16-позиційним контролером		Тепловози з 9-позиційним контролером	
	Навантаження	Позиція	Навантаження	Позиція
1	Нульове (холостий хід)	0	Нульове (холостий хід)	0
2	Часткове	IV	Часткове	II
3	Часткове	VIII	Часткове	IV
4	Часткове	XII	Часткове	VI
5	Повне	XV	Повне	VIII
Для тепловозів з 16-позиційним контролером і встановленими на них дизелями ЧН26/26 (типу Д49) вводиться додатковий режим випробувань 2а з частковим навантаженням на VI позиції контролера.				
Для тепловозів з гідропередачею вимірювання вмісту ШР і димності ВГ проводять тільки на режимі I (холостий хід)				

У стандарті ГОСТ Р 50953-2008 р. режими випробувань тепловозів при вимірах змістів ШР і димності ВГ при роботі їх дизелів на сталих режимах по тепловозних характеристиках наведені в табл. 11.

Таблиця 11. Режими випробувань тепловозів при вимірах змістів ШР і димності ВГ при роботі їх дизелів на сталих режимах по тепловозних характеристиках (ГОСТ Р 50953-2008)

Режим випробувань тепловозів	Тепловози з 16-позиційним контролером		Тепловози з 9-позиційним контролером	
	Навантаження	Позиція	Навантаження	Позиція
1	Нульове (холостий хід)	0	Нульове (холостий хід)	0
3	Часткове	VIII	Часткове	IV
5	Повне	XV	Повне	VIII
Для тепловозів, що не мають спроможності навантаження на реостат вимірювання вмісту ШР і димності ВГ проводять тільки на режимі I (холостий хід)				

Згідно з ГОСТ 31967 випробувальні цикли та склад режимів випробувань повинні відповідати ГОСТ 30574 [7].

Для тепловозних дизелів це три режими:

Режим 1 – частота обертання – номінальна, обертальний момент – 100%, ваговий коефіцієнт- 0,25;

Режим 2 – частота обертання – проміжна, обертальний момент – 50%, ваговий коефіцієнт- 0,15;

Режим 3 – частота обертання – мінімальна холостого ходу, обертальний момент – 0%, ваговий коефіцієнт- 0,6.

Причому, ваговий коефіцієнт це умовна величина, яка відображає статистичну частку часу роботи двигунів даного призначення в районі даного режиму.

Порівнюючи вимоги стандартів до режимів випробування можна спостерігати, що за стандартами ГСТУ 32.001 та ГОСТ Р 50953-96 випробування відбуваються по п'яти режимах. За ГОСТ Р 50953-96 в залежності від позиції контролера машиніста та навантаження, а за ГСТУ 32.001 в залежності від навантаження та відносних часів завантаження дизеля тепловозу та від виду виконуємої роботи.

У ГОСТ Р 50953-2008 зменшено кількість режимів випробувань з 5-ти до 3-х.

У ГОСТ 31967 та ГОСТ 30574 регламентовано три режими випробувань. Причому зазначено частоту обертання, обертальний момент та ваговий коефіцієнт.

Викиди твердих частинок, $C_{тч}$ вимірюють прийнятою в європейських країнах «Системою визначення змісту твердих частинок у відпрацьованих газах» згідно ГСТУ 32.001. Допускається визначати викиди твердих частинок шляхом вимірювання димності відпрацьованих газів з подальшим переводом показника димності у викиди на основі встановлених взаємозв'язків між ними та перерахунком на середньоексплуатаційні питомі викиди.

Вимірювання димності відпрацьованих газів допускається проводити одним з таких методів:

- оптичним методом з вимірюванням натурального показника K ослаблення світлового потоку і коефіцієнта N ослаблення світлового потоку;
- фільтраційним методом з вимірюванням димового числа FSN фільтра [5].

Наприклад при вимірюванні оптичним методом, вимірюють натуральний показник ослаблення світлового потоку K , m^{-1} , а зв'язок даного показника з коефіцієнтом ослаблення світлового потоку N , %, заданий графічно лінійною залежністю. Залежність викидів твердих частинок $C_{тч}$, $г/м^3$ від коефіцієнта ослаблення світлового потоку N , % теж задана графічно. Для приведення викидів твердих частинок $C_{тч}$, $г/м^3$ до питомих викидів $e_{тч}$, $г/(кВт год)$, що нормуються, наведена залежність:

$$e_{тч} = \frac{3600 C_{тч} V_z}{P_e} \quad (2)$$

У ГОСТ Р 50953-96 та ГОСТ Р 50953-2008 р. для вимірювання димності ВГ тепловозів використовують метод, заснований на поглинанні променя світла при пропущенні його через частину потоку газів. При цьому вимірюють коефіцієнт ослаблення світлового потоку.

У ГОСТ 24028 [10] двигун вважають відповідним вимогам цього стандарту, якщо на всіх режимах випробувань кожне виміряне значення натурального показника ослаблення світлового потоку K , m^{-1} (при оптичному методі вимірювання) або димового числа фільтра FSN , *ум.од.* (при фільтраційному методі вимірювання) не більше відповідного гранично допустимого значення натурального показника ослаблення світлового потоку або димового числа фільтра.

Тобто, критерієм норми є натуральний показник ослаблення світлового потоку K , м^{-1} або димове число фільтра FSN , ум.од. в залежності від витрати відпрацьованих газів V_{exh} , л/с., приведеної до нормальних умов (температура 273 К і тиск 101,3 кПа), а також часу постановки двигуна на виробництво.

Витрату відпрацьованих газів V_{exh} , л/с., розраховують за формулою:

$$V_{exh} = 775(G_{air} + G_f), \quad (3)$$

де G_{air} - витрата повітря, кг/с;

G_f - витрата палива, кг/с.

За методикою визначення димності за ГСТУ 32.001, може спостерігатися велика похибка при розрахунках через те, що зв'язки основних параметрів: натурального показника ослаблення світлового потоку K , м^{-1} , коефіцієнта ослаблення світлового потоку N , % та викидів твердих частинок $Стч$, $\text{г}/\text{м}^3$ задані графічною залежністю. Крім того розрахунки димності приводяться до питомих викидів $e_{тч}$, $\text{г}/(\text{кВт год})$ твердих часток.

За методикою визначення димності за ГОСТ 24028 приводяться залежності натурального показника ослаблення світлового потоку K , м^{-1} , або димового числа фільтра FSN , ум.од. від витрати відпрацьованих газів V_{exh} , л/с., а також часу постановки двигуна на виробництво. При цьому відповідність двигуна вимогам цього стандарту, є достатньою якщо на всіх режимах випробувань кожне виміряне значення натурального показника ослаблення світлового потоку K або димового числа фільтра FSN не більше відповідного гранично допустимого значення.

При проведенні випробувань **похибка вимірювальних параметрів складу ВГ** за ГСТУ 32.001, ГОСТ Р 50953-96, ГОСТ Р 50953-2008 та ГОСТ 31967 повинна відповідати таблиці 12.

Таблиця 12. Похибка вимірювальних параметрів складу ВГ за ГСТУ 32.001-94, ГОСТ Р 50953-96, ГОСТ Р 50953-2008 та ГОСТ 31967 – 2012

Вимірювальний параметр	Межі похибки вимірювань, %		
	ГСТУ 32.001-94	ГОСТ Р 50953-96 ГОСТ Р 50953-2008	ГОСТ 31967 – 2012
Концентрація оксиду вуглецю, C_{CO}	$\pm 10,0$	$\pm 5,0$	$\pm 5,0$
Концентрація оксиду азоту в приведенні до NO_2 , C_{NOx}	$\pm 10,0$	$\pm 10,0$	$\pm 10,0$
Концентрація вуглеводнів в приведенні до $CH_{1,85}$, C_{CH}	$\pm 10,0$	$\pm 5,0$	$\pm 5,0$

З таблиці 12 ми бачимо, що за ГОСТами 50953-96, 50953-2008 та 31967- 2012 вимоги більш жорсткі до точності вимірювальних параметрів, стосовно концентрації оксиду вуглецю та концентрації вуглеводнів на 5%.

Вимоги до газоаналізаторів згідно з ГСТУ 32.001-94, ГОСТ Р 50953-96, ГОСТ Р 50953-2008 та ГОСТ 31967 – 2012 наведені в таблиці 13.

Таблиця 13. Вимоги до газоаналізаторів згідно ГСТУ 32.001-94, ГОСТ Р 50953-96, ГОСТ Р 50953-2008 та ГОСТ 31967 – 2012

Вимірювальний параметр	Газоаналізатор		
	ГСТУ 32.001-94	ГОСТ Р 50953-96 ГОСТ Р 50953-2008	ГОСТ 31967 – 2012
Оксид вуглецю	Повинен забезпечувати вимірювання концентрації в діапазоні від 0,01% до 2,0%.	Число зразків газових сумішей повинно бути не менше одного для кожного піддіапазону вимірювання.	Повинен мати недисперсійний інфрачервоний детектор і забезпечувати вимірювання концентрації СО в діапазоні від 0,01% до 0,50%.
Вуглеводні	Повинен забезпечувати надійне вимірювання концентрації вуглеводнів (СН) у діапазоні від 0 до 5000 ppm.	Зразки газових сумішей повинні містити вимірюваний компонент з вмістом, відповідним $(95 \pm 5)\%$ кожній кінцевій межі вимірювань, і з похибкою вимірів не більше $\pm 2,0\%$.	Повинен мати полум'яно-іонізаційний детектор, що нагрівається до температури (453 ± 1) К і забезпечувати вимірювання концентрації вуглеводнів за еквівалентом $\text{CH}_{1,85}$ в діапазоні від 0,001% до 0,200%.
Оксиди азоту	Повинен забезпечувати надійне вимірювання концентрації у діапазоні від 0,01 до 50% по еквіваленту NO_2 при будь-якому складі індивідуальних оксидів		Повинен мати хемілюмінесцентний детектор або нагріваємих хемілюмінесцентний детектор (при «вологовому» стані проби відпрацьованих газів з перетворювачем NO_x в NO). Вимірювальним компонентом повинна бути сума всіх оксидів азоту NO_x , виражена через еквівалентну об'ємну частку оксидів виду NO_2 . Газоаналізатор повинен забезпечувати вимірювання в діапазоні від 0,005% до 0,500% за еквівалентом NO_2 при будь-якому складі індивідуальних оксидів

Аналізуючи таблицю 13 встановлено, що ГОСТами висуваються різні вимоги до газоаналізаторів ГОСТ 31967 висуває більш жорсткі вимоги до діапазонів вимірювання концентрації шкідливих речовин та окрім цього в ньому прописуються конкретні типи детекторів.

Висновки та пропозиції.

1. Проаналізовано та розглянуто вимоги стандартів різних країн, щодо нормування та методів визначення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів.
2. Порівнювалися стандарти по таких критеріях: норми викидів, режими та цикли проведення випробувань, вимірювання димності ВГ та визначення викидів твердих частинок, похибка вимірювальних параметрів, вимоги до газоаналізаторів.
3. В результаті аналізу встановлено великі розбіжності у нормах викидів забруднюючих речовин, у відмінності допустимих похибок при проведенні випробувань, режимах та циклах випробувань, різних підходах до розрахунків та технічних вимог до обладнання випробувальних стендів.
4. Це у свою чергу спонукає до пошуку шляхів приведення норм та методів розрахунків до єдиних стандартів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – <http://www.ukrstat.gov.ua/>
2. Транспортна стратегія України на період до 2020 року, що затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України (КМУ) від 20.10.2010 р. № 2174-р. [Електронний ресурс]. – <http://zakon5.rada.gov.ua/>
3. Приміський, І.В. Нормування викидів відпрацьованих газів автомобілів та перехід до стандартів Євро [Текст] / І. В. Приміський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014– № 4/11(70). – С. 43-49.
4. Звонов, В.А. Оценка выброса твердых частиц с отработавшими газами автотракторного дизеля [Текст] / А. В. Звонов, А. П. Марченко, И. В. Парсаданов, А. П. Поливянчук // «Двигатели внутреннего сгорания» сб.ст. НТУ ХПИ – 2006– № 2 – С. 64-67.
5. ГСТУ 32.001-94. Викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів. Норми та методи визначення. Чинний від 01.01.1995 р.
6. ДСТУ 2501-94 Аналізатори газів для контролю викидів транспортних засобів. Загальні технічні вимоги і методи випробувань. – надано чинності 1994-05-25. – К.: Держспоживстандарт України, 1994.
7. ГОСТ 30574-98. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Измерение выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Циклы испытаний. – Введ. 2000–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 27 с.
8. ГОСТ 10448-80 Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Правила приемки. Методы испытаний. – Введ. 1981–01–01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1980. – 16 с.
9. ГОСТ Р 50953-96. Выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов магистральных и маневровых тепловозов. Нормы и методы определения. – Введ. 1997–07–01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 17 с.
10. ГОСТ Р 50953-2008. Выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов магистральных и маневровых тепловозов. Нормы и методы определения. – взамен ГОСТ Р 50953-96; Введ. 2009–01–01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 12 с.
11. ГОСТ 31967 – 2012. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения. – Введ. 2014–07–01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 28 с.
12. ГОСТ 24028-2013. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Дымность отработавших газов. Нормы и методы определения. – Введ. 2014–07–01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.

Anatoly Falendysh, Doctor of Science (Technical Science), Professor
(Head of the department Heat Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport)

Victoriia Hatchenko, Ph.D., Associate Professor
(Associate Professor at the Department of Traction railway rolling stock, State Economy and Technology University of Transport)

Yuriy Cherniak, Ph.D., Associate Professor
(Head of the Department of Traction railway rolling stock, State Economy and Technology University of Transport)

Olha Kletska
(Assistant at the Department Heat and heat engines, Ukrainian State University of Railway Transport)

**THE ANALYSIS OF REGULATORY REQUIREMENTS FOR DETERMINING
THE EMISSION OF POLLUTANTS FROM EXHAUST GASES FROM ENGINES
INTERNAL COMBUSTION DIESEL LOCOMOTIVES**

In rail transport, the main sources of air pollution are diesel engines (internal combustion piston engine) locomotives. In the field of railway transport in Ukrainian there are several of standards norms that regulate emission of pollutants with exhaust gases diesel locomotive engines, the requirements for gas analyzers to monitor emissions from transport and others.

In many countries, the norm of pollutant emissions with exhaust gases from engine of vehicles have undergone significant changes, so we must perform a comparison require-

ments of regulations regarding the norms methods of determining emissions of pollutants with exhaust gases from diesel locomotive engines.

In the article analyzed and considered the requirements of the standards of different countries for regulation and methods of determining emissions of pollutants exhaust gases from diesel locomotive engines.

Standards was compared on the following criteria: emission standards, modes and cycles of testing, measuring of exhaust for smoke and determination of particulate emissions, the error of measurement parameters, requirements for gas analyzers.

Based on the analysis found large differences in standards of pollutant emissions, unlike acceptable error during testing, and test cycle modes, different approaches to the calculation and technical requirements for equipment test stands. This in turn leads to finding ways to bring the standards and methods of calculation to common standards.

Keywords: Internal combustion engines, pollutant emissions, exhaust gases, test modes.

REFERENCES

1. Derzhavna sluzhba staty'sty'ky` Ukrayiny [State Statistics Service of Ukraine], Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
2. Transportna strategiya Ukrayiny` na period do 2020 roku, shho zatverdzhena rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrayiny` [Transport Strategy of Ukraine till 2020, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine], 20.10.2010. № 2174-p., Available at <http://zakon5.rada.gov.ua/>
3. Pry'mis'ky`j, I.V. Normuvannya vy'ky'div vidpracz'ovany`x gaziv avtomobiliv ta perexid do standartiv Yevro [Rationing exhaust emission of vehicles and transition to Euro standards], *Vostochno-Evropejsky`j zhurnal peredovix texnologij`* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], 2014, issue 4/11(70), pp. 43-49.
4. Zvonov, V.A. Otsenka vyibrosa tverdyih chastits s otrabotavshimi gazami avtotraktornogo dizelya [Estimates of emissions of particulate matter from the exhaust gases of diesel tractor]. «*Dvigateli vnutrennego sgoraniya*» *sbornik statey Natsionalnogo tehnikeskogo universiteta Harkovskiy Politehnicheskij Institut* [Internal combustion engines collection of articles by the National Technical University of Kharkov Polytechnic Institute], 2006, issue 2, pp. 64-67.
5. GSTU 32.001-94. Vy'ky'dy` zabrudnyuyuchy`x rechovy`n z vidpracz'ovany`my` gazamy` teplovozny`x dy`zeliv. Normy` ta metody` vy`znachennya. [Industry standard 32.001-94 Emissions of pollutants from exhaust gases diesel locomotive engines. Norms and determination methods] Kyiv, Derzhpozhyvstandart Ukrainy Publ., 1995. 22 p.
6. DSTU 2501-94. Analizatory` gaziv dlya kontrolyu vy'ky'div transportny`x zasobiv. Zagal'ni texnichni vy'mogy` i metody` vy`probuvan` [State Standard 2501-94 Gas analyzers for control of emissions of vehicles. General technical requirements i test methods]. Kyiv, Derzhpozhyvstandart Ukrainy Publ., 1994.
7. GOST 30574-98. Dizeli sudovyye, teplovoznyye i promyshlennyye. Izmerenie vyibrosov vrednyih veschestv s otrabotavshimi gazami. Tsiklyi ispytaniy. [State Standard 30574-98. diesel engines of ships, locomotives and industrial. Measurement of emissions of harmful substances in exhaust gases. Cycles of tests]. Moscow, Standartinform Publ., 2000. 27 p.
8. GOST 10448-80 Dizeli sudovyye, teplovoznyye i promyshlennyye. Pravila priemki. Metodyi ispytaniy. [State Standard 10448-80 Marine, locomotive and commercial diesels. Acceptable rules and test methods]. Moscow, Standartinform Publ., 1981. 16 p.
9. GOST 50953-96 Vyibrosyi vrednyih veschestv i dyimnost otrabotavshih gazov magistralnyih i manevrovyyih teplovoznov. Normyi i metodyi opredeleniya.[State Standard 50953-96 Emission of the exhaust gas pollutants by the main line and shunting diesel locomotives. Norms and determination methods]. Moscow, Standartinform Publ., 1996. 17 p.
10. GOST R 50953-2008. Vyibrosyi vrednyih veschestv i dyimnost otrabotavshih gazov magistralnyih i manevrovyyih teplovoznov. Normyi i metodyi opredeleniya.[State Standard R 50953-2008 Emission of the exhaust gas pollutants by the main line and shunting diesel locomotives. Norms and determination methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. – 12 p.
11. GOST 31967 – 2012. Dvigateli vnutrennego sgoraniya porshnevyie. Vyibrosyi vrednyih veschestv s otrabotavshimi gazami. Normyi i metodyi opredeleniya [Interstate standard 31967 – 2012 Internal combustion reciprocating engines. Emissions of harmful substances with the exhaust gases. Limit values and test methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. – 28 p.
12. GOST 24028-2013. Dvigateli vnutrennego sgoraniya porshnevyie. Dyimnost otrabotavshih gazov. Normyi i metodyi opredeleniya. [Interstate standard 24028-2013 Internal combustion reciprocating engines. Visible pollutants. Limit values and test methods] Moscow, Standartinform Publ., 2014. – 12 p.

УДК 656.6:519.833.2

*Е. В. Кириллова, к.т.н., доцент
(заведующая кафедрой «Эксплуатация морских портов», Одесский национальный морской университет)*

*Е. С. Мелешенко
(аспирантка кафедры «Морские перевозки», Одесский национальный морской университет)*

ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ И ФОРМАЛИЗАЦИИ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ МЕЖДУ СУДОВЛАДЕЛЬЦЕМ И МЕНЕДЖЕРСКОЙ КОМПАНИЕЙ

В работе раскрываются причины и суть конфликта между судовладельцем и менеджером судна. Формализована и классифицирована игровая модель конфликтного взаимоотношения между сторонами договора о судовом менеджменте. Разработаны методические положения по обеспечению процессов принятия решений по выполнению такого договора.

Ключевые слова: судовладелец, менеджер судна, договор о судовом менеджменте, игра, равновесие по Нэшу.

У роботі розкриваються причини та суть конфлікту між судновласником та менеджером судна. Формалізована і класифікована ігрова модель конфліктної взаємодії між сторонами договору про судовий менеджмент. Розроблені методичні положення для забезпечення процесів прийняття рішень щодо виконання такого договору.

Ключові слова: судновласник, менеджер судна, договір судового менеджменту, гра, рівновага Неша.

Постановка проблемы. Согласно [1] в сфере морского бизнеса различают два основных имущественно-правовых понятия: *владелец (собственник) судна* (owner of the ship) и *судовладелец* (shipowner). *Владелец судна* является субъектом права собственности на соответствующее транспортное средство. Он обладает тремя правомочиями в отношении данного объекта морских правоотношений: правом владения, правом пользования и правом распоряжения. Следовательно, *владелец судна* может эксплуатировать его от своего имени, отфрахтовывать, продавать и т. п. [1]. *Судовладелец*, в свою очередь, – это юридическое или физическое лицо, которое эксплуатирует судно от своего имени, независимо от того, является ли оно *владельцем судна*, или использует его на других законных основаниях. Таким образом, *судовладелец* часто не является *владельцем судна*, а *владелец судна*, в свою очередь, не всегда выступает в качестве *судовладельца*, хотя и остается при этом собственником актива [1]. Так, например, фактическим *владельцем* паромов «Герои Шипки», «Герои Плевны» и «Каледония» является государство Украина. Оно передало эти суда в долгосрочную аренду украинскому паромному оператору – судоходной компании (СК) «Укрферри», которая, в свою очередь, до 2015 года являлась *судовладельцем* в отношении вышеназванных транспортных

© Кириллова Е. В., Мелешенко Е. С., 2016

средств. Аналогично обстоит дело и с грузо-пассажирским паромом «Vilnius Seaways». *Собственником* этого судна является датская компания «DFDS», передавшая его в 2013 году во фрахт на время (time charter) также СК «Укрферри». Эксплуатируя судно «Vilnius Seaways» от своего имени и за свой счет, СК «Укрферри» выступает в качестве *судовладельца* по отношению к данному парому. Таким образом, компания «DFDS», является *владельцем судна* «Vilnius Seaways», не будучи при этом его *судовладельцем*. Наряду с этим, компания «DFDS», выступает одновременно в качестве *владельца* и *судовладельца* таких судов, как «Begonia Seaways», «Ficaria Seaways», «Magnolia Seaways» и др. По отношению к данным паромам компания «DFDS» обладает правом владения, правом пользования и правом распоряжения, а также самостоятельно реализует все эти правомочия, эксплуатируя данные суда от своего имени и за свой счет.

Таким образом, делегирование правомочий фактического *владельца* судна другому лицу осуществляется путем передачи судна другому лицу в бербоут (bareboat), димайз (demise) или тайм (time) чартеры (chartering). При этом фактический *владелец* судна («Owner of the ship», «Real Owner») передает часть своих правомочий на основе договора фрахтования другому лицу – *фрахтователю* (Charterer), который, в свою очередь, от своего имени и за свой счет осуществляет дальнейшую эксплуатацию судна [2]. *Владелец* судна при этом остается его *собственником*, а *судовладельцем* становится вторая сторона договора – *фрахтователь* (Charterer). В английской терминологии лицо, которое не является фактическим *владельцем* судна («Owner of the ship»), но получило право владения и право пользования этим имуществом на основании договора фрахтования, именуется не просто «судовладельцем» («Owner»), а «судовладельцем-распорядителем» («Disponent Owner»). На протяжении всего срока действия договора «судовладелец-распорядитель» («Disponent Owner») эксплуатирует судно уже от своего имени и за свой счет, имеет право заключать договоры на перевозку грузов и пассажиров, а также договоры фрахтования с другими лицами [1].

С конца прошлого века широкое распространение получила практика передачи судов в *менеджмент* (ship management) специализированным компаниям. При этом *судовладелец*, независимо от того является он *собственником* судна или не является таковым, делегирует выполнение важных функций более компетентным менеджерским компаниям (managing company). [3, 4]. В этом случае между *судовладельцем* и менеджерской компанией (далее *менеджером* (manager)) заключается *договор судового менеджмента*, в котором специфицируются функции последней. Например, в сфере морского бизнеса менеджерские компании часто предоставляют услуги по коммерческому менеджменту (Commercial Management), который, в свою очередь, подразделяется на оперативный [3] (или операционный [5]), финансовый и фрахтовый (последний выделен в самостоятельную часть судового менеджмента). Оперативный менеджмент, в свою очередь, связан с выполнением функций по эксплуатации судна (operation of the ship) на основе соглашения о судовом менеджменте [4]. С предоставлением данных услуг связаны такие понятия, как «оперирование судном» и «оператор».

Наиболее распространенной и универсальной формой договора судового менеджмента является стандартное соглашение, разработанное и опубликованное Балтийским и Международным морским советом (БИМКО) в 1998 году – «SHIPMAN 98» [6].

В соответствии с п. 3 Части II проформы «SHIPMAN 98» *менеджер* является агентом, действующим от имени и по поручению *судовладельца*. Кроме того, согласно п. 4 Части II менеджеры обязаны «...защищать и поддерживать интересы Судовладельцев во всех аспектах, касающихся условий услуг по данному Соглашению». Однако, в упомянутом п. 3 Части II проформы «ШИПМЕН 98» говорится, что менеджер имеет полномочия на совершение таких действий, которые он может время от времени по

своему усмотрению посчитать необходимыми для исполнения соглашения в соответствии с хорошей практикой судового менеджмента. Такая формулировка «...совершение таких действий...в соответствии с хорошей практикой судового менеджмента» указывает на наличие невалидируемых (unverifiable, пер. с англ. «непроверяемый») переменных, то есть параметров договора судового менеджмента, значения которых не валидируются судом. К таким переменным, например, можно отнести добросовестность и усилия менеджеров, которые невозможно измерить.

Договор судового менеджмента имеет возмездный характер. Так, основной обязанностью судовладельца является выплата годового вознаграждения за менеджмент, который выплачивается авансовыми ежемесячными платежами, т. е. в форме предоплаты (начиная с первого платежа, который обычно производится немедленно по заключении договора). Вознаграждение за менеджмент подлежит ежегодному пересмотру и может быть пересмотрено как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. Таким образом, величина вознаграждений менеджера в следующем за отчетным году – также невалидируема.

Наличие невалидируемых переменных связано с тем, что в договоре судового менеджмента, невозможно предусмотреть и юридически специфицировать все возможные последствия соглашения и действия сторон в результате таких последствий. Гарантом договора судового менеджмента является третья сторона – *арбитраж*, а сам договор является примером неполного неоклассического контракта [7].

Предполагается, что договор судового менеджмента заключается в условиях симметричной информации, т. е. обе стороны будут добросовестно соблюдать соглашение, в том числе *менеджер* – действовать в интересах *судовладельца*, *судовладелец* – выплачивать вознаграждение *менеджеру*. Другими словами, наряду с договором судового менеджмента, между *судовладельцем* и *менеджером* заключается *имплицитный контракт* (implicit contract, пер. с англ. «молчаливый, подразумеваемый договор»), который представляет собой молчаливое признание сторонами взаимных обязательств, которые не обеспечены юридической защитой [7]. Однако, в действительности модель с симметричной информацией нарушается, и возникает асимметричность информации, которая заключается в том, что стороны договора судового менеджмента по-разному осведомлены о предмете договора. Так, например, *судовладелец* может знать о судне и линии, которую данное судно обслуживает, больше чем *менеджер*, в том числе и о прибыльности линии. *Менеджер*, в свою очередь, может быть лучше осведомлен о потенциальных поставщиках топлива и провизии, с которыми ему предстоит работать, оперируя судном.

Кроме того, несмотря на то, что на практике *судовладелец* и *менеджер* преследуют одинаковые цели – получение прибыли, работают они в своих собственных интересах и «на разные карманы», а, следовательно, средства достижения их целей отличаются. Так, *судовладелец* стремится к максимизации данного критерия за счет качественной и добросовестной работы *менеджера*, привлеченного к управлению своим транспортным средством, за счет расширения доли рынка, повышения статуса и престижа компании. *Менеджер* – за счет оказания услуг *судовладельцу*. Причем, реалии таковы, что зачастую, *менеджер* получает прибыль не только за счет вознаграждения, но и за счет иных, не всегда известных *судовладельцу*, действий с объектом правоотношений – судном. В связи с этим в практике морского бизнеса высказывается мнение о нецелесообразности заключения соглашений о коммерческом и техническом менеджменте с одной и той же компанией. Поскольку есть вопросы, при решении которых отдельный менеджмент действует как система контроля, защищая *судовладельца* от излишних необоснованных расходов, которые он мог бы понести, если бы оба вида менеджмента были объединены и сконцентрированы в одних руках.

В связи с этим, несмотря на то, что цель *менеджера* может быть достигнута одновременно с целью *судовладельца*, зачастую стороны сталкиваются с недобросовестным поведением противоположной стороны, что приводит к негативным последствиям. Таким образом, хоть и неявно, но *судовладелец* и *менеджер* становятся участниками типичной для теории контрактов конфликтной ситуации «принципал-агент» по договору судового менеджмента. Вместе с тем асимметричная информация (asymmetric(al) information, пер. с англ. «несовершенная информация, неполная информация») на рынке усугубляет конфликт между *судовладельцем* и *менеджером*, вызванный соблазном сторон использовать информацию исключительно в своих целях в противоречие целям противоположной стороны. В связи с этим для *судовладельца* так же, как и для *менеджера* судна является актуальным разработка соответствующего методического обеспечения процессов принятия решений по выполнению договора о судовом менеджменте, которое обеспечит обеим сторонам устойчивое и эффективное взаимодействие.

Анализ последних исследований и публикаций. В результате исследования был изучен и проанализирован ряд источников, посвященных теме исследования:

- в работе [1] выделяются основные субъекты судовладения в сфере морского бизнеса, разграничиваются и уточняются понятия «Фактический Владелец судна» («Owner of the ship», «Real Owner», «Owner», «The Owner», «Ship Owner»), «Судовладелец-распорядитель» («Disponent Owner»), «Чартерный Судовладелец» («Chartered Owner») или Тайм-Чартерный Судовладелец («Time Chartered Owner»), «Судовладелец-менеджер» или «Управляющий Судовладелец» («Managing Owner»);

- в статье [2] рассматриваются альтернативные варианты распоряжения судном, среди которых продажа судна, отфрахтование судна, сдача судна на слом, постанова на прикол.

- в учебно-практическом пособии [3] излагаются основные аспекты теории и практики судового менеджмента, выделяются этапы его развития, освещается отечественный опыт судового менеджмента государственными компаниями, выявляются потенциальные клиенты менеджерских компаний, рассматривается их организационно-правовая структура и особенности проведения маркетинговой политики;

- в исследовании [4] раскрывается понятие «управление судном», проводится сравнительный анализ понятий «управление работой судна (флота)» и «судовой менеджмент» в контексте профессиональной сферы морского бизнеса;

- в учебниках [5-9] рассматриваются подходы к анализу контрактов в рамках новой институциональной экономической теории, освещаются проблемы неблагоприятного отбора, морального риска, дается формальный анализ феномена рыночных сигналов, приводятся классические примеры проявлений таких сигналов в реальных взаимодействиях;

- в изданиях [10, 11] раскрываются определения «асимметричной информации» и «институциональной ловушки», формулируется проблема «принципал-агент» и приводятся способы ее решения;

- в источнике [12] излагаются основы современной теории игр;

- в работах [13-16] решение проблем, связанных с организацией и управлением на морском транспорте, осуществляется с использованием методологического аппарата теории игр. Так в статье [13] предлагаются модели учета финансовых интересов судовладельца и фрахтователя в процессе ведения переговоров по заключению сделки на фрахтование судна на рейсовых условиях. В монографии [14] задача формирования графика работы флота на основе информации «декадного» уровня решается на основе модели и методов теорий бескоалиционных игр и оптимального управления. В работе [15] теория игр представляется как один из методов ценообразования на услуги кон-

тейнерних перевозок. В источнике [16] предлагается использование теоретико-игровой модели для описания навигационных ситуаций, что позволяет адекватно представить динамику процессов расхождения судов и обеспечивает возможность поддержки принятия решений по управлению судном в режиме реального времени.

Цель статьи. Целью исследования является обеспечение устойчивого и эффективного взаимодействия *судовладельца с менеджером* судна путем разработки теоретических и методических положений по обеспечению процессов принятия решений по выполнению договора о судовом менеджменте.

Изложение основного материала исследования. На мировом рынке судоходства функционируют различные субъекты морских правоотношений. Для целей данной статьи ограничим их круг и рассмотрим взаимоотношения между *судовладельцем* и менеджерской компанией (далее *менеджером*). Поведение (добросовестное или недобросовестное) указанных лиц определяет их «тип». Причем, очевидно, что каждая сторона точно осведомлена только о своем собственном «типе». «Тип» противоположной стороны является для нее предположительным. Другими словами, обеим сторонам не известны реальные «типы» (стратегии поведения) друг друга. Это, в свою очередь, порождает недобросовестный отбор (англ. *adverse selection*) [11]. Так, например, *судовладелец*, зная о существовании добросовестных и недобросовестных *менеджеров*, считает для себя целесообразным «подстраховаться» и заключить договор судового менеджмента со средней величиной вознаграждения, поскольку не знает, заслуживает ли *менеджер* большего (т. е. не знает его «тип»). В свою очередь, недостаточное вознаграждение влечет за собой отказ от работы *добросовестного менеджера*, поскольку он уверен в качестве своих услуг и не намерен вкладывать в работу больше, чем получает. *Недобросовестный же менеджер* согласится подписать договор с такой величиной вознаграждения, т. к. оно, в любом случае, превышает затраты на усилия *менеджера*. В рассмотренной ситуации теоретически недобросовестные менеджеры вытесняют добросовестных. Несмотря на то, что «тип» *судовладельца* или *менеджера* достаточно сложно определить заранее, существуют некоторые способы предотвращения недобросовестного отбора еще до подписания договора [8]:

- *распознавание сигналов* в соответствии с информацией, которую сторона договора подает касательно своего «типа». Так, например, множество лицензий и наград у компании-менеджера, документы, подтверждающие квалификацию сотрудников этой компании, возможность предложить *судовладельцам* круглосуточный сервис в различных регионах, наличие деловых контактов с фрахтователями и брокерами, длительный опыт работы на рынке – все это информация, которая «подает сигналы» о качестве предоставляемых *менеджером* услуг. Однако, недостаток этого способа состоит в том, что сигналы могут не отражать истинного положения дел, например, документы, предоставляемые *менеджером*, могут оказаться поддельными, а информация – ложной.

- *фильтрация* заключается в применении договоров, в которых выбор стороны является сигналом о его типе. Например, *менеджеры*, соглашающиеся на фиксированное вознаграждение, вряд ли будут стремиться к улучшению показателей *судовладельца*;

- *рационализация* состоит в том, что сторона договора выдвигает ряд требований, напрямую не связанных с предметом договора. Например, *менеджер* может запросить документы, подтверждающие тот факт, что на судно не наложен арест;

- *прописать полный контракт*, что, однако, не представляется возможным в сфере судового менеджмента, поскольку помимо внутренних взаимодействий в системе «судовладелец-менеджер», договор судового менеджмента предполагает внешние взаимодействия «менеджер-агенты». В этом контексте под агентами понимаются букинг-агенты, экспедиторские компании, судовые агенты, крьюинговые и менинговые компании, шипчандлерские, судоремонтные заводы и т. п. В связи с этим, очевидно, что

прописать все возможные последствия таких взаимодействий не представляется возможным.

Как указывалось выше, цель *менеджера* может быть достигнута и одновременно с целью *судовладельца*, если, например, *менеджер* достаточно мотивирован вознаграждением, прописанным в договоре судового менеджмента или другими условиями соглашения. В противном случае, *менеджер* будет работать недобросовестно, стараясь укрыть часть доходов. Такое поведение называется оппортунистическим (opportunity, пер с англ. «удобный случай», «возможность») [9]. Так же, как и о своем «типе», о мотивированности *менеджера* до выполнения договора знает только сам *менеджер*. Причем, повышение вознаграждения не является единственным фактором мотивации к добросовестной работе и нацеленности на интересы *судовладельца*. Так, например, когда вознаграждение представляет собой установленную долю (процент) от прибыли, то *менеджер* может увеличить эту прибыль за счет, экономии на качестве снабжения, экипаже, предоставляя, таким образом, на рынке морских перевозок заведомо некачественную услугу. *Менеджер* может быть также мотивирован вознаграждением будущих периодов, т. е. рассчитывать на достойное вознаграждение от *судовладельца* в будущем за качественные результаты работы в настоящем. О добросовестности *судовладельца* в отношении оплаты труда до выполнения соглашения известно также только *судовладельцу*. Так, например, даже при хорошей работе *менеджера*, *судовладелец* может пересмотреть вознаграждение по договору судового менеджмента в сторону снижения, ссылаясь на ухудшение конъюнктуры рынка и т. д. Узнать наверняка о качестве выполнения соглашения с обеих сторон до его подписания не представляется возможным, поскольку каждой стороне известно о себе больше, чем другой стороне, и средства к достижению цели при этом используют разные.

Это подтверждает неполноту контракта, асимметричность информации, а также конфликт интересов *судовладельца* и *менеджера*. Кроме того, средства, затрачиваемые на контроль за качеством выполнения договора о судовом менеджменте составляют значительную часть в транзакционных издержках (transactional expenses) *судовладельца*, в связи с чем, ему выгодно избежать мониторинга в некоторых аспектах деятельности *менеджера*, а *менеджеру* – злоупотребить отсутствием мониторинга со стороны *судовладельца*. Здесь важно отметить, что достаточная мотивация *менеджера* и мониторинг управляющей компании являются основными инструментами в разрешении конфликта такого рода [9]. Однако, как уже обозначалось, *судовладелец* не знает об уровне мотивированности *менеджера* и связанным с ней качеством выполнения контракта. А *менеджер*, в то же время, не знает о качестве системы контроля его деятельности со стороны *судовладельца*. Вместе с тем, описанные выше превентивные меры (распознавание сигналов, фильтрация и т. д.) не являются универсальными. Кроме того, их использование не гарантирует достоверной информации о «типах» сторон соглашения. При этом каждой из сторон необходимо одновременно выработать стратегию в отношении качества выполнения соглашения. Конфликт между *менеджером* и *судовладельцем*, в свою очередь, достигая определенных масштабов, является флуктуацией, способствующей нарушению равновесия в системе взаимодействия соответствующих субъектов морских правоотношений. Во избежание последнего необходимо выработать соответствующие решения по выбору стратегии каждой из сторон при возможных вариантах стратегий противоположной стороны. Для этого формализуем теоретико-игровой подход к созданию модели конфликтного взаимодействия *судовладельца* и *менеджера* судна.

Постановка задачи. На этапе $t = 0$ *судовладелец* (С) и *менеджер* (М) заключают договор судового менеджмента. Согласно договору, М обязуется действовать в инте-

ресех C , а C , в свою очередь, обязуется выплачивать M вознаграждение (B). Причем вознаграждение подлежит пересмотру на этапе $t+1$.

При этом для C и M существует соответственно $A_i^C (A_1^C, A_2^C, \dots, A_i^C, \dots, A_m^C)$ и $A_j^M (A_1^M, A_2^M, \dots, A_j^M, \dots, A_n^M)$ возможных вариантов стратегий поведения по выполнению договора. При этом ни одной из сторон не известно, какую стратегию поведения выберет противоположная сторона. Необходимо решить игру, что предполагает определение наилучшего сочетания стратегий C и M с точки зрения разрешения конфликта и обеспечения устойчивого и эффективного взаимодействия по договору.

При решении игры стоит обратить внимание на то, что де-юре *судовладелец* и *менеджер* по договору судового менеджмента являются партнерами (союзниками), сотрудничество которых направлено на общее дело. Однако, де-факто они выступают в качестве антагонистов (конкурентов), что целесообразно учесть в рассматриваемой модели их взаимодействия. В связи с этим, игра идентифицируется как некооперативная (рис. 1).



Рис. 1. Классификация игры судовладельца с менеджером судна

Важно отметить, что рассматриваемая теоретико-игровая модель предполагает разыгрывание игры единожды, т. е. игроки (судовладелец и менеджер) не переигрывают ее. Другими словами, выбирая стратегию поведения один раз, они не меняют ее после распознавания стратегии («типа») противоположной стороны. Для решения игры необходимо сформировать матрицу выигрышей, которая в общем случае будет иметь следующий вид (табл. 1).

Таблиця. 1. Матриця виигрышей в игре между судовладельцем и менеджером судна

СТРАТЕГИЯ СУДОВЛАДЕЛЬЦА A_i^C ($A_1^C, A_2^C, \dots, A_i^C, \dots, A_m^C$)	СТРАТЕГИЯ МЕНЕДЖЕРА СУДНА $A_j^M (A_1^M, A_2^M, \dots, A_j^M, \dots, A_n^M)$					
	A_1^M	A_2^M	...	A_j^M	...	A_n^M
A_1^C	P_{11}^M P_{11}^C	P_{12}^M P_{12}^C		P_{j1}^M P_{1j}^C		P_{n1}^M P_{1n}^C
A_2^C	P_{21}^M P_{21}^C	P_{22}^M P_{22}^C		P_{j2}^M P_{2j}^C		P_{n2}^M P_{2n}^C
...	...	...	...	...	...	...
A_i^C	P_{i1}^M P_{i1}^C	P_{i2}^M P_{i2}^C		P_{ji}^M P_{ij}^C		P_{ni}^M P_{in}^C
...	...	...	...	...	...	...
A_m^C	P_{m1}^M P_{m1}^C	P_{m2}^M P_{m2}^C		P_{jm}^M P_{mj}^C		P_{nm}^M P_{mn}^C

Теория игр не раскрывает дефиниции «решение игры», однако предлагает множество самих способов решения, среди основных – доминирующие стратегии, исключение доминированных стратегий, осторожные (максиминные) стратегии, равновесие Нэша.

Доминирующие стратегии. Доминирующей называют стратегию (A_i^C / A_j^M), которая приносит игроку (судовладельцу/менеджеру) результаты (P_{ij}^C / P_{ji}^M) не хуже, чем любая другая его стратегия вне зависимости от стратегии, выбранной другим игроком (менеджером/судовладельцем). Чтоб определить, существует ли такая стратегия для каждого игрока, сначала необходимо найти максимальные значения виигрышей ($P_{ij}^{C(\max j)} / P_{ji}^{M(\max i)}$) игроков (судовладельца/менеджера) при каждой стратегии, выбранной другим игроком (менеджером/судовладельцем) (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{i1}^{C(\max j)} = \max\{P_{11}^C; P_{21}^C; \dots; P_{i1}^C; \dots; P_{m1}^C\}; \\ P_{i2}^{C(\max j)} = \max\{P_{12}^C; P_{22}^C; \dots; P_{i2}^C; \dots; P_{m2}^C\}; \\ \dots; \\ P_{ij}^{C(\max j)} = \max\{P_{1j}^C; P_{2j}^C; \dots; P_{ij}^C; \dots; P_{mj}^C\}; \\ \dots; \\ P_{in}^{C(\max j)} = \max\{P_{1n}^C; P_{2n}^C; \dots; P_{in}^C; \dots; P_{mn}^C\}. \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} P_{j1}^{M(\max i)} = \max\{P_{11}^M; P_{21}^M; \dots; P_{j1}^M; \dots; P_{n1}^M\}; \\ P_{j2}^{M(\max i)} = \max\{P_{12}^M; P_{22}^M; \dots; P_{j2}^M; \dots; P_{n2}^M\}; \\ \dots; \\ P_{ji}^{M(\max i)} = \max\{P_{i1}^M; P_{i2}^M; \dots; P_{ji}^M; \dots; P_{jm}^M\}; \\ \dots; \\ P_{jm}^{M(\max i)} = \max\{P_{1m}^M; P_{2m}^M; \dots; P_{jm}^M; \dots; P_{nm}^M\}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Если все максимальные значения выигрышей $(P_{ij}^{C(\max j)} / P_{ji}^{M(\max i)})$ игрока (судовладельца/менеджера) соответствуют одной из его стратегий (A_i^C / A_j^M) , то такая стратегия является доминирующей (A_i^C / A_j^M) (2).

$$\{P_{ij}^{C(\max j)}\} \in A_i^C \Rightarrow A_i^C; \quad \{P_{ji}^{M(\max i)}\} \in A_j^M \Rightarrow A_j^M \quad (2)$$

Считается, что если среди прочих стратегий у игрока имеется доминирующая, то игроку рекомендуется следовать именно этой стратегии. Стоит отметить, что наличие доминирующих стратегий – весьма редкий случай, особенно если такие стратегии имеются у обоих игроков.

Исключение доминированных стратегий. Доминированной называют стратегию (A_i^C, A_j^M) , которая приносит игроку (судовладельцу/менеджеру) результаты (P_{ij}^C / P_{ji}^M) не лучше, чем любая другая его стратегия вне зависимости от стратегии, выбранной другим игроком (менеджером/судовладельцем). Чтобы определить, существует ли такая стратегия для каждого игрока, сначала необходимо найти минимальные значения выигрышей $(P_{ij}^{C(\min j)} / P_{ji}^{M(\min i)})$ игроков (судовладельца/менеджера) при каждой стратегии, выбранной другим игроком (менеджером/судовладельцем) (3).

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{i1}^{C(\min j)} = \min\{P_{11}^C, P_{21}^C, \dots, P_{i1}^C, \dots, P_{m1}^C\}; \\ P_{i2}^{C(\min j)} = \min\{P_{12}^C, P_{22}^C, \dots, P_{i2}^C, \dots, P_{m2}^C\}; \\ \dots\dots\dots; \\ P_{ij}^{C(\min j)} = \min\{P_{1j}^C, P_{2j}^C, \dots, P_{ij}^C, \dots, P_{mj}^C\}; \\ \dots\dots\dots; \\ P_{in}^{C(\min j)} = \min\{P_{1n}^C, P_{2n}^C, \dots, P_{in}^C, \dots, P_{mn}^C\}. \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} P_{j1}^{M(\min i)} = \min\{P_{11}^M, P_{21}^M, \dots, P_{j1}^M, \dots, P_{n1}^M\}; \\ P_{j2}^{M(\min i)} = \min\{P_{12}^M, P_{22}^M, \dots, P_{j2}^M, \dots, P_{n2}^M\}; \\ \dots\dots\dots; \\ P_{ji}^{M(\min i)} = \min\{P_{1i}^M, P_{2i}^M, \dots, P_{ji}^M, \dots, P_{ni}^M\}; \\ \dots\dots\dots; \\ P_{jm}^{M(\min i)} = \min\{P_{1m}^M, P_{2m}^M, \dots, P_{jm}^M, \dots, P_{nm}^M\}. \end{array} \right. \quad (3)$$

Если все минимальные значения выигрышей $(P_{ij}^{C(\min j)} / P_{ji}^{M(\min i)})$ игрока (судовладельца/менеджера) соответствуют одной из его стратегий (A_i^C / A_j^M) , то такая стратегия является доминируемой (A_i^C / A_j^M) (4).

$$\{P_{ij}^{C(\min j)}\} \in A_i^C \Rightarrow \overline{A_i^C}; \quad \{P_{ji}^{M(\min i)}\} \in A_j^M \Rightarrow \overline{A_j^M} \quad (4)$$

Последовательное исключение доминируемых стратегий — часто используемая технология решения или упрощения некооперативных игр. Она основана на предположении о том, что в процессе игры стороны не будут использовать доминируемые стратегии, в связи с чем, их можно не рассматривать при дальнейшем решении.

Осторожные (максиминные) стратегии (ОС). Предполагается, что сторонам соглашения совершенно неизвестно вероятностное распределение выбора стратегии противоположной стороной. Другими словами, стороны не ознакомлены с предпочтениями друг друга (в том числе из-за асимметричности информации на рынке). Поэто-

му, в зв'язи з тим, що гравці не можуть зробити передсказань о стратегії другої сторони, вони повинні орієнтуватися на самий плохой для себе исход. Руководствуясь этим, игрок должен выбрать стратегию с наибольшим гарантированным выигрышем (наименьшим проигрышем). То есть любая стратегия игрока (судовладельца/менеджера) является осторожной (A_i^C / A_j^M), если данной стратегии соответствует выигрыш ($P_{ij}^{C(max\ min)} / P_{ji}^{M(max\ min)}$), который определяется следующим образом (5):

$$\begin{aligned} P_{ij}^{C(max\ min)} &= \max[\min\{P_{11}^C; P_{12}^C; \dots; P_{1j}^C; \dots; P_{1n}^C\}; \min\{P_{21}^C; P_{22}^C; \dots; P_{2j}^C; \dots; P_{2n}^C\}; \dots \\ &\dots; \min\{P_{i1}^C; P_{i2}^C; \dots; P_{ij}^C; \dots; P_{in}^C\}; \dots; \min\{P_{m1}^C; P_{m2}^C; \dots; P_{mj}^C; \dots; P_{mn}^C\}] \\ P_{ji}^{M(max\ min)} &= \max[\min\{P_{11}^M; P_{12}^M; \dots; P_{1i}^M; \dots; P_{1m}^M\}; \min\{P_{21}^M; P_{22}^M; \dots; P_{2i}^M; \dots; P_{2m}^M\}; \dots \\ &\dots; \min\{P_{j1}^M; P_{j2}^M; \dots; P_{ji}^M; \dots; P_{jm}^M\}; \dots; \min\{P_{n1}^M; P_{n2}^M; \dots; P_{ni}^M; \dots; P_{nm}^M\}] \\ P_{ij}^{C(max\ min)} \in A_i^C &\Rightarrow A_i^C; P_{ji}^{M(max\ min)} \in A_j^M \Rightarrow A_j^M \end{aligned} \quad (5)$$

Максиминный подход к принятию решений в условиях неопределенности согласно которому принимается стратегия, в наихудших условиях гарантирующая максимальный выигрыш, именуется также критерием Вальда.

Равновесие по Нэшу (P-НЭШ). Равновесием по Нэшу является такое состояние, при котором ни один из игроков не может улучшить свое положение в одностороннем порядке. Это состояние достигается при одновременной реализации такой стратегии судовладельца A_i^C и такой стратегии менеджера судна A_j^M , которым соответствуют значения выигрышей (P_{ij}^C и P_{ji}^M), определяемые следующим образом (6):

$$\begin{cases} P_{ij}^C = \min[\max\{P_{11}^C; P_{12}^C; \dots; P_{1j}^C; \dots; P_{1n}^C\}; \max\{P_{21}^C; P_{22}^C; \dots; P_{2j}^C; \dots; P_{2n}^C\}; \dots \\ \dots; \max\{P_{i1}^C; P_{i2}^C; \dots; P_{ij}^C; \dots; P_{in}^C\}; \dots; \max\{P_{m1}^C; P_{m2}^C; \dots; P_{mj}^C; \dots; P_{mn}^C\}]; \\ P_{ji}^M = \min[\max\{P_{11}^M; P_{12}^M; \dots; P_{1i}^M; \dots; P_{1m}^M\}; \max\{P_{21}^M; P_{22}^M; \dots; P_{2i}^M; \dots; P_{2m}^M\}; \dots \\ \dots; \max\{P_{j1}^M; P_{j2}^M; \dots; P_{ji}^M; \dots; P_{jm}^M\}; \dots; \max\{P_{n1}^M; P_{n2}^M; \dots; P_{ni}^M; \dots; P_{nm}^M\}]. \end{cases} \quad (6)$$

Важно обратить внимание, что в рассматриваемом случае значения выигрышей (P_{ij}^C и P_{ji}^M) расположены в одной ячейке (на одной строке и в одном столбце) матрицы выигрышей игроков.

Условие (4) соответствует равновесию в чистых стратегиях, однако на практике такое равновесие не всегда достигается. В этом случае задача нахождения равновесия переходит в задачу поиска равновесия в рандомизированных (смешанных) стратегиях, что актуально для многократно повторяемых игр, которой, однако, не является рассматриваемая игра судовладельца и менеджера судна. Кроме того, равновесий по Нэшу может быть несколько.

С точки зрения нормативного подхода, теория игр рекомендует каждому участнику использовать стратегию, которая входит в равновесие Нэша. Это связано с тем, что ни одному из игроков не выгодно отклоняться в одностороннем порядке от выбранной стратегии, что обеспечивает устойчивость взаимодействия сторон.

Однако, с точки зрения позитивного подхода, такой выбор стратегий не всегда является лучшим и обеспечивающим устойчивость взаимодействия. Так, например, если для судовладельца и менеджера равновесие по Нэшу достигается при реализации не-

добросовестных стратегий, то в скором времени это скажется на качестве оказываемых услуг, что нарушит устойчивость во взаимоотношении сторон договора. Кроме того, равновесие по Нэшу может быть неэффективным. Другими словами, существуют такие стратегии *судовладельца* и *менеджера*, выигрыш по которым хотя бы для одного игрока больше, чем выигрыш по равновесным стратегиям. В связи с этим, рассмотрим понятие ситуаций оптимальных по Парето.

Парето-оптимумы (ПО). Оптимальность по Парето – это наличие такой ситуации, при которой за счет изменения стратегии нельзя увеличить выигрыш хотя бы одного игрока так, чтоб при этом не уменьшить выигрыши других игроков. Устойчивый Парето-оптимум достигается при равновесии и означает, что ни одной из сторон не выгодно от него отклониться.

В теории игр предполагается, что оптимальным для игроков является решение о реализации таких стратегий, при которых равновесие по Нэшу является одновременно оптимальным по Парето. Такое сочетание стратегий обеспечивает устойчивое и эффективное взаимодействие. Однако, на практике таких стратегий в некооперативных играх практически не существует, в связи с чем игрокам рекомендуется объединить усилия для обеспечения их устойчивого и эффективного взаимодействия.

Выводы и рекомендации. Таким образом, решение представленной игры для типичных *судовладельца* и *менеджера*, функционирующих на рынке, а также для отдельных их представителей, способствует идентификации сложившихся взаимоотношений между ними. При этом достижение равновесного Парето-оптимума в рассматриваемой игре способствует обеспечению устойчивости и эффективности во взаимодействии. В связи с этим перспективы дальнейшего исследования в заданном направлении заключаются в: 1) идентификации ситуации, типичной для взаимоотношений между *судовладельцем* и *менеджером* судна на рынке; 2) разработке практических рекомендаций для игроков по выбору стратегий, направленных на обеспечение устойчивого и в тоже время эффективного их взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллова, Е.В. Субъекты судовладения в сфере морского бизнеса и в системе морских правоотношений / Е.В. Кириллова, А.Г. Шibaев // Судовождение : сб. научн. тр. / Одесская нац. мор. акад. – Одеса : ИздатИнформ, 2014. – Вып. 24. – С. 75-83. – ISSN 2306-5761
2. Кириллова Е.В. Обоснование диапазонов устойчивости коммерчески целесообразной, допустимо убыточной и кризисной работы судна / Е.В. Кириллова // Східно-Європейський журнал передових технологій : науково-виробничий журнал. – Харків : ЧП «Технологічний Центр», 2015. – № 6(3). – С. 4 – 10. – ISSN 1729-4061 (Online). – ISSN 1729-3774 (Print).
3. Марков В.В. Судовой менеджмент : учебно-практическое пособие / В.В. Марков. – Одесса. : КП ОМД, 2012. – 318 с
4. Кириллова Е.В. Управление работой судна и судовой менеджмент: этимология понятий, генезис развития теории и практики // Е.В. Кириллова // Вісник Одеського національного морського університету : зб. наук. праць. – Одеса : ОНМУ, 2013. – Вип. 3 (39). – С. 210-219. – ISSN 2226-1893
5. Шibaев А.Г. Управление работой флота. Основы теории и практики : учебное пособие / А.Г. Шibaев, Е.В. Кириллова, Ю.И. Кириллов – Одесса : Фенікс, 2012. – 187 с.
6. «SHIPMAN 98» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.infomarine.gr/bulletins/chartering_forms/shipman98.pdf.
7. Тамбовцев, В.Л. Введение в экономическую теорию контрактов: учеб. пособие / В.Л. Тамбовцев. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 144 с.
8. Кузьминов, Я.И. Курс институциональной экономики: институты, сети, транзакционные издержки, контракты: учеб. пособие для студентов вузов / Я.И. Кузьминов, К.А. Бендукидзе, М.М. Юдкевич. – М.: ГУ-ВШЭ, 2006. – 444 с.
9. Юдкевич, М.М. Основы теории контрактов : модели и задачи / М.М. Юдкевич, Е.А. Подколзина, А.Ю. Рябинина. – М.: ГУ ВШЭ, 2002. – 352 с.
10. Виноградова, А.В. Институциональная экономика: теория и практика / А.В. Виноградова. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 70 с.

11. Ковалев, В.В. Курс финансового менеджмента : учебник / В.В. Ковалев. – 3-е издание. – М.: Проспект, 2014. – 556 с.
12. Печерский, С.Л. Теория игр для экономистов. Вводный курс : учебное пособие / С.Л. Печерский, А.А. Беляева. – СПб.: Издательство Европейского университета в Санкт-Петербурге, 2001. – 342 с.
13. Рылов, С.И. Учет расходов судовладельца и фрахтователя при заключении фрахтовой сделки [Электронный ресурс] / С.И. Рылов, Ю.А. Коскина // Сборник научных трудов SWorld. – 2012. – Режим доступа: <http://waw.sworld.com.ua/konfer28/544.pdf>
14. Шибаев А.Г. Подготовка и обоснование решений по управлению перевозками и работой флота морской судоходной компании : монография / А.Г. Шибаев. – Одесса : ХОРС, 1998. – 208 с.
15. Булдаков, А.А. Ценообразование на услуги контейнерных перевозок в РФ / А.А. Булдаков, А.Н. Рахмангулов // Современные проблемы транспортного комплекса России. – Магнитогорск, 2011. – Вып. 1. – С. 138-144.
16. Бень, А.П. Использование теоретико-игровой модели для представления и анализа навигационных ситуаций в системе поддержки принятия решений судоводителя / А.П. Бень // Штучний інтелект. – 2010. – № 3. – С. 439-443.

Ye. V. Kirillova, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(The Head of Sea Ports Operation Chair, Odessa National Maritime University)
Ye. S. Meleshenko
(Postgraduate of Sea Carriages Chair, Odessa National Maritime University)

GAME-THEORETIC APPROACH TO MODELING AND FORMALIZATION RELATIONS BETWEEN THE SHIP-OWNER AND MANAGER COMPANY

Currently the practice of transmission of the property rights for vessel to specialized manager companies is widespread in sphere of maritime business and marine legal system. The most common formality of ship management contract is «SHIPMAN 98». Some of the wordings in this formality indicate the presence of unverifiable variables, that allows to attribute the relevant contract to incomplete contracts. This, in turn, leads to a typical problem for the theory of contracts «principal-agent» associated with asymmetric information. In connection with this research is aimed at ensuring a resistant and effective interaction between the ship-owner and manager of the vessel.

The paper reveals the causes and the main point of conflict between the parties of ship management contract – the ship-owner and manager of the vessel. Being based on the theoretical tools of game theory, methodical provisions to ensure the decision-making processes for the implementation of ship management contract. For this purpose, the model of conflict relations between ship-owner and manager of the vessel is formalized and classified, the typical strategies of the players are described. As the same time, the possible solutions of this game is presented, they are to achieve a sustainable and at the same time effective interaction of players, which in most cases is achieved through their cooperation.

The game solution for typical ship-owner and manager, operating in the market, as well as some of their representatives, facilitates the identification of the existing relations and the implementation of strategies, ensuring their resistance and efficiency.

Keywords: ship-owner, manager of the vessel, ship management contract, conflict, game, Nash equilibrium, Pareto-optimality, resistance.

REFERENCES

1. Kirillova Ye.V. *Formy sudovladenija v sisteme morskih pravootnoshenij* [The forms of shipownings in the maritime legal system] *Sb. nauchn. trudov Sworld* [Bulletin of Sworld], 2012, issue 1, pp. 39-44.

2. Kirillova Ye.V. *Obosnovanie diapazonov ustojchivosti kommercheski celesoobraznoj, dopustimo ubytochnoj i krizisnoj raboty sudna* [Justification of stability ranges of commercially reasonable, allowable loss-making and crisis operation of the vessel] *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], 2015, issue 3, pp. 4-10.
3. Markov V.V. *Sudovoj menedzhment: uchebno-prakticheskoe posobie* [Shipping management: Educational and practical guide]. Odessa, KP OMD, 2012, 318 p.
4. Kirillova E.V. *Upravlenie rabotoj sudna i sudovoj menedzhment: jetimologija ponjatij, genezis razvitiya teorii i praktiki* [Shipping operation and the ship's management: the etymology of the concepts, the genesis of the theory and practice] *Visnik Odes'kogo nacional'nogo morskogo universitetu: zb. nauk. prac'* [Bulletin of the Odessa National Maritime University: Coll. Science. works.], 2013, issue 3(39), pp. 210-219.
5. Shibaev A.G., Kirillova E.V., Kirillov Ju.I. *Upravlenie rabotoj flota. Osnovy teorii i praktiki : uchebnoe posobie* [Fleet work management. Fundamentals of theory and practice: a training manual]. Odessa, Feniks, 2012, 187 p.
6. «SHIPMAN 98». Available at: http://www.infomarine.gr/bulletins/chartering_forms/shipman98.pdf.
7. Tambovtsev V.L. *Vvedenie v jekonomicheskiju teoriju kontraktov* [Introduction to the economic theory of contracts]. Moscow, INFRA-M, 2004, 144 p.
8. Kuzminov Ya.I. *Kurs institucional'noj jekonomiki: instituty, seti, tranzakcionnye izderzhki, kontrakty* [Course of Institutional Economics: Institutions, networks, transaction costs, contracts]. Moscow, GU-VSHE, 2006, 444 p.
9. Yudkevich M.M., Podkolzina Ye.A., Ryabinina A.Yu. *Osnovy teorii kontraktov: modeli i zadachi* [Fundamentals of the theory of contracts: models and problems], Moscow, GU-VSHE, 2002, 352 p.
10. Vinogradova A.V. *Institucional'naja jekonomika: teorija i praktika* [Institutional Economics: Theory and Practice], Nizhny Novgorod, 2012, 70 p.
11. Kovalyov V.V. *Kurs finansovogo menedzhmenta* [The course of financial management], Moscow, Prospect, 2014, 556 p.
12. Pecherskiy S.L., Belyaeva A.A. *Teorija igr dlja jekonomistov. Vvodnyj kurs* [Game theory for economists. Introductory course], St.Pb., 2001, 342 p.
13. Rylov S.I., Koskina Yu. A. *Uchet rashodov sudovladel'ca i frahtovatelja pri zakljuchenii frahtovoj sdelki* [Cost account of shipowner and charterer in fixture] Available at: <http://waw.sworld.com.ua/konfer28/544.pdf>
14. Shibaev A.G. *Podgotovka i obosnovanie reshenij po upravleniju perevozkami i rabotoj flota morskoy sudohodnoj kompanii : monografija* [Preparation and justification of solutions for the management and operation of transportation maritime shipping company's fleet: a monograph], Odessa, HORS, 1998, 208 p.
15. Buldakov A.A., Rahmangulov A.N. *Cenoobrazovanie na usluzhi kontejnernih perevozok v RF* [Pricing for the services of container transportation in Russia] *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern problems of the transport complex of Russia], 2011, issue 1, pp. 138-144.
16. Ben A.P. *Ispolzovanie teoretiko-igrovoy modeli dlja predstavlenija i analiza navigacionnyh situacij v sisteme podderzhki prinjatija reshenij sudovoditelja* [Using game theoretic models for the presentation and analysis of situations in navigational decision support system of navigator] *Shtuchnyj intellekt* [Piece intelligence], 2010, issue 3, pp. 439-443.

УДК 656.025.2

А. А. Поздняков

(ТОВ «ТОР Консалтинг», м. Київ)

В. К. Мироненко, д.т.н., професор

(завідувач кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць»

Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

О. О. Позднякова

(ТОВ «ТОР Консалтинг», м. Київ)

О. М. Гудков, к.е.н.

(доцент кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ФОРМУВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПРИМІСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У ВЕЛИКИХ МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЯХ

У статті проведено аналіз факторів, що впливають на обсяги та структуру приміських залізничних перевезень. Ці перевезення залишаються в цілому збитковими, але аналіз потенційного транспортного ринку цих перевезень, виконаний для Київського регіону, показує, що на цьому ринку можна виділити достатньо платоспроможні сегменти. Це мешканці котеджних містечок, що інтенсивно розбудовуються навколо Києва та інших великих міст України, які можуть користуватися послугами приміських поїздів підвищеного комфорту за відповідними тарифами в якості альтернативи поїздам на приватних авто. Проаналізовано фактори, що впливають на формування цього сегменту транспортного ринку та запропонована оригінальна методика оцінки потенційного пасажиропотоку, що утворюється завдяки розвитку приміських котеджних містечок, встановлено, що його достатньо для здійснення регулярного руху приміських поїздів із вагонів підвищеного комфорту.

Ключові слова: пасажирські приміські перевезення, фактори розвитку перевезень, автомобілізація, котеджні містечка, конкурентноспроможність, кількість пасажирів за годину.

В статье проведен анализ факторов, влияющих на объемы и структуру пригородных железнодорожных перевозок. Эти перевозки остаются в целом убыточными, но анализ потенциального транспортного рынка этих перевозок, выполненный для Киевского региона, показывает, что на этом рынке можно выделить достаточно платежеспособные сегменты. Это жители коттеджных городков, интенсивно строящихся вокруг Киева и других крупных городов Украины, которые могут пользоваться услугами пригородных поездов повышенного комфорта по соответствующим тарифам в качестве альтернативы поездкам на частных авто. Проанализированы факторы, влияющие на формирование этого сегмента транспортного рынка и предложена оригинальная методика оценки потенциаль-

© Поздняков А. А., Мироненко В. К., Позднякова О. О., Гудков О. М., 2016

ного пассажиропотока, который образуется благодаря развитию пригородных коттеджных городков, установлено, что его достаточно для осуществления регулярного движения пригородных поездов из вагонов повышенной комфортности.

Ключевые слова: пассажирские пригородные перевозки, факторы развития перевозок, автомобилизация, коттеджные городки, конкурентоспособность, количество пассажиров в час.

Приміські перевезення є дуже важливим, соціально значущим, але, напевне, найбільш проблемним сегментом ринку пасажирських перевезень залізниць України, в якому високий, регулярний, проте часто неплатоспроможний попит на транспортні послуги не завжди забезпечується їх кількістю та якістю, а витрати далеко не вповні покриваються доходами від продажу квитків і недостатньо компенсуються бюджетами місцевих органів самоврядування. Тому реформування та підвищення ефективності пасажирських, зокрема приміських перевезень, є одним з пріоритетів розвитку залізничного транспорту [1, 2]. В даній статті буде проаналізовано динаміку та фактори, що впливають на структуру приміських залізничних перевезень, формують платоспроможний попит на них та посилюють потенціал конкурентоспроможності залізничних приміських пасажирських перевезень.

1. Динаміка та обсяги пасажирських приміських перевезень

Розгалужена мережа залізниць України та її великі провізні можливості, регулярність і універсальність перевезень, незалежно від пори року і кліматичних умов, навіть при жорсткій конкуренції з автомобільним транспортом, визначають важливу роль залізничних пасажирських приміських перевезень у транспортному обслуговуванні великих міст [19]. Досить сказати, що 85,9 % від загальної кількості перевезених пасажирів у 2013 році перевезено приміськими поїздами. Виконуючи важливу соціальну функцію, часто за рахунок власних ресурсів і без належної підтримки держави, залізничний транспорт забезпечує потреби населення в пасажирських перевезеннях [1].

При усіх очевидних перевагах залізничного транспорту у приміських перевезеннях пасажирів, останніми роками спостерігаються такі явища як скорочення кількості приміських поїздів, що зумовлено недостатньою компенсацією місцевими бюджетами збитків від приміських перевезень, які несуть залізничні перевізники при перевезеннях пільгових категорій пасажирів, які складають більше половини пасажиропотоку.

Взагалі, збитковість залізничних приміських перевезень (як через притаманну їм високу собівартість, так і через недостатню компенсацію), була і є «притчею во язицех». Одне із питань, яке буде розглянуто нижче, це – чи можна цьому якось зарадити, зокрема за рахунок збільшення доходів від перевезень шляхом пропозиції нових транспортних послуг для більш платоспроможних сегментів ринку (простіше кажучи, шляхом орієнтації на більш заможних пасажирів). Гострі проблеми приміських залізничних перевезень особливо виразно проявляються у великих міських агломераціях, зокрема Київській та навколо неї, тому далі представлені деякі результати досліджень саме для Київського регіону.

За даними Головного управління статистики у Київській області [20], у 2015 році автомобільним транспортом було перевезено майже 102 млн. пасажирів (з урахуванням перевезень, здійснених фізичними особами, а залізничним транспортом менше 85,5 млн. пасажирів. Починаючи із 2006 року спостерігається стрімке зростання обсягів перевезень, що зумовлене різними причинами (рис. 1). Порівняно із 2006 роком у 2015 році обсяги перевезень збільшились майже в два рази (на 159 %). На сьогодні разом із приміським залізничним транспортом обсяг перевезених пасажирів, а відповідно і ємність ринку приміських та міських пасажирських перевезень у Києві та Київській області, становить приблизно 200 мільйонів пасажирів на рік. Проте цей попит

на перевезення, особливо приміським залізничним транспортом, є значною мірою неплатоспроможним (більше половини перевезених пасажирів складають пенсіонери та інші пільгові категорії).

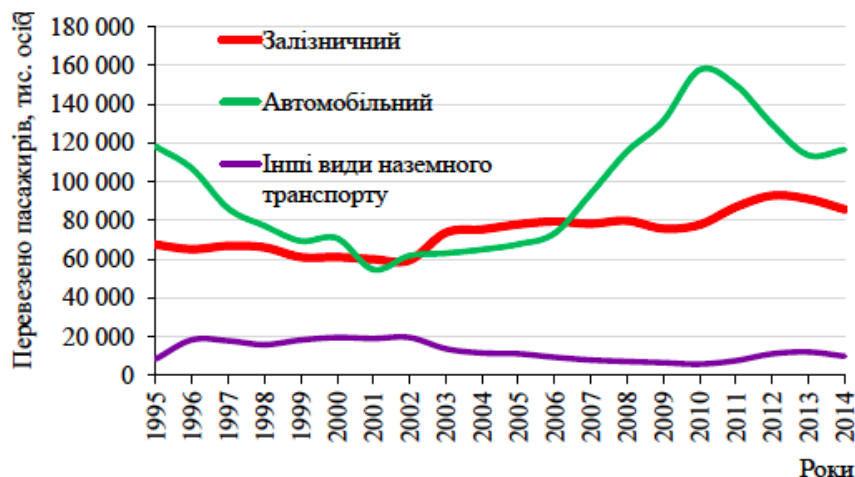


Рис. 1. Динаміка перевезень пасажирів різними видами транспорту в межах Київської області за 1995-2014 рр.

Організація приміських пасажирських перевезень на залізничному транспорті повинна, з одного боку, найбільш повно задовольняти потреби пасажирів, а з іншого, – забезпечувати найкраще використання перевізних засобів [16]. І тут можна стверджувати, що наразі ні одна, ні друга вимога у повній мірі не задовольняються, адже усім відомо і про скорочення числа приміських поїздів, і про погані умови проїзду в них, і про інші проблеми, від яких потерпають і пасажирів, і перевізники.

2. Аналіз факторів, що впливають на обсяги та структуру приміських залізничних перевезень

Серед факторів, що впливають на обсяги та структуру приміських залізничних перевезень є позитивні – фактори зростання (такі, що збільшують обсяги перевезень) та негативні – фактори зменшення (такі, що їх зменшують).

Серед позитивних факторів зростання, що впливають на розвиток приміських залізничних перевезень слід відзначити наступні:

- Ціни на паливе, що постійно зростають;
- Розвиток приміської житлової забудови;
- Стан мережі автомобільних доріг, який є незадовільним;
- Безпека дорожнього руху автомобільного транспорту, стан якої значно гірший, ніж безпеки пасажирів залізничного транспорту.

Слід зазначити, що фактору розвитку приміської забудови, на нашу думку, досі не приділялося належної уваги, у той же час він стає усе більш вагомим, про що буде сказано нижче.

З негативних факторів зменшення залізничних приміських перевезень можна зазначити такі:

- Конкуренція з боку автомобільних та автобусних перевезень;
- Автомобілізація населення.

2.1. Фактор зменшення – автомобілізація населення

Розглянемо вплив фактору автомобілізації населення. Хоча на вулицях Києва постійні затори і припаркувати машину ніде, але, насправді, автомобілів в Україні мало. І

справжній автомобільний бум Україні ще тільки належить пережити.

Авториннок завжди випереджав економіку країни, в яку б сторону вона не рухалася: спершу він ріс швидше, ніж економіка в цілому, а під час кризи – впав глибше решти економіки. Наприклад в 2011 році було продано 220619 нових легкових автомобілів, а в 2015 – лише 46443 шт. [26].

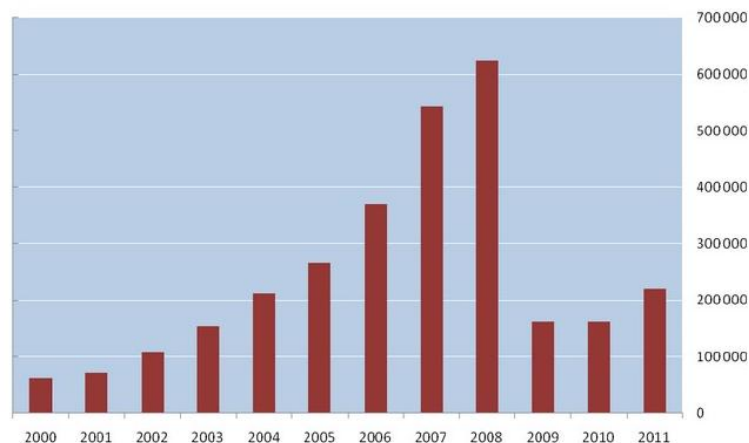


Рис. 2. Продаж легкових автомобілів 2000-2015 рр.

Як бачимо, за рівнем продажів 2015 рік майже відповідає 2000-му року, коли було продано усього 50 тис. легкових автомобілів.

Варто уваги те, що українці почали купувати набагато більше автомобілів, які умовно можна віднести до класу позашляховиків: сюди потрапляють і справжні позашляховики, і т.зв. «паркетники» класу SUV (для більш заможних верств населення). З 2004 року частка автомобілів SUV-класу (позашляховики та паркетники) постійно росла, і до 2012 року потроїлася: з 7,8% до 23,7%. Одночасно з 23,1% до 11,1% впала частка невеликих автомобілів класу.



Рис. 3. Структура продажу автомобілів за класом

Все це пов'язано з одночасною купівлею землі та житла в приміській зоні. Зазначимо, що придбання дорогих автомобілів і заміського житла потенційно генерує нові платоспроможні пасажиропотоки, які могли б користуватися приміським залізничним транспортом, якби він міг забезпечити їм належні комфортні та безпечні умови швидкого проїзду (гарантовано без заторів та спізень). Крім того, заможні власники приміського житла та автомобілів потребують певної кількості обслуги, яка, скоріше за все, буде добиратися до місця роботи і назад приміськими поїздами.

Аналізуючи ринок автомобілів України, треба порівняти з іншими країнами рівень її автомобілізації. На початок 2009 року парк легкових автомобілів в Україні становив 7 млн штук. У сусідній Росії було 30 млн, а в Польщі – 12,4 млн [22]. Сам по собі цей показник не говорить ні про що, але якщо поділити число авто на число людей, що живуть у країні, ми отримаємо уявлення про рівень автомобілізації населення.

Таблиця 1. Кількість легкових автомобілів по країнах світу

Країна	Кількість легкових авто	Населення, тис. чол.	Кількість легкових авто на 1000 чол.
Україна	7 003 000	46 205	151.56
Росія	30 000 000	142 499	210.53
Польща	12 400 000	38 157	324.97
США	135 400 000	295 507	458.20
Великобританія	27 765 000	58 531	474.36
Франція	30 100 000	61 647	488.26
Німеччина	46 247 000	82 599	559.90

Наша країна має найнижче число легкових автомобілів на душу населення. У Росії цей показник вищий на 38%, а в сусідній Польщі – більш, ніж в два рази. Інші обрані для порівняння країни випереджають нас ще більше. Цей показник підтверджує, що рівень автомобілізації України суттєво менше розвинених країн світу. Тому можемо припустити, що при зростанні економіки на нас чекає справжній автомобільний бум.

Таблиця 2. Кількість легкових автомобілів на 1 км дороги в країні

Країна	Кількість легкових авто	Протяжність автодорог, км	Кількість легкових авто на 1 км дороги	Площа, км ²	Щільність дорожньої мережі, км/км ²	Кількість авто на 1 км ²
Україна	7 003 000	169 422	41,33	603 700	0,28	11,6
Росія	30 000 000	532 393	56,35	17 075 400	0,03	1,8
Польща	12 400 000	377 694	32,83	323 250	1,17	38,4
США	135 400 000	6 430 351	21,06	9 629 091	0,67	14,1
Велика Британія	27 765 000	398 350	69,7	230 000	1,73	120,7
Франція	30 100 000	965 000	31,19	551 500	1,75	54,6
Німеччина	46 247 000	644 441	71,76	357 022	1,81	129,5

Так само важливим фактором при аналізі ринку автомобілів має значення показник рівня наповненості доріг. Щільність дорожньої мережі в нашій країні недостатня: в порівнянні за площею Франції на квадратний кілометр площі припадає 1,8 км автодоріг, в той час, як у нас – тільки 0,28 км.

З іншого боку, порівняно недостатня протяжність доріг, безсумнівно, внесе корективи у зростання парку автомобілів. Уже сьогодні на 1 км доріг в Україні припадає 41 автомобіль, в той час, як у Польщі – 33, у Франції – 31 автомобіль. Найвища щільність автомобілів – у Німеччині і Великобританії. На основі цього показника можна припустити що при збільшенні продажу автомобілів в Україні може з'явитися ще більша кількість заторів на дорогах особливо приміського значення, тому що їх розширення, покращення якості на сьогодні не враховують в розвитку мережі автомобільних доріг України.

2.2. Фактор зменшення – конкуренція з боку автомобільних та автобусних перевезень

За даними головного управління статистики у Київській області обсяг перевезень автомобільного та автобусного транспорту станом на 2015 рік більше на 15 % в порівнянні з залізничними пасажирськими приміськими перевезеннями. Слід зазначити, що, якби обсяг продажу автомобілів з 2008 по 2011 рік збільшувався, обсяг перевезень автомобільного та автобусного транспорту міг би бути ще більше, ніж залізничні перевезення. Можемо прогнозувати, що при покращенні економічної ситуації та, як наслідок, збільшенні обсягу продажу автомобілів, знову буде збільшуватися обсяг перевезень автомобільного та автобусного транспорту. Це може негативно вплинути на обсяг перевезень залізничним транспортом, якщо він не запропонує потенційним користувачам якісно нових, кращих умов проїзду.

2.3. Фактор збільшення – стан автомобільних мереж

Розглянемо як позитивний фактор, що впливає на потенційне збільшення частки залізничного транспорту у приміських перевезеннях. Відомо, що мережа автомобільних доріг загального користування України поділяється на дороги державного значення – 52,0 тис. км і дороги місцевого значення – 117,6 тис. км (рис. 4).

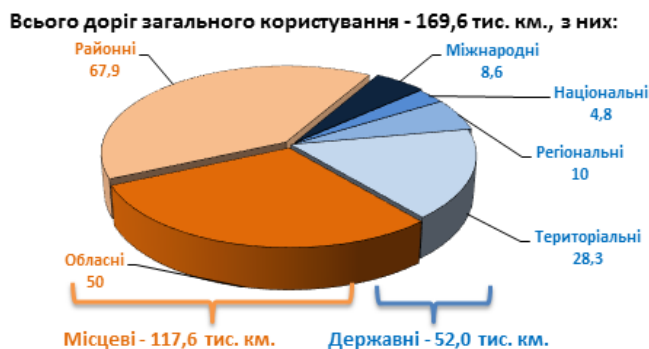


Рис. 4. Структура мережі автомобільних доріг загального користування

У зв'язку з обмеженим фінансуванням біля 90 % автомобільних доріг загального користування не ремонтували понад 30 років. Відтак автомобільні дороги загального користування (169,6 тис. км) не відповідають сучасним вимогам як за міцністю (39,2%) так і за рівністю (51,1%). Такі інфраструктурні труднощі можуть заважати активному автомобільному буму навіть за умов економічного зростання. Час, який піде на побудову інфраструктури автомобільних мереж, можна використати для активного розвитку приміських залізничних перевезень.

2.4. Фактор збільшення – динаміка цін на паливе

Також позитивно на залізничні пасажирські перевезення впливає постійне підвищення цін на паливе, що робить економічно менш привабливими перевезення автомобілем чи автобусом. На рис. 5 приведена динаміка цін на паливе за період 2011-2016 років.

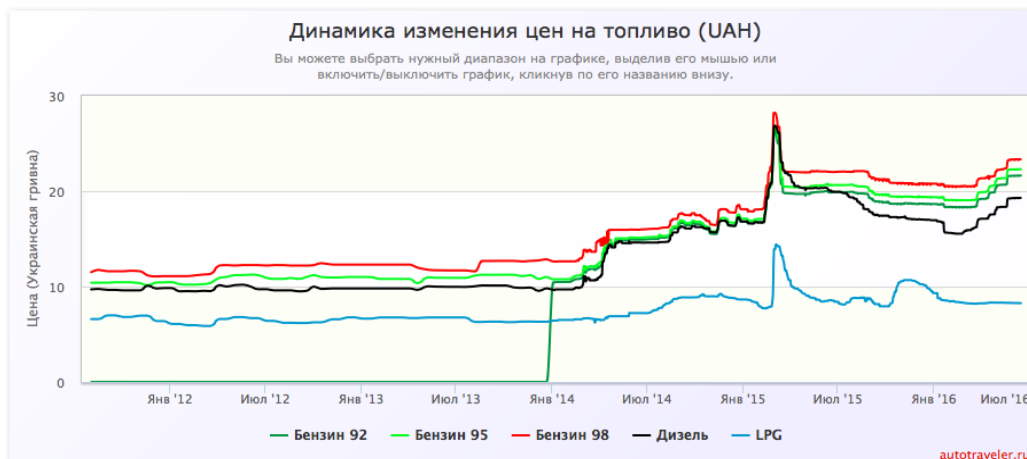


Рис. 5. Динаміка цін на паливе 2011-2016 рік

Окремо слід розглянути питання безпеки пасажирів, що подорожують автомобільним чи залізничним транспортом.

2.5. Фактор збільшення – безпека дорожнього руху автомобільного транспорту та безпека пасажирів залізничного транспорту

Кожні 16 хвилин в Україні відбувається дорожня аварія, і кожні 2 години гине людина. В середньому за день гинуть 14 і одержують травми різного ступеня тяжкості більше 100 чоловік. Більше 90 % смертельно травмованих – люди працездатного віку.

На сьогодні автомобільний транспорт став найбільш небезпечним. Його жертвами стають водії, пасажирів і пішоходи. Нашими дорогами суцільним потоком їдуть (і з великою швидкістю) легкові і вантажні автомобілі, автобуси, мотоцикли. Завжди є небезпека того, що автомобілі зіткнуться один з одним і т.д. Але найгострішою проблемою продовжують залишатися дорожньо-транспортні події на переїздах, у тому числі з особливо тяжкими наслідками.

Незважаючи на стрімке падіння більше ніж в два рази в порівнянні з 2008 роком автомобільних ДТП (рис. 6) [24], кількість автомобільних ДТП значно більше кількості транспортних подій (ТП) на залізниці (рис.7) [25].

Виходячи із прогнозованої кількості автомобілів (а саме 75 тис., див. далі п. 2.6 Фактор збільшення – динаміка розвитку приміської забудови) у власників котеджних містечок навколо Києва та сумної статистики загибелі людей у ДТП (кожні 2 години в Україні, де 7 млн автомобілів, гине на дорогах одна людина), можна порахувати, що при проїзді практично на 100% безпечному залізничному транспорті за рік буде збережено 47 людських життів із числа мешканців котеджних містечок навколо Києва. Ось цей сумний розрахунок:

$$\frac{75000 \text{ авто навколо Києва}}{7000000 \text{ авто по Україні}} \cdot \frac{1 \text{ людина}}{2 \text{ години}} \cdot 24 \frac{\text{год.}}{\text{доб.}} \cdot 365 \frac{\text{доб.}}{\text{рік}} = 46,93 = 47 \frac{\text{людей}}{\text{рік}}.$$

Підвищення рівня транспортної та особистої безпеки людей – це неоціненна перевага залізничного приміського сполучення нової якості!

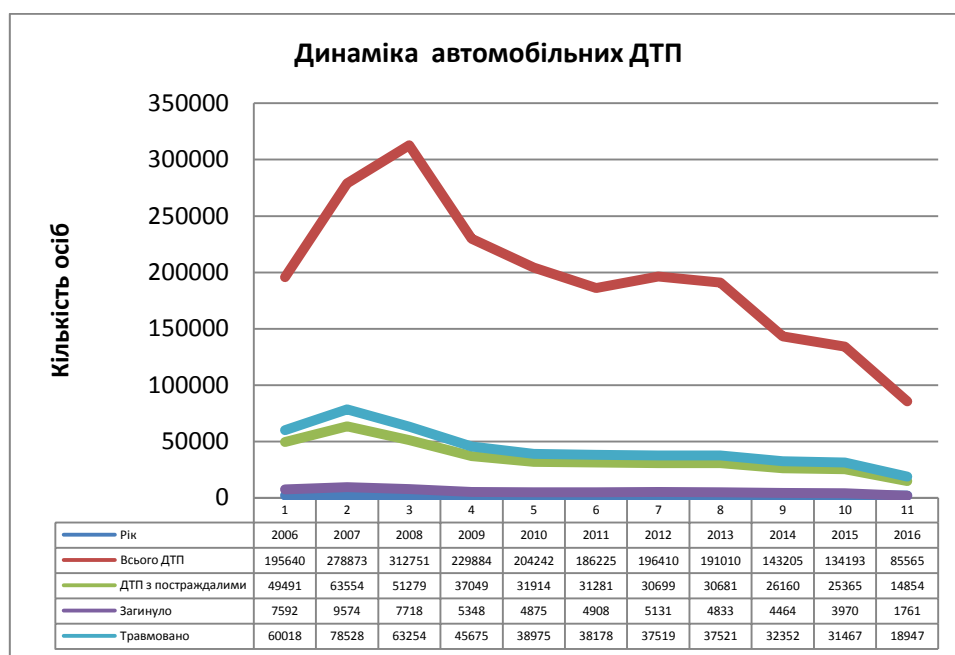


Рис. 6. Динаміка автомобільних ДТП 2006-2016 рік

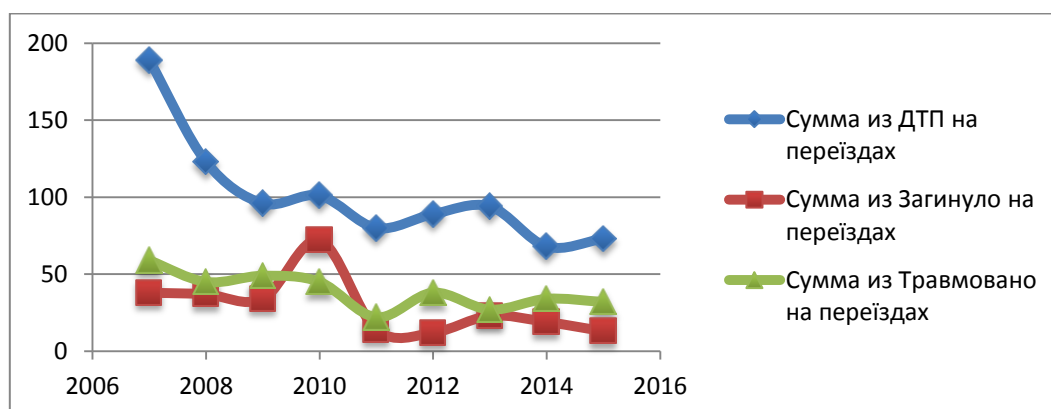


Рис. 7. Динаміка ДТП на переїздах 2007-2015 рр.

Однак є й економічна оцінка таких втрат [27] – «смерть людини у ДТП вартує державі до 400 тисяч доларів», саме цю суму визначили українські та іноземні експерти. У неї входять витрати медичних закладів на лікування потерпілих, державних органів соціального забезпечення (пенсії), одноразові виплати на поховання загиблих, ремонт пошкоджених доріг.

Отже, якісно вищий рівень транспортної та особистої безпеки мешканців котеджних містечок навколо Києва та інших великих міст буде ще одною причиною нової транспортної послуги залізничних приміських перевезень. Саме на цей платоспроможний сегмент ринку слід орієнтуватися залізниці, особливо на етапі реформування.

2.6. Фактор збільшення – динаміка розвитку приміської забудови

Ще одним позитивним фактором розвитку приміського залізничного транспорту, який досі не розглядався належним чином, виступає розвиток приміської забудови. Формування сучасної житлової забудови в приміських зонах великих міст є економі-

рним процесом і одним з наслідків економічного розвитку. Існує цілий ряд факторів, які мають значний вплив на цей процес. В цьому відношенні можна виділяти як позитивні (формування екологічно чистих місць проживання, транспортне розвантаження міста та ін.), так і негативні сторони «субурбанізації» (за аналогією із звичним вже поняттям урбанізації). Наприклад, це збільшення навантаження на природне середовище, переорієнтація традиційного призначення земельних ділянок. Виникає потреба грамотного планування розвитку міських агломерацій, розміщення нових об'єктів житлового фонду та транспортні приміські мережі. При складанні планів розвитку приміських територій потрібно спиратись на існуючі тенденції розвитку забудови та моніторингу її динаміки, при цьому враховувати й аспект транспортного обслуговування населення нових населених пунктів у приміських зонах.

Розглянемо розвиток ринку столичної території в радіусі близько 50 км від меж Києва (рис. 8), а також динаміку цього процесу по роках (рис. 9) [23].

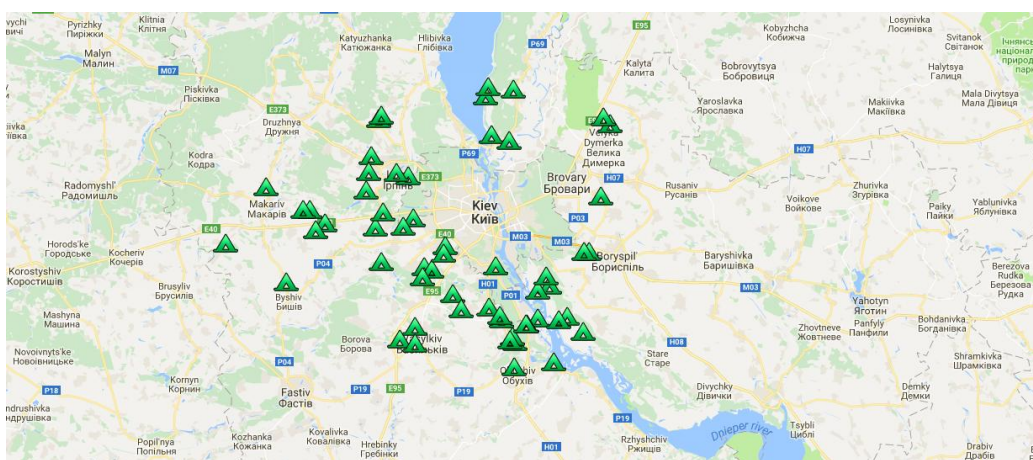
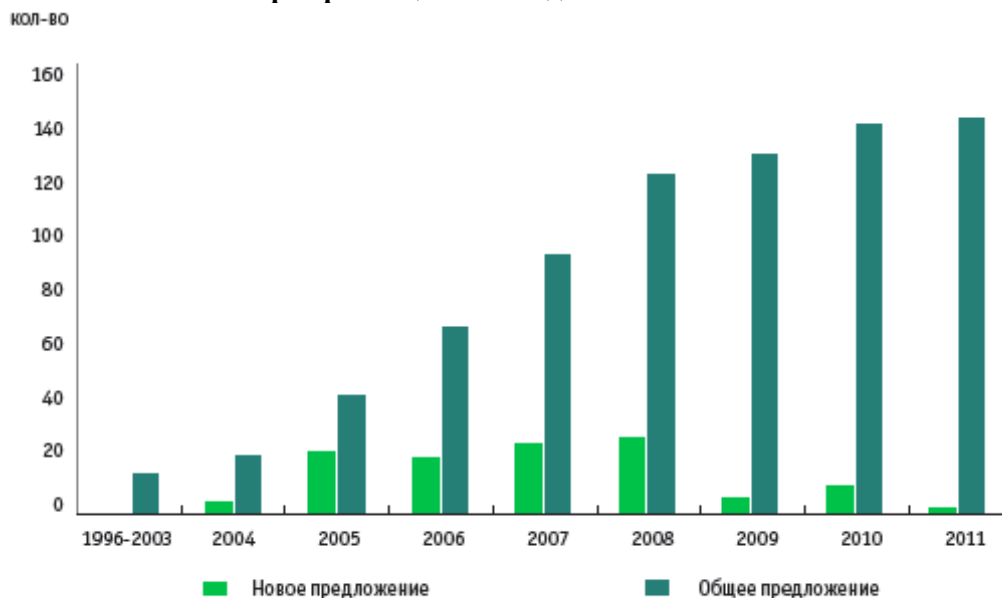


Рис. 8. Карта розміщення котеджних містечок біля Києва



Источник: Knight Frank Research, 2012

Рис. 9. Динаміка росту котеджних містечок в Київській області

Сьогодні в Київському регіоні налічується, за різними підрахунками, більше 150 котеджних містечок (далі КМ), що знаходяться на різних етапах реалізації. Поки найрозвиненішим залишається Житомирський напрямок. Не менше третини ринку котеджної нерухомості Київського регіону припадає саме на цей напрям, в рамках якого стрімко росте кількість нових проектів. Останнім часом зростає популярність Одеського і Бориспільського напрямків. Як бачимо, найбільш активно розвиваються напрямки на правому березі Дніпра біля Києва, напрямки Лівобережжя поки менш цікаві для забудовників.

Як основні тенденції розвитку столичного ринку котеджної нерухомості можна виділити:

- збільшення кількості котеджних містечок, зростання масштабності (реалізація земель площею 100 га і більш) і рівня опрацювання проектів;
- збільшення радіусу освоєваних навкруги Києва територій;
- збільшення пропозицій містечок в сегменті економ-класу;
- підвищення вимог покупців до якості реалізованих житлових проектів, зокрема до інфраструктури і *транспортної доступності* містечок.

У цілому можна відзначити, що ринок котеджної нерухомості знаходиться у стадії активного розвитку. Серйозний вплив на збільшення попиту на КМ справляє зростання вартості квартир на первинному і вторинному ринках житла Києва. В найближчі роки найбільша динаміка розвитку буде характерна для міст-мільйонерів [21].

Очевидним є, що аби забезпечити таке бурхливе зростання котеджної нерухомості – треба особливо приділяти увагу транспортній інфраструктурі і доступності КМ. Адже усі вигоди комфортного заміського життя можуть бути зведені нанівець багатогодинними заторами, прикрими дорожньо-транспортними пригодами, запізненнями на важливі ділові зустрічі і т.ін.

Напевне, даремно за досвідом розвинених країн світу, надзвичайно зручним видом транспорту є і залишається залізничний транспорт за декількома показниками: безпека, швидкість, комфорт, доступна ціна послуг. Жодний з видів транспорту при економічному зростанні суспільства не здатний забезпечити такий рівень позитивних показників для пасажирів. Обєднавши карту розташування котеджних містечок та карту залізничних ліній (рис. 10) бачимо, що більшість котеджних містечок розташовано вздовж залізничних ліній Київ-Обухів, Київ-Васильків та Київ-Ірпінь. Це створює сприятливі умови для того, щоб без капітальних інвестицій в будівництво нових колій впровадити новий якісний рівень залізничних приміських перевезень.

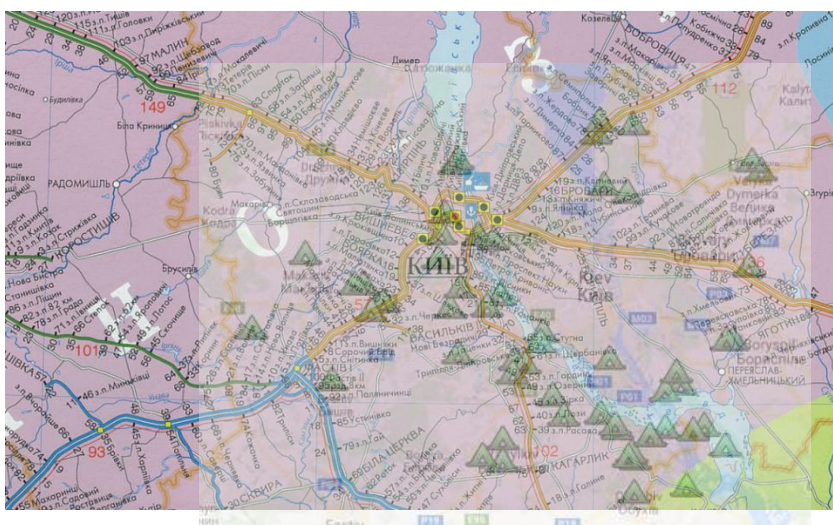


Рис. 10. Карта розміщення котеджних містечок та залізничні колії біля Києва

Підводячи попередні підсумки проведеного аналізу, можна стверджувати та зробити висновок, що навколо Києва та інших великих міст України вже сформувався і буде надалі зростати новий та, що надзвичайно важливо, платоспроможний сегмент ринку приміських пасажирських перевезень – це власники, мешканці та обслуговуючий персонал приміських котеджних містечок.

Цей висновок є, з одної сторони, ніби то очевидним, а з іншої – надзвичайно складно отримати достовірну інформацію щодо стану, динаміки та прогнозів розвитку ринку приміської забудови. Адже здебільшого забудовники не розголошують цю інформацію або дають її в мінімальному обсязі у рекламних цілях. Саме з використанням такого обсягу інформації і було спрогнозовано динаміку цього ринку на підставі запропонованої нами методики, що викладена нижче.

2.7. Методика оцінки ринку залізничних приміських перевезень

Єдиним надійним джерелом інформації для прогнозу є, як це не дивно, план по поверхах житлових будівель, що плануються до зведення у котеджних містечках (приклад на рис. 11). Виходячи із кількості квартир з різним числом кімнат, можна оцінити кількість мешканців у котеджних містечках, які споруджуються та заселяються, як правило, у декілька черг, залежно від розмірів містечка. Це дає можливість оцінити динаміку зростання кількості мешканців котеджних містечок (КМ), які потенційно є пасажирями залізниці, тому що більшість з них працює в Києві. Результати застосування такої методики наведені нижче у таблиці 3 (прийнято у середньому шестирічний період завершення забудови КМ у три черги – до 2022 року). Крім того, слід врахувати, що потенційними платоспроможними пасажирями є частина мешканців населених пунктів уздовж існуючих залізничних ліній, які є достатньо платоспроможними, щоб скористатися послугами нових поїздів з якісно кращими умовами проїзду (прийнято, що таких мешканців 20%). Зрозуміло, що платоспроможний попит на такі перевезення повинен забезпечуватися відповідним рівнем зручності та комфорту, наприклад за принципом тактового руху у вагонах приміських поїздів нового покоління, як взірць для яких можуть бути взяті поїзди класу швейцарського виробника Stadler, які добре зарекомендували себе у пострадянських країнах, зокрема в Білорусі, або інші аналогічні їм. При цьому для забезпечення наших залізниць таким рухомим складом відразу треба передбачати якнайглибшу локалізацію виробництва такого рухомого складу на підприємствах України.



Рис. 11. План поверху будівли

Таблиця 3. Прогноз населення котеджних містечок приміських зон міста Києва

Напрямок	Кількість КМ	Середня кількість мешканців			Кількість потенційних пасажирів (сума 4+5)
		В одному КМ	В усіх КМ на напрямку	У існуючих населених пунктах	
Одеський	25	2234	55851	57848	113699
Обухівський	8	625	5007	69477	74484
Житомирський*	101	1319	133311	294436	427747
Бориспільський	25	1224	30621	111340	141961
Разом	159		224790	533101	757891

* В Житомирський напрямок включено Києво-Святошинський район

Отже, вже сьогодні навколо Києва цей потенційний сегмент ринку можна оцінити у більше ніж 450000 пасажиро-поїздок на добу (по 225000 туди і назад), з яких 56% припадає на Житомирський напрямок! У грошовому вимірі – це до 9 млн грн за добу доходів при ціні квитка 20 грн.

Оцінка можливого пасажиропотоку отримана наступним чином. 150 котеджних містечок $\times$ у середньому по 500 об'єктів нерухомості в кожному КМ (будинки та квартири) = 75000 об'єктів нерухомості $\times$ 3 особи в об'єкті = 225000 осіб, а також 1 автомобіль на об'єкт $\times$ 75000 об'єктів нерухомості = 75000 автомобілів. Можливий пасажиропотік оцінимо для Житомирського напрямку в ранішні години «пік» (прийнемо 3 години з 6:30 до 9:30), коли, як свідчить досвід, здійснюється 30% добового обсягу перевезень, а також із розрахунку, що тільки половина потенційних пасажирів скористається послугами залізниці:

$0,5 \times 225000 \times 0,56 \times 0,3 / 3 = 6300$ пасажирів за годину. Для перевезення такої кількості пасажирів в цей період поїзди повинні курсувати кожні 10-15 хвилин!

Можна стверджувати, що ця оцінка не є завищеною, скоріше навпаки.

Крім того, додатковий потік пасажирів для проїзду в нових поїздах може бути забезпечено шляхом підвезення-розвезення їх між зупинними пунктами на залізничних лініях та котедж ними містечками, що розташовані від них на відстанях від 5 до 30 км. Ці «віддалені» КМ можна з'єднати між собою та із залізничними зупинними пунктами за допомогою кільцевих автобусних маршрутів. Отже, слід додати в перспективі поїздки пасажирів не тільки по радіальних, а й по нових «кільцевих» залізничних лініях (див. рис. 12), які на сьогодні (до спорудження залізничних ліній) можуть бути забезпечені якісними автобусними перевезеннями.

Висновки. В умовах реформування залізничного транспорту першочергове значення має пошук усіх можливих шляхів збільшення пасажирських перевезень не тільки за обсягами, які обмежені демографічними чинниками, але й передусім, за їх доходністю.

Всупереч сформованій в Україні думці, що пасажирські залізничні перевезення є в цілому збитковими, особливо в сегменті приміських перевезень, на підставі виконаних досліджень можна стверджувати, що в цьому сегменті в останні роки зароджується достатньо платоспроможний прошарок потенційних пасажирів приміських поїздів нового покоління, що повинні забезпечувати зручність, безпечність та комфорт бізнес-класу.

Доведено, що новий платоспроможний сегмент ринку потенційних пасажирів приміських поїздів утворюють заможні мешканці котеджних містечок, які бурхливо розвиваються навколо великих міст України, передусім Києва. Принадами залізничних приміських перевезень у поїздах нового покоління є зростання цін на пальне для при-

ватних автомобілів, затори на автодорогах та їх поганий стан, значно вища транспортна та особиста безпека на залізниці, ніж на автошляхах та динамічний розвиток приміської забудови.

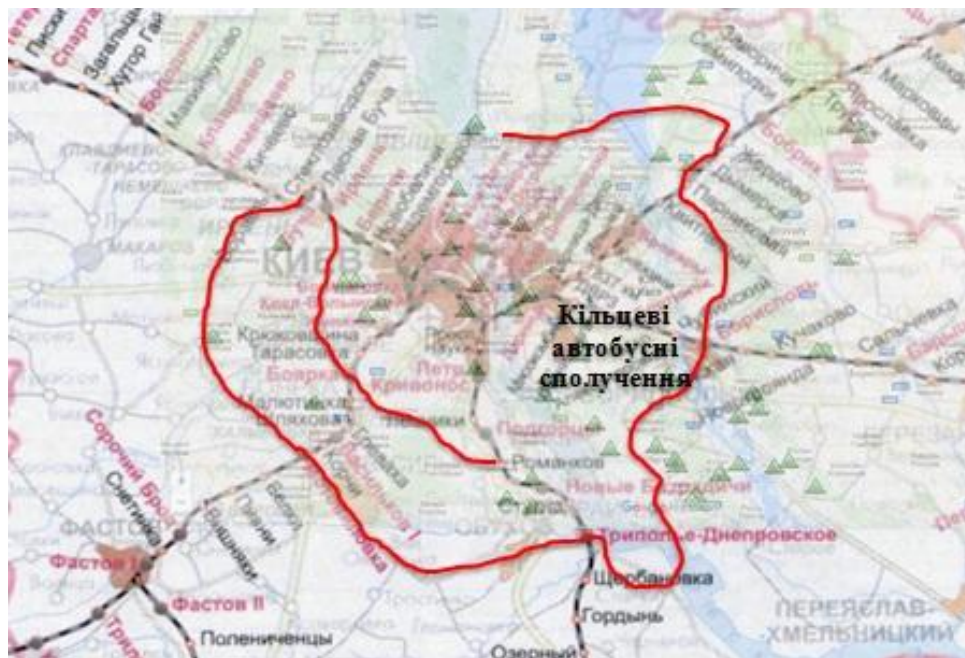


Рис. 12. Радіальні залізничні лінії та кільцеві автобусні сполучення

На основі запропонованої методики дослідження ринку встановлено, що тільки навколо Києва новий платоспроможний сегмент ринку можна оцінити у більше ніж 450000 пасажиро-поїздок на добу (по 225000 туди і назад), з яких 56% припадає на Житомирський напрям, а у грошовому вимірі – це до 9 млн. грн. за добу доходів при ціні квитка 20 грн. Для освоєння такого пасажиропотоку потрібні приміські поїзди якісно нового рівня комфорту, а інтервал руху таких поїздів у ранішні години «пік» має складати 10-15 хвилин, що дає можливість оцінити потребу у такому рухомому складі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. N 2174-р. [Електрон. ресурс]: – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>. – Назва з екрану.
2. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки: Постанова Каб. Міністрів України від 16.12. 2009 р. №1390 [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-p>. – Назва з екрану.
3. Гудков О. М., Бердніченко Ю.А., Поздняков А. А., Позднякова О. О. Логістичний підхід у створенні ефективного механізму управління пасажирськими перевезеннями // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології», 2015. Вип. 26-27: – С. 262-267
4. Терзи В.И. Совершенствование организации пригородных железнодорожных перевозок мегаполиса в условиях формирования мультимодальных систем: дисс. ... к-та техн. наук: 05.22.01 / Терзи Виктор Иванович, Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск, 2001. – 136 с.
5. Андреев А.В. Повышение эффективности работы пригородного комплекса железнодорожного транспорта: дисс. ... к-та экон. наук: 08.00.05 / Андреев Андрей Вениаминович, Самарский государственный университет путей сообщения. – Самара, 2008. – 164 с.

6. *Веретенкова Т.А.* Обоснование и выбор рациональных решений по числу и размещению зонных пунктов оборота составов: дисс... к-та техн. наук: 05.22.08 / Веретенкова Татьяна Александровна, Самарский институт инженеров железнодорожного транспорта. – М., 2000. – 161 с.
7. Швейцарско-итальянская компания займется региональными перевозками // Железные дороги мира. – 2004. – №4. – С. 6.
8. Комбинированные системы общественного рельсового транспорта // Железные дороги мира. – 2000. – №8. – С. 9 – 15.
9. Двухэтажные пассажирские вагоны // Железные дороги мира. – 1979. – №2. – С. 16 – 19.
10. *Яновський П.О.* Сучасні особливості організації приміських перевезень європейських країн [Текст] / П. О. Яновський, Г. І. Нестеренко, О. О. Озерова // Залізничний транспорт України. – 2012. – № 5. – С. 45 – 47.
11. *Пазойський Ю.О.* Оптимизация параметров системы освоения пригородных пассажиропотоков в условиях мегаполиса / Ю.О. Пазойский: дисс... д. техн. наук: 05.22.08. – М.: МИИТ, 2000. – 490 с.
12. Регионализация железнодорожного транспорта. // Железные дороги мира. – 2001. – №12. – С. 12 – 18.
13. *Константинов Д.В.* Формування адаптивної технології приміських залізничних перевезень: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Константинов Денис Володимирович; Укр. держ. акад. зал. т-ту. – Х., 2010. – 215 с.
14. Железные дороги Франции // Железные дороги мира. – 1994. – №1. – С. 10.
15. Punctlichkeit bei der Deutschen Bahn. Elek. Bahnen, 2002. 100. – № 7. – С. 282.
16. INFRAS/IWW 2000: External Costs of Transport: Accident, Environmental and Cogestion Costs of Transport in Western Europe / Zurich/Karlsruhe, 2000.
17. *Пазойський Ю.О.* Оптимизация параметров системы освоения пригородных пассажиропотоков в условиях мегаполиса / Ю.О. Пазойский: дисс... д. техн. наук: 05.22.08. – М.: МИИТ, 2000. – 490 с.
18. *Задо́я В.О.* Удосконалення механізму управління залізничними пасажирськими перевезеннями в приміському сполученні: дис. ...к-та екон. наук: 08.00.04 / Задо́я Вячеслав Олександрович; Дніпропетр. нац. ун-т заліз. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – 231 с.
19. *Грушевська Т.М.* Фактори, що впливають на організацію приміських пасажирських перевезень у великих мегаполісах [Текст] / Т. М. Грушевська // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми економіки і управління на залізничному транспорті». ЕКУЖТ. – 8 – 11 жовтня 2013 року, г. Судак, АР Крим. – К.: ДЕТУТ, 2013. – С. 295 – 296.
20. Відправлення (перевезення) пасажирів за видами транспорту загального користування [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://kievobl.ukrstat.gov.ua/content/p.php3?c=929&lang=1>. – Назва з екрану.
21. Тенденції розвитку ринку котеджної нерухомості [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://www.mayger.ua/uk/analitika/tendentsiyi-rozvitku-rinku-kotedzhnoyi-neruhomosti/> – Назва з екрану.
22. Показник автомобілізації країн [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://w3.unece.org/pxweb/?lang=14> – Назва з екрану.
23. Обзор. Рынок загородной недвижимости Киев. KnightFrank [Електронний ресурс]:- Режим доступу: <http://www.knightfrank.ru/research/results.aspx?typeid=research&divisions=1&noresults=True&view=list&page=1&ordertype=date&order=descending> – Назва з екрану.
24. Статистика аварійності в Україні. Управління безпеки дорожнього руху [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://www.sai.gov.ua/ua/ua/static/21.htm> – Назва з екрану.
25. У 2014 році на залізничних переїздах та коліях зменшилася кількість ДТП [Електронний ресурс]: – Режим доступу: http://uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/395638/ – Назва з екрану.
26. Статистика 2015 [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://ukrautoprom.com.ua/uk/statistika/statistika-2014-2> – Назва з екрану.
27. Смерть людини у ДТП вартує державі 400 тисяч доларів [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://expres.ua/news/2016/11/06/211490-smert-lyudyyny-dtp-vartuye-derzhavi-400-tysyach-dolariv> – Назва з екрану.

Andrii Pozdnyakov, Olga Pozdnyakova

(Consulting company TOR)

Viktor K. Myronenko, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor

(Head of Operation of Railways Commercial Activities Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

Oleksandr M. Hudkov, PhD (Economical Sciences), Associate Professor

(Associate Professor, Operation of Railways Commercial Activities Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

STUDY OF FACTORS AFFECTING THE FORMATION OF RAIL PASSENGER TRAFFIC COMMUTER TRAFFIC IN LARGE METROPOLITAN AREAS

The article analyzes the factors that affect the amount and structure of the commuter rail passenger traffic. These services are generally loss-making, but the analysis of the potential market for this traffic adapted to the Kiev region, shows that enough solvent segments can be distinguished on the market. It is the residents of cottage townships, built heavily around Kyiv and other major Ukrainian cities, which can use the services of suburban trains of increased comfort for the respective tariffs as an alternative to travel by private car. The factors are analyzed that influence the formation of this segment of the transport market and an original method of assessing the potential of passenger traffic is proposed, which is formed by the development of suburban cottage villages, found that it is sufficient for regular suburban trains of improved comfort.

Keywords: commuter passenger transportation, factors of traffic growth, motorization, cottage townships, competitiveness, number of passengers per hour.

REFERENCES

1. *Transportna strategiya Ukrayiny` na period do 2020 roku, shho zatverdzhena rozporядzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrayiny`* [Transport Strategy of Ukraine till 2020, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine], 20.10.2010. № 2174-p., Available at <http://zakon5.rada.gov.ua/>
2. *Derzhavna tsilova prohrama reformuvannya zaliznychnoho transportu na 2010–2019 roky: Postanova Kab. Ministriv Ukrainy vid 16.12. 2009 r. №1390* [State target program of reforming the railway transport in the years 2010-2019: Decision Cab. Ministers of Ukraine of 16.12. 2009 r. №1390], Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-n>.
3. Hudkov O. M., Berdnychenko Yu.A., Pozdniakov A. A., Pozdniakova O. O. *Lohistychnyi pidkhid u stvorenni efektyvnoho mekhanizmu upravlinnia pasazhyrskymy perevezenniamy* [Logistics approach in creating an effective mechanism for passenger traffic] *Zbirnyk naukovykh prats DETUT. Seriya «Transportni systemy i tekhnologii»*, 2015. Byp. 26-27, pp. 262-267
4. Terzi V.I. *Sovershenstvovanie organizatsii prigorodnykh zheleznodorozhnykh perezovozok megapolisa v usloviyakh formirovaniya multimodalnykh sistem* [Improving the organization of suburban rail metropolis in the formation of multi-modal systems] diss. ... k-ta tehn. nauk: 05.22.01 / Terzi Viktor Ivanovich, Sibirskiy gosudarstvenniy universitet putey soobscheniya, Novosibirsk, 2001, 136 pp.
5. Andreev A.V. *Povyshenie effektivnosti raboty prigorodnogo kompleksa zheleznodorozhnogo transporta* [Improving the efficiency of complex suburban rail transport] diss. ... k-ta ekon. nauk: 08.00.05 / Andreev Andrey Veniaminovich, Samarskiy gosudarstvenniy universitet putey soobscheniya, Samara, 2008, 164 pp.
6. Veretenkova T.A. *Obosnovanie i vyibor ratsionalnykh resheniy po chislu i razmescheniyu zonnykh punktov oborota sostavov* [Justification and a choice of rational decisions on the number and placement of the band points turnover was] diss... k-ta tehn. nauk: 05.22.08 / Veretenkova Tatyana Aleksandrovna, Samarskiy institut inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta, M., 2000, 161 p.
7. *Shveytsarsko-italyanskaya kompaniya zaymetsya regionalnyimi perezovozkami* [Swiss-Italian company will be engaged in regional transportation] *Zheleznyie dorogi mira*, 2004, #4, pp. 6.
8. *Kombinirovannyye sistemy obschestvennogo relsovoogo transporta* [The combined system of public rail transport] *Zheleznyie dorogi mira*, 2000, #8, pp. 9 – 15.
9. *Dvuhetazhnyie passazhirskie vagonyi* [Double-deck passenger cars] *Zheleznyie dorogi mira*, 1979, #2, pp. 16 – 19

10. Ianovskiy P.O. *Suchasni osoblyvosti orhanizatsii prymiskykh perevezen yevropeyskykh krain* [Modern features of commuter traffic European countries] / P. O. Yanovskiy, H. I. Nesterenko, O. O. Ozerova // *Zaliznychnyi transport Ukrainy*, 2012, № 5, pp. 45 – 47.
11. Pazoyskiy Yu.O. *Optimizatsiya parametrov sistemyi osvoeniya prigorodnykh passazhiropotokov v usloviyakh megapolisa* [Optimization parameters of the system development of suburban passenger traffic in the metropolis] Yu.O. Pazoyskiy: diss... d. tehn. nauk: 05.22.08, M.: MIIT, 2000, 490 pp.
12. *Regionalizatsiya zheleznodorozhnogo transporta* [The regionalization of rail transport] *Zheleznyie dorogi mira*, 2001, #12, pp. 12 – 18
13. Konstantinov D.V. *Formuvannia adaptivnoi tekhnolohii prymiskykh zaliznychnykh perevezen*: [Formation of adaptive technologies commuter rail transportation] *dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.01; Ukr. derzh. akad. zal. t-tu., Kh., 2010, 215 pp.*
14. *Zheleznyie dorogi Frantsii* [French Railways] *Zheleznyie dorogi mira*, 1994, #1, pp. 10.
15. *Punktlichkeit bei der Deutschen Bahn*. Elek. Bahnen, 2002. 100. – № 7. – С. 282.
16. INFRAS/IWW 2000: *External Costs of Transport: Accident, Environmental and Cogestion Costs of Transport in Western Europe* / Zurich/Karlsruhe, 2000.
17. Pazoyskiy Yu.O. *Optimizatsiya parametrov sistemyi osvoeniya prigorodnykh passazhiropotokov v usloviyakh megapolisa* [Optimization parameters of the system development of suburban passenger traffic in the metropolis] diss... d. tehn. nauk: 05.22.08, M.: MIIT, 2000, 490 pp.
18. Zadoia V.O. *Udoskonalennia mekhanizmu upravlinnia zaliznychnymy pasazhyrskymy perevezenniamy v prymysku spoluchenni* [The mechanism of management of rail passenger traffic in suburban] *dys. ...k-ta ekon. nauk: 08.00.04 / Zadoia Viacheslav Oleksandrovych; Dnipropetr. nats. un-t zalizn. tr-tu im. akad. V. Lazariana, D., 2012, 231 pp/*
19. Hrushevska T.M. *Faktory, shcho vplyvaiut na orhanizatsiiu prymiskykh pasazhyrskykh perevezen u velykykh mehapolisakh* [Factors that affect the organization of suburban passenger transportation in major metropolitan areas], *Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy ekonomiki i upravleniya na zheleznodorozhnom transporte»*. EKUZhT, Sudak, AR Kryim, K.: DETUT, 2013, pp. 295 – 296
20. *Vidpravlennia (perevezennia) pasazhyriv za vydamy transportu zahalnoho korystuvannia* [Dispatch (transportation) by type of passenger public transport [electronic resource], Available at: <http://kievobl.ukrstat.gov.ua/content/p.php3?c=929&lang=1>.
21. *Tendentsii rozvytku rynku kotedzhnoi nerukhomosti* (Trends cottage real estate market [electronic resource]) Available at: <http://www.mayger.ua/uk/analitika/tendentsiyi-rozvitku-rinku-kotedzhnoyi-nerukhomosti/>
22. *Pokaznyk avtomobilizatsii krain* (Index of the automobilization) – Available at: <http://w3.unece.org/pxweb/?lang=14>
23. *Obzor. Ryinok zagorodnoy nedvizhimosti Kiev*. KnightFrank [Review. Suburban real estate market Kiev. KnightFrank], Available at <http://www.knightfrank.ru/research/results.aspx?typeid=research&divisions=1&noreults=True&view=list&page=1&ordertype=date&order=descending>
24. *Statystyka avariinosti v Ukraini. Upravlinnia bezpeky dorozhnoho rukhu* [Statistics of accidents in Ukraine. Office of Road Safety [electronic resource]: Available at: <http://www.sai.gov.ua/ua/ua/static/21.htm>
25. *U 2014 rotsi na zaliznychnykh pereizdakh ta koliiakh zmenshylasia kilkist DTP* (In 2014, at railroad crossings and tracks the number of accidents decreased [electronic resource]): Available at: http://uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/395638/
26. *Statystyka 2015* [Statistics 2015 [electronic resource]]: Available at: <http://ukrautoprom.com.ua/uk/statistika/statistika-2014-2>
27. *Smert liudyny u DTP vartuie derzhavi 400 tysyach dolariv* (Death of man in the accident state is worth 400 thousand dollars [electronic resource]) – Available at <http://expres.ua/news/2016/11/06/211490-smert-liudyny-dtp-vartuye-derzhavi-400-tysyach-dolariv>

УДК 656.025.2

В. В. Габа, к.т.н., професор

*(професор кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць»
Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

Т. М. Грушевська, к.т.н.

*(старший викладач кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць»
Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

О. О. Поворознік

*(аспірант кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць»
Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

В. П. Костюшко

(заступник начальника виробничого підрозділу Київської дирекції залізничних перевезень Регіональної філії «Південно-Західна залізниця», м. Київ)

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА СИСТЕМУ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Стаття присвячена питанням розробки технічних, технологічних, організаційних та інших факторів, спрямованих на поліпшення ефективності та якості обслуговування пасажирів та вантажовласників. Для удосконалення моделі системи організації залізничних перевезень визначено фактори зовнішнього середовища, які впливають на дану систему. Розглядаються пропозиції щодо покращення системи організації залізничних перевезень, якості обслуговування пасажирів, вантажів та підвищення ефективності залізничних перевезень.

Ключові слова: залізничні перевезення, якість обслуговування пасажирів, вантажів, організація перевезень, вплив факторів зовнішнього середовища.

Статья посвящена вопросам разработки технических, технологических, организационных и других факторов, направленных на улучшение эффективности и качества обслуживания пассажиров и грузовладельцев. Для усовершенствования модели системы организации железнодорожных перевозок определены факторы внешней среды, которые влияют на эту систему. Рассматриваются предложения по улучшению системы организации железнодорожных перевозок, качества обслуживания пассажиров, грузов и повышения эффективности железнодорожных перевозок.

Ключевые слова: железнодорожные перевозки, качество обслуживания пассажиров, грузов, организация перевозок, влияние факторов внешней среды.

Вступ. Система організації залізничних перевезень – це складна динамічна система, результат діяльності якої спрямований на ефективне обслуговування пасажирів, задоволення потреб вантажовласників. Організація пасажирських перевезень повинна забезпечувати зручний час поїздки пасажирів до місця призначення, регулярність

© Габа В. В., Грушевська Т. М., Поворознік О. О., Костюшко В. П., 2016

руху, раціональне використання рухомого складу, повну безпеку й культуру обслуговування пасажирів з виправданими витратами [1].

При організації вантажних перевезень основними критеріями є: схоронність вантажу, вчасність та вартість доставки.

Аналізуючи світовий досвід ринку транспортних послуг, їх конкурентоздатність на 85% залежить від якості наданих послуг. Звідси випливає, що основним завданням залізничних перевезень є формування доступної і стабільної транспортної системи для максимального покриття транспортних потреб населення.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. В умовах адаптації залізничного транспорту до ринкової економіки та конкурентного середовища повинен забезпечуватись інтенсивний пошук ефективних технологій організації процесу перевезення та методів їх реалізації.

Високий рівень якості транспортних послуг як у галузі пасажирського, так і вантажного залізничного транспорту, є запорукою, перш за все, безпеки перевезень, надійності, задоволеності споживачів.

Надання послуг залізничним транспортом, якість яких відповідала б потребам пасажирів та вантажовласників, є подальшим напрямком досліджень діяльності залізниць. Система організації залізничних перевезень є надмірно важкою для аналізу, у зв'язку з чим необхідно сконструювати спрощену модель, в яку б не були включені багато другорядних факторів.

Аналіз попередніх досліджень і виділення невирішених раніше аспектів проблеми, яким присвячена стаття. Розвиток досліджень щодо підвищення ефективності організації залізничних перевезень, питань якості надання транспортних послуг як для вантажовласників, так і для пасажирів у науково-практичній літературі згадуються все частіше, що зумовлено зростаючою актуальністю проблеми.

Найбільше робіт було присвячено питанням якості надання транспортних послуг, тривалості доставки вантажів, часу поїздки, часу очікування до початку поїздки, вартісній оцінці часу, що витрачає пасажир на проїзд різними видами транспорту. Серед публікацій доцільно відзначити роботи таких науковців як І.М. Аксьонов, Т.В. Бутько, О.М. Гудков, М.Д. Жердєв, Ф. П. Кочнев, Ю.Ф. Кулаєв, Д.В. Ломотько, В.І. Мацюк, В.К. Мироненко, Ю.О. Пазойський, В.М. Самсонкін та інших авторів.

Враховуючи сучасні тенденції розвитку залізничних перевезень, а також недостатнє дослідження цієї проблеми, дана стаття набуває особливої актуальності, оскільки спрямована на розв'язання важливого науково-технічного завдання покращення організації залізничних перевезень, що забезпечить належну якість транспортного обслуговування населення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Система організації залізничних перевезень – це складна динамічна система, результат діяльності якої спрямований на ефективне обслуговування пасажирів та вантажовласників. Система являє собою не просто набір елементів, а певну цілісність, забезпечувану наявністю глобальної мети і цілей меншого рівня ієрархії, а також взаємозв'язків між її елементами. Як відомо, система розчленовується на кінцеве число компонентів, що мають назву підсистем, кожен з яких у свою чергу можна розділити на більш дрібні елементи [2, 3]. Кожна підсистема складної системи має свою ціль функціонування, яка підпорядковується загальній цілі, що стоїть перед системою.

Проте ефективність та безпечність функціонування системи організації залізничних перевезень визначається наявними в ній ресурсами, достатність та відповідність яких виконуваним системою функціям слід розглядати у взаємодії різних аспектів. Дана система полягає в єдності рішень соціальних, технічних, технологічних, організацій-

них та інших факторів (рис. 1), спрямованих на поліпшення ефективності та якості обслуговування пасажирів та вантажовласників. Це такі фактори:

Технічні фактори. Приведення у відповідність з обсягами робіт рухомого складу для раціональної організації як пасажирських так і вантажних перевезень. Наявність технічної можливості використання рухомого складу за модульним принципом.

Експлуатаційні фактори. Являють собою:

- послідовність виконання всіх операцій процесу перевезень за схемою організації, швидкості руху та часу відправлення;
- можливість забезпечення мінімального часу обороту поїзда та максимальної маршрутної швидкості;
- наявність резерву пропускної спроможності у відповідний час доби в умовах відсутності повного розмежування руху вантажних та пасажирських поїздів.

Організаційні фактори. Загальне управління й організація приміськими, пасажирськими та вантажними перевезеннями.

Економічні фактори. Передбачають порядок встановлення тарифів і реалізації проїзних документів, розрахунок показників економічної ефективності.

Маркетингові фактори. Передбачають дослідження транспортного ринку, що є основою раціональної організації.

Соціальні фактори. Пасажири різних категорій, зокрема соціально незахищені, не завжди мають можливість вибору між поїздами, автомобільним транспортом загального користування і приватним автомобілем.

Екологічні фактори. До цих факторів належать елементи природного середовища, що впливають на існування й розвиток системи організації залізничних перевезень.

Конкурентні фактори. Для заохочення пасажирів саме до залізничного транспорту необхідно забезпечувати більш привабливі умови поїздки порівняно з альтернативними (конкуруючими) можливостями подорожі.

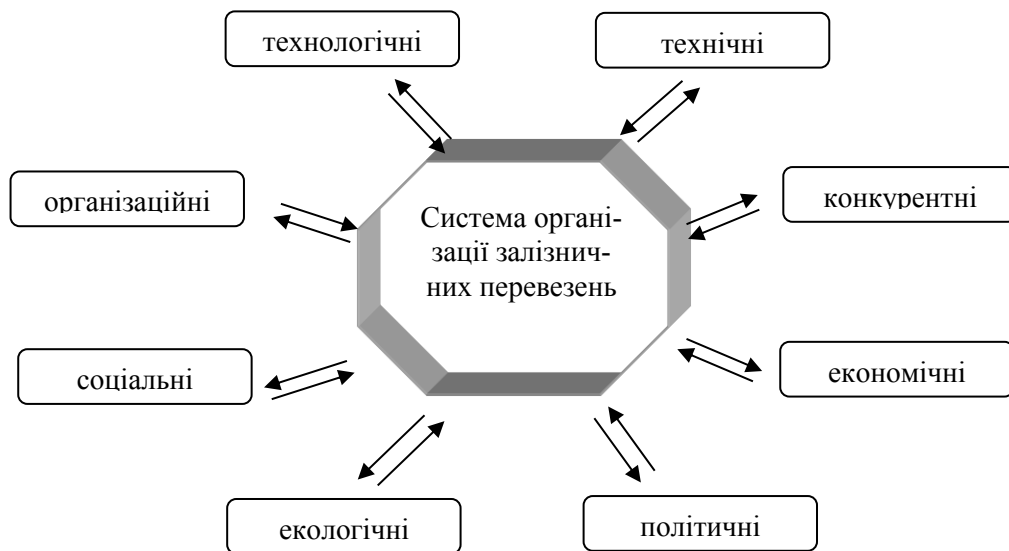


Рис. 1. Фактори зовнішнього середовища системи організації приміських залізничних перевезень

Модель системи організації залізничних перевезень без врахування другорядних факторів, з тенденціями розвитку й інтеграції, з іншого, – із змінами технології їх функціонування [4] представлено на рис. 2.

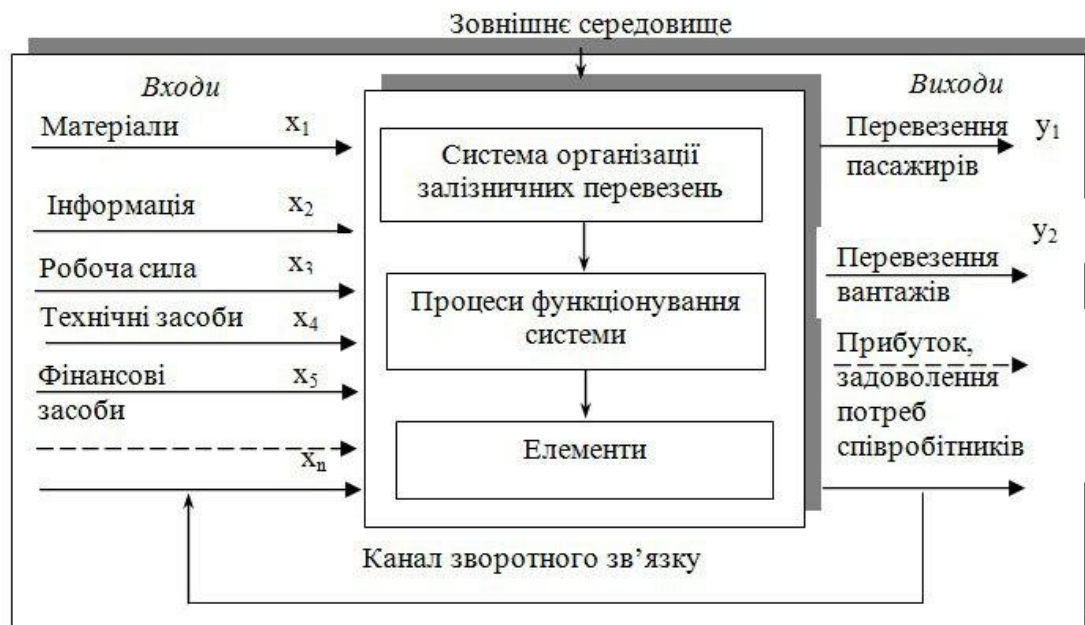


Рис. 2. Спрощена модель системи організації залізничних перевезень

Система організації залізничних перевезень функціонує у певному зовнішньому середовищі. Зовнішнє середовище – це все те, що знаходиться зовні системи, включаючи необхідні умови для існування розвитку системи. Взаємодія між системою та зовнішнім середовищем здійснюється за допомогою входів та виходів. Вхід системи – це вплив на неї зовнішнього середовища. Вихід системи – результат функціонування системи для досягнення певної мети. Загальна кількість взаємодій системи із зовнішнім середовищем дуже велика, тому в даній статті обмежимося лише деякими з них.

Система залізничного транспорту може бути охарактеризована наступними елементами [4]:

мета існування (головне завдання): переміщення об'єктів (пасажирів, вантажів), що характеризується за допомогою роду, кількості і властивостей об'єктів, які потрібно переміщувати; напрямок переміщення, початковий пункт переміщення (місце початку поїздки пасажирів або відправлення вантажів) і кінцевий пункт переміщення (місце закінчення поїздки пасажирів або прибуття вантажів); якісних параметрів переміщення (вигода, час переміщення, кількість пересадок або перевантажень і т.д.);

входи: матеріали, інформація, енергія, робоча сила, технічні і фінансові засоби та ін. Оснащення: технічна інфраструктура залізничного транспорту (лінії, станції, засоби сигналізації, централізації, блокування і зв'язку, локомотивні і вагонні депо, ремонтні майстерні), а також рухомий склад;

люди: персонал, який обслуговує систему і користується елементами оснащення при реалізації процесів переміщення; кількість осіб та їх кваліфікація;

процес функціонування системи (трансформація входів у виходи): виконання операцій, необхідних для реалізації виходів;

виходи: необхідне просторове змінення розміщення об'єктів переміщення (пасажирів) – реалізація перевізних послуг;

зовнішнє середовище: набір різних факторів, які не належать до системи організації, властивості яких однаково впливають на цю систему і одночасно піддаються змінам під впливом її діяльності.

Систему організації залізничних перевезень можна розглядати як систему, в якій трансформується вхідний потік $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – потік робочої сили, матеріалів, технічних і фінансових засобів, енергії і т.д. у вихідні потоки $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ – потоки транспортних послуг, необхідне переміщення пасажирів, вантажів, затрати фінансових коштів і т.д., що можна записати у вигляді векторів [4].

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix}, \text{ а також } y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

Вхідні потоки X трансформуються у вихідні Y шляхом взаємодії різного роду пристроїв і технічно-організаційних засобів, а також шляхом організації роботи персоналу транспорту. Цей процес можна записати у такому вигляді [2, 5].

$$y = T \cdot x, \quad (2)$$

де T – коефіцієнт трансформації вхідних потоків X у вихідні Y шляхом взаємодії різного роду пристроїв і технічно-організаційних засобів.

Система організації залізничних перевезень на залізничному транспорті належить до групи складних ймовірнісних систем у зв'язку з великою кількістю елементів і численними внутрішніми зв'язками, а також сильним зовнішнім впливом.

Розробка розвитку системи організації перевезень є процесом прийняття рішень або процесом підготовки моделей бажаних станів системи в окремі роки $t_1, t_2, \dots, t_n$ [2, 4]. Під поняттям «модель стану системи організації залізничних перевезень» мають на увазі інформаційну модель, яка містить інформацію про технічний стан і технологічні процеси даної системи.

Моделювання бажаних станів системи в $t_1, t_2, \dots, t_n$ роки у вигляді варіантів $W_1, W_2, \dots, W_m$, враховуючи велику складність цього процесу, повинно проходити в такій послідовності [2]:

- 1) набір технічних засобів, що відповідають заданим цілям і прийнятим процесам їх реалізації (входи системи);
- 2) визначення процесів реалізації заданих цілей (трансформація);
- 3) визначення кількісних і якісних цілей діяльності системи – перевізних потенціалів (виходи системи);

При такому впорядкуванні процесу проектування моделі стану системи кожен із чергових етапів проектування є функцією дій, які реалізовані на попередньому етапі.

Прагнення запроектувати раціональні моделі стану системи може бути реалізоване на основі [2, 6]:

вибору характеристик системи, що найбільш підходять, виходячи з якісних вимог, а одночасно і з урахуванням обмежень надходження в систему лімітованих ресурсів;

розробки $z \geq m$ варіантів стану системи та їх перевірки з точки зору мінімізації введення лімітованих ресурсів; для отримання m раціональних варіантів стану системи необхідна розробка значно більшої кількості варіантів;

усунення технічних протиріч;

вибору багатьох m варіантів стану системи з найбільш вигідною трансформацією $x = T^{-1} \cdot y$.

Потреби в перевезеннях пасажирів, вантажів, що реалізуються залізничним транспортом, в перспективі в якісному відношенні будуть ще сильніше диференційовані [2]. Для того щоб забезпечити найбільш повні їх потреби, необхідно детально розглянути їх для того, щоб організація перевезень пасажирів, вантажів найбільшою мірою відповідала би поставленим вимогам.

Для прикладу розглянемо систему організації пасажирських перевезень. Кожен із запроєктованих варіантів моделі станів системи залізничних перевезень повинен відповідати таким основним умовам:

а) у сфері кількісних завдань:

перевізний потенціал системи, враховуючи нерівномірність надходження заявок на перевезення, повинен бути в будь-який момент часу рівний їм або перевищувати їх, тобто

$$P^{1, 2, \dots, 5} t \leq K_{\rho}^{1, 2, \dots, 5} t, W \gamma^{1, 2, \dots, 5} t, \quad (3)$$

$$P^{1, 2, \dots, 5} t \leq K_{\rho\rho}^{1, 2, \dots, 5} t, W \gamma^{1, 2, \dots, 5} t, \quad (4)$$

де $P^{1, 2, \dots, 5} t$ – потреби в перевезеннях, завдання для системи приміських пасажирських перевезень, вимірюються кількістю пасажирів різних n категорій в році t ;

$P^{1, 2, \dots, 5} t$ – те саме, лише в пасажиро-кілометрах у році t ;

$K_{\rho}^{1, 2, \dots, 5} t, W$ – перевізний потенціал системи приміських пасажирських перевезень у варіантах $W_{1,2,\dots,m}$, вимірюється кількістю місць, що представляються в поїздах у році t ;

$K_{\rho\rho}^{1, 2, \dots, 5} t, W$ – те саме вимірюється в пасажиро-кілометрах у році t ;

$\gamma^{1, 2, \dots, 5} t$ – коефіцієнт нерівномірності заявок на перевезення, що реалізуються в окремих підсистемах у році t .

Виконання вказаних загальносистемних умов перевіряється на відповідних етапах проектних робіт на рівні районів, а стосовно конкретних груп перевізних завдань – на рівні окремих напрямків.

б) у сфері якісних завдань:

рівень якісних параметрів перевізних послуг для системи повинен відповідати умові (3). Під поняттям «якісні параметри перевізних послуг» у галузі пасажирських перевезень слід розуміти набір характеристик цих послуг, в який входять:

- 1) час поїздки пасажирів P_1 ;
- 2) частота курсування поїздів на різних напрямках P_2 ;
- 3) населеність поїздів P_3 ;

4) стандарт зручностей поїздки (внутрішнє планування вагонів, зручність місць для сидіння, якість освітлення, опалення, рівень шуму, плавність ходу), санітарні пристрої, набір додаткових послуг (зв'язок, інформація тощо), розваги (кіно, телебачення) P_4 .

У цей набір параметрів не включено такі якісні вимоги, як виконання графіка руху поїздів і забезпечення безпеки руху. Формування цих параметрів залежить перш за все від:

- ступеня завантаження пропускної спроможності ліній і станцій;
- рівня надійності елементів системи.

Зазначені вище параметри повинні розглядатися на етапі проектування величини і структури парку рухомого складу, а також розвитку інфраструктури залізничного транспорту. Значення цих питань і ступінь їх складності вимагають проведення окремих досліджень, які повинні визначити зв'язок між рівнем надійності елементів системи та якістю перевізних послуг [2].

Розроблювані варіанти стану системи організації перевезень в $t_1, t_2, \dots, t_n$ роки повинні відповідати умовам необхідності:

- а) постійного підвищення якості перевізних послуг

$$K_{\rho j} t_0 < K_{\rho j} t_1, W < K_{\rho j} t_2, W < \dots < K_{\rho j} t_n, W ; \quad (5)$$

- б) постійного зближення рівнів потрібних і запропонованих якісних характеристик перевізних послуг.

Якщо

$$\begin{aligned} P_j t_1 - K_{\rho j} t_1, W &= \Delta K_{\rho j} t_1, W ; \\ P_j t_2 - K_{\rho j} t_2, W &= \Delta K_{\rho j} t_2, W ; \end{aligned} \quad (6)$$

.....

$$P_j t_n - K_{\rho j} t_n, W = \Delta K_{\rho j} t_n, W ,$$

то

$$\Delta K_{\rho j} t_1, W > \Delta K_{\rho j} t_2, W > \dots > \Delta K_{\rho j} t_n, W .$$

- в) гарантування хоча б мінімального стандарту якості перевізних послуг:

$$\begin{aligned} K_{\rho j} t_1, W &> Q_{\rho} t_1 ; \\ K_{\rho j} t_2, W &> Q_{\rho} t_2 ; \\ &\dots\dots\dots \\ K_{\rho j} t_n, W &> Q_{\rho} t_n , \end{aligned} \quad (7)$$

де величини $Q_{\rho} t_1, Q_{\rho} t_2, \dots, Q_{\rho} t_n$ представляють собою нормативний мінімум величин, що характеризують стан перевізного процесу в $t_1, t_2, \dots, t_n$ роки .

У рівняннях (5) – (7) дані значення P_j і $K_{\rho j}$ відносяться в цілому до системи пасажирських перевезень і до всіх якісних характеристик, що розглядаються. При розробці вдосконалених варіантів стану системи приймається, що вони формуються відповідно до умови:

$$K_{\rho j} t_1, W_1 < K_{\rho j} t_2, W_2 < \dots < K_{\rho j} t_1, W_m . \quad (8)$$

Дана умова означає, що чим вищий порядковий номер варіанта моделі, тим кращі параметри якості перевізних послуг.

Висновок. В процесі дослідження системи організації залізничних перевезень виявлено, що процес управління даною системою можна здійснювати за різними аспектами її діяльності. Дана система полягає в єдності рішень соціальних, технічних, технологічних, організаційних і економічних факторів, спрямованих на підвищення ефективності та якості обслуговування пасажирів, вантажів. Для удосконалення моделі системи організації залізничних перевезень визначено фактори зовнішнього середовища, які впливають на дану систему.

Отже, можна стверджувати, що організація системи залізничних перевезень виявляється в різних формах і досягає мети за допомогою різноманітних наукових методів. Під формою забезпечення залізничних перевезень розуміють врахування впливу зовнішніх факторів на відповідний об'єкт, процес з метою підтримання стабільного функціонування транспортної системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грушевська Т.М. Фактори, що впливають на організацію приміських пасажирських перевезень у великих мегаполісах [Текст] / Т. М. Грушевська // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми економіки і управління на залізничному транспорті». ЕКУЖТ. – 8 – 11 жовтня 2013 року, г. Судак, АР Крим. – К.: ДЕДУТ, 2013. – С. 295 – 296.
2. Л. фон Берталанфи. Общая теория систем: критический обзор / В сборнике переводов «Исследования по общей теории систем». – М.: Прогресс, 1969. – 520 с.
3. Шарапов О. Д. Системний аналіз / Шарапов О. Д., Терехов Л. П., Сіднев С. П. – К.: Вища школа, 1993. – 303 с.
4. Басевич Т. Процессы развития железнодорожного транспорта: [пер. с польск. Е.С. Сергеева / под ред. В.К. Суворова] / Т. Басевич, Л. Новосельский. – М.: Транспорт, 1981. – 129 с.
5. Мынаровский С. Элементы теории систем и кибернетики. – Варшава: Экономика, 1974.
6. Хведорович И. Оптимальный выбор в проектировании // ПАН, Институт организации и управления. Отдел праксеологии (материалы для семинара). – Варшава, 1975.

Vasul V. Gaba, PhD (Technical Sciences), Professor
(Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport Economy and Technologies)
Tetiana M. Hrushevska, PhD (Technical Sciences)
(Associate Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport Economy and Technologies)
Victor P. Kostyushko
(Graduate Student of Transportation Processes Chair, Deputy Head of the Unit of the Kyiv Regional Directorate of Rail Transport Branch «South-Western Railway»)

FORMALIZATION ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE ORGANIZATION OF RAIL TRANSPORT

Article is devoted to the development of technical, technological, organizational and other factors to improve efficiency and quality of service for passengers and cargo. To improve system model railroading of the environmental factors that affect this system. Proposals for improving the system of rail transportation, the quality of service for passengers, cargo and improve the efficiency of rail transportation are given.

Keywords: *rail transportation, quality of service for passengers and cargo, the organization of transportation, environmental factors.*

REFERENCES

1. Hrushevska T.M. Faktory, shcho vplyvaiut na orhanizatsiiu prymiskykh pasazhyrskykh perevezen u velykykh mehapolisakh [Factors that affect the organization of suburban passenger transportation in major metropolitan areas], Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy ekonomiki i upravleniya na zheleznodorozhnom transporte». EКУZhT, Sudak, AR Kryim, K.: DETUT, 2013, pp. 295 – 296.
2. L. fon Bertalanfi. Obschaya teoriya sistem: kriticheskiy obzor [General systems theory: a critical review] V sbornike perevodov «Issledovaniya po obschey teorii sistem», M.: Progress, 1969, 520 pp.
3. Sharapov O. D., Terekhov L. P., Sidnev S. P. Systemnyi analiz [System Analysis], K.: Vyshcha shkola, 1993, 303 pp.
4. Basevich T., Novoselskiy L. Protsessyi razvitiya zheleznodorozhnogo transporta: [per. s polsk. E.S. Sergeeva / pod red. V.K. Suvorova] (Processes of rail transport development), M.: Transport, 1981, 129 pp.
5. Myinarskiy S. Elementy teorii sistem i kibernetiki [Elements of systems theory and cybernetics] Varshava: Ekonomika, 1974.
6. Hvedorovich I. Optimalniy vyibor v proektirovani [Optimal choice in designing] PAN, Institut organizatsii i upravleniya. Otdel prakseologii (materialy dlya seminara), Varshava, 1975.

Науково-виробниче видання

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ДЕРЖАВНОГО ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ**

Серія «Транспортні системи і технології»

Випуск 29

Відповідальний за випуск Ю. В. Черняк
Головний редактор О. В. Ємець
Редактор Н. В. Щербак
Макет і верстка В. О. Андрієнка

Підписано до друку 22.12.2016. Формат 60х90 1/8.
Папір офсетний. Гарн. Таймс. Друк на ризографі.
Ум. друк. арк. 23,4. Обл.-вид. арк. 12,00.
Наклад 100 прим. Зам. № 188/16.

Надруковано в редакційно-видавничому відділі ДЕТУТ.
Свідокство про реєстрацію Серія ДК № 3079 від 27.12.2007.
03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукашевича, 19.