

06
854

ISSN 1993-9175

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ



ВІСНИК

Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 37

2011

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

В І С Н И К

**Дніпропетровського
національного університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

За загальною редакцією проф. О. М. ПІШНЬКА

Засновано в 2003 році

Випуск 37

Дніпропетровськ
2011

УДК 625.1+626.2

ББК 39.2

В 53

ЗАСНОВНИК ТА ВИДАВЕЦЬ:
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна від 31.01.2011 р., протокол № 7

Редакційна колегія:

головний редактор – доктор технічних наук *О. М. Пішійко*;
заступник головного редактора – доктор технічних наук *С. В. Мямлін*;
відповідальний секретар – кандидат технічних наук *І. П. Корженевич*

Члени редакційної колегії:

доктори технічних наук *Є. П. Блохін, М. М. Біляєв, В. І. Бобровський, Б. Є. Боднар, А. А. Босов, В. О. Браташ, І. О. Вакуленко, Г. К. Гетьман, Л. В. Дубинець, І. В. Жуковицький, В. О. Заблудовський, Г. І. Загарій, М. І. Казакевич, С. М. Колесов, М. Л. Коротенко, М. О. Костін, М. Б. Курган, В. Д. Петренко, А. В. Радкевич, А. П. Разгонов, В. В. Рибкін, В. В. Скалозуб, В. С. Хандецький, Є. М. Шафіт*; доктори фізико-математичних наук *В. І. Гаврилюк, В. В. Кравець*; доктори хімічних наук *С. І. Нейковський, О. В. Федін*; доктор біологічних наук *А. С. Дворецький*; доктори економічних наук *Ю. С. Барах, С. В. Каламбет, В. І. Копитко, Г. О. Крамаренко, А. А. Покотілов*

Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 37. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2011. – 302 с.
ISSN 1993-9175

У статтях висвітлені наукові дослідження, виконані авторами в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та інших організаціях. Статті присвячені вирішенню актуальних питань залізничного транспорту за такими напрямками: автоматизовані системи керування на транспорті, економіка транспорту, електричний транспорт, залізнична колія, моделювання задач транспорту та економіки, ремонт та експлуатація засобів транспорту, рухомий склад і тяга поїздів, транспортне будівництво.

Вісник становить інтерес для працівників науково-дослідних організацій, викладачів вищих навчальних закладів, докторантів, аспірантів, магістрантів та інженерно-технічних працівників.

УДК 625.1+626.2
ББК 39.2

В статьях отражены научные исследования, выполненные авторами в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна и других организациях. Статьи посвящены решению актуальных вопросов железнодорожного транспорта по следующим направлениям: автоматизированные системы управления на транспорте, экономика транспорта, электрический транспорт, железнодорожный путь, моделирование задач транспорта и экономики, ремонт и эксплуатация транспортных средств, подвижной состав и тяга поездов, транспортное строительство.

Вестник представляет интерес для работников научно-исследовательских организаций, преподавателей высших учебных заведений, докторантов, аспирантов, магистрантов и инженерно-технических работников.

ISSN 1993-9175

© Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн.
трансп. ім. акад. В. Лазаряна, оригінал-макет, 2011

ЗМІСТ

ГАЛУЗЬ ТЕХНІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ»

О. М. БОНДАРЄВ, Д. О. ЯГОДА (ДІТ), В. М. СКОБЛЕНКО (Укрзалізниця, Київ) ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ БАЛОК ЦЕНТРАЛЬНОГО ПІДВІШУВАННЯ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДІВ ДР1А.....	7
--	---

РОЗДІЛ «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ»

В. В. АРТЕМЧУК (ДІТ) РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БАГАТОШАРОВИХ МАТЕРІАЛІВ.....	20
Ю. М. ГЕРМАНЮК (Львівська філія ДІТу) АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОСУВАННЯ ВАГОННИХ ПАРКІВ ВЛАСНОСТІ ІНОЗЕМНИХ ДЕРЖАВ НА МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ.....	26
В. В. МЯМЛІН (ДІИТ) РОЛЬ ПОТОЧНИХ МЕТОДОВ ПРИ ОРГАНІЗАЦІИ ВАГОНРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РОСТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА.....	32
С. В. МЯМЛІН (ДІТ), Д. М. БАРАНОВСЬКИЙ (КНУ ім. М. Остроградського, Кременчук) ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ І ВЕЛИЧИНИ ЗНОСУ ТРИБОСИСТЕМ ДИЗЕЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО САМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ.....	44
О. А. НИКИФОРОВА, Ю. В. СОЛОВЙОВА (ДІТ) ЗАСТОСУВАННЯ ФІЗІОЛОГО-ГІГІЄНИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРАЦІ ОПЕРАТОРІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ.....	51
О. И. ХАРЧЕНКО (ДИИТ) – ОЛЕСЯ, 050-734-27-43, kharchenko-o@mail.ru ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ.....	55

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ»

Д. С. БІЛУХІН (ДІТ) МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ КІЛ ЕЛЕКТРОВОЗА.....	59
Г. К. ГЕТЬМАН, С. Л. МАРІКУЦА (ДІТ) АНАЛІЗ АНАЛІТИЧНИХ ФУНКЦІЙ ДЛЯ АПРОКСИМАЦІЇ УНІВЕРСАЛЬНОЇ МАГНІТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО ТА ПУЛЬСУЮЧОГО СТРУМУ.....	63
Є. Д. КІМ (УПА, Слов'янськ), В. Г. СИЧЕНКО (ДІТ) ЗАХИСТ ВІД ПЕРЕНАПРУГ ЕЛЕКТРОТЯГОВИХ МЕРЕЖ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ: МЕТОДОЛОГІЯ ВИБОРУ ОПН.....	72
М. О. КОСТІН, П. Є. МИХАЛІЧЕНКО (ДІТ) РЕЛЕЙНИЙ МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЗАХИСТ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ОСНОВАНІЙ НА НОВОМУ ОЗНАКУ. 1. ТЕОРІЯ РОБОТИ.....	84
В. Г. КУЗНЕЦОВ, О. М. ПОЛЯХ (ДІТ) ОБґРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ДІАГНОСТИЧНОГО ПАРАМЕТРА ДЛЯ ВІБРОАКУСТИЧНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ.....	89
А. А. МАРЕНИЧ, Н. А. КОСТИН (ДИИТ) МЕТОД ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОТЯГОВОЙ И ПРОТИВОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИЛ КОНТАКТОРОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	93
Т. М. МІЩЕНКО (ДІТ)	

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ЗМІННОГО СТРУМУ
«ТЯГОВА МЕРЕЖА – ЕЛЕКТРОВОЗ».

2. ВМІКАННЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЕЛЕКТРОВОЗА В РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ;
ВИЗНАЧЕННЯ Й АНАЛІЗ КИДКА СТРУМУ НАМАГНІЧУВАННЯ.....100

Н. В. РУДЕВИЧ (НТУ «ХПИ», Харків)

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА В УСЛОВИЯХ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ.....105

Ю. Г. СЕМЕНОВ, Ю. И. ЖАРКОВ (РГУПС, Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТ С УСТОЙЧИВЫМИ ДЕФЕКТАМИ НА КОНТАКТНОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ
РЕГИСТРАЦИИ ДУГОВЫХ НАРУШЕНИЙ ТОКОСЪЕМА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ.....109

Д. В. УСТИМЕНКО, А. В. НІКІТЕНКО (ДІТ)

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ІЗ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ
НАСОСІВ.....116

РОЗДІЛ «ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ»

І. О. БОНДАРЕНКО (ДІТ)

ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА
ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ.....120

І. О. БОНДАРЕНКО, Д. М. КУРГАН, О. М. ПАТЛАСОВ, В. Є. САВЛУК (ДІТ)

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ І РУХОМОГО СКЛАДУ.....124

К. В. МОЙСЕЄНКО (ДІТ)

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАТУРНОГО ВИПРОБУВАННЯ НА МІЦНІСТЬ НОВОГО
СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ.....129

В. В. РИБКІН, В. А. ЛИСАК (ДІТ), О. Л. БУРДЮЖА (Керченський стрілочний завод)

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ ПРОЕКТУ КС1002.00.000 У БЕЗСТИКОВІЙ КОЛІЇ.....138

РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»

Е. В. АНУФРИЕВА (ДИИТ)

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ.....143

В. Є. ВОЛКОВА, М. С. ОЛІЙНИК (ДІТ)

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД.
ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ.....146

О. Л. ГЕРАСИМОВА (ПДАБА, Дніпропетровськ)

МОДЕЛЬ НОРМУВАННЯ РІВНІВ РЕНТАБЕЛЬНОСТІ В БУДІВНИЦТВІ.....151

Г. Е. ГУСЛИСТА (ПДАБА, Дніпропетровськ), Д. О. БАННИКОВ (ДІТ)

ОЦІНКА ВАЖЛИВОСТІ ВРАХУВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИСТЕМИ
«СПОРУДА – ГРУНТОВИЙ МАСИВ» ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЇЇ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ.....155

А. В. КРАСНЮК, Т. В. УЛЬЧЕНКО, А. Н. НЕТЕСА, К. Н. НЕТЕСА (ДИИТ)

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПАКЕТА AutoCAD 2009 ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТРЕХМЕРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРИЛОЖЕНИИ К СТРОИТЕЛЬНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ.....161

А. П. ПРИХОДЬКО, Е. С. ХАРЧЕНКО (ПГАСА, Днепропетровск)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СЦЕПЛЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИЙ С ВОССТАНАВЛИВАЕМЫМИ АРХИТЕКТУРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЗДАНИЙ.....165

М. В. САВИЦЬКИЙ, О. Г. ЗІНКЕВИЧ (ПДАБА, Дніпропетровськ), А. М. ЗІНКЕВИЧ (ДІТ)

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НА ЖОРСТКІСТЬ СТІН-ДІАФРАГМ В КАРКАСНИХ
БУДІВЛЯХ З ЛСТК.....169

РОЗДІЛ «ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ»

М. Л. СОРОКА, Л. А. ЯРЫШКИНА (ДИИТ)

СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ ЭМИССИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОРБЕНТАМ,
ПРИМЕНЯЕМЫМ ДЛЯ ИХ ЛИКВИДАЦИИ.....174

РОЗДІЛ «АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ»

К. В. ГОНЧАРОВ (ДНІТ) – goncharov_k@inbox.ru ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ПУТЕВОГО ПРИЕМНИКА ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ.....	180
А. П. РАЗГОНОВ, К. І. ЯЩУК (ДІТ) ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕЙКОВИХ КІЛ ТА СИСТЕМИ АВТОБЛОКУВАННЯ НА ПЕРЕВАЛЬНИХ ДІЛЯНКАХ З КРУТИМ ПРОФІЛЕМ.....	186

РОЗДІЛ «МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ»

О. Г. КАШТОНОВ (УДХТУ, Дніпропетровськ) МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РЕЛАКСАЦІЇ ПОТЕНЦІАЛУ В КУЛОНОСТАТИЧНИХ УМОВАХ ДЛЯ ВИПАДКУ ГРАНИЧНОГО ДИФУЗІЙНОГО СТРУМУ.....	191
В. В. ЛАГУТА (ДІТ) КОМПРОМІСНО-ОПТИМАЛЬНІ ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ НА МНОЖИНІ ПАРЕТО.....	195
С. Л. ЛИТВИНЕНКО (НАУ, Київ) ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ ВІТЧИЗНЯНИХ ВАНТАЖНИХ АВІАПЕРЕВІЗНИКІВ.....	200
Е. С. РЯБОВ, Б. Г. ЛЮБАРСКИЙ (НТУ «ХПИ», Харьков) ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЯГОВОГО БЕЗРЕДУКТОРНОГО ПРИВОДА НА ОСНОВЕ ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ С АКСИАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ.....	203
Н. Ю. ШРАМЕНКО (ХНАДУ, Харьков) ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУЗОВОГО ТЕРМИНАЛА.....	211

РОЗДІЛ «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

І. О. ВАКУЛЕНКО, В. Г. АНОФРІЄВ (ДІТ) МЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ З ПІДВИЩЕНОЮ МІЦНІСТЮ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАГОНІВ.....	216
І. О. ВАКУЛЕНКО, Ю. Л. НАДЕЖДІН (ДІТ) УМОВИ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ ДИНАМІЧНОГО ДЕФОРМАЦІЙНОГО СТАРІННЯ В СТАЛІ.....	220
О. А. КУЗІН (Національний університет «Львівська політехніка»), Т. М. МЕЩЕРЯКОВА (Львівська філія ДНУ), М. О. КУЗІН (Львівська залізниця) РОЛЬ СТРУКТУРИ В ПРОЦЕСАХ ЗНОШУВАННЯ ФЕРИТО-ПЕРЛІТНИХ СТАЛЕЙ.....	224
А. В. РАДКЕВИЧ, С. О. ЯКОВЛЄВ, І. Є. КРАМАР, О. І. ШАПТАЛА, М. В. БОРЕНКО (ДІТ) УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ І РЕМОНТОМ ТЕХНІКИ.....	230
О. Л. СКУЙБИДА, І. П. ВОЛЧОК (ЗНТУ, Запоріжжя) ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ЗА РАХУНОК МОДИФІКУВАННЯ.....	235
Е. В. СУХОВАЯ, В. А. СЫРОВАТКО, Ю. В. СЫРОВАТКО (ДНУ им. О. Гончара, Днепропетровск) КВАНТОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ СО СФЕРИЧЕСКИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ.....	238
В. Д. ШЕЛЯГИН, В. Ю. ХАСКИН, А. Т. НИКУЛИН, А. В. СИОРА, А. В. БЕРНАЦКИЙ (Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ, Киев) ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 38ХНЗМФА.....	244

ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»

Ю. С. БАРАШ, О. П. ПІНЧУК (ДІТ) НОВІ ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ВИТРАТ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ.....	249
В. В. БОБИЛЬ, Т. М. БЄЛІКОВА (ДІТ)	

УДОСКОНАЛЕННЯ ФІНАНСОВОГО КОНТРОЛЮ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ В СУЧАСНИХ УМОВАХ.....	253
Т. М. ГЛУШЕНКО (УкрДАЗТ, Харків) КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ.....	256
Г. Д. ЕЙТУТІС (Південно-Західна залізниця, Київ) МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ЩОДО РОЗРОБКИ АЛГОРИТМУ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ.....	259
В. О. ЗАДОЯ (ДПТ) КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ПОБУДОВИ МЕХАНІЗМУ УПРАВЛІННЯ ПАСАЖИРСЬКИМИ ПРИМІСЬКИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ.....	264
Н. Ф. ЗЕНЬЧУК, А. В. ЗАЛУЖНАЯ (БелГУТ, Гомель, Беларусь) ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ОТ ОГРАНИЧЕНИЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ СНИЖЕНИЯ ЗА СЧЁТ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ.....	268
И. В. КЛИМЕНКО (ДИИТ) АДАПТАЦИЯ МЕТОДА Т. ДЕМАРКА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕКТОРНЫХ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ.....	274
Д. В. КОЛЕСНИКОВ (Державне агентство України з управління державними корпоративними правами та майном, Україна) СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ МОДЕЛЕЙ ВЕРТИКАЛЬНО-ІНТЕГРОВАНІХ СТРУКТУР В УКРАЇНІ.....	277
А. А. ПОКОТІЛОВ (ДПТ) ФАКТОРИ І ПАРАМЕТРИ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТІВ ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА.....	285
Г. С. П'ЯТИГОРЕЦЬ (ДПТ) МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЦІН НА ДОДАТКОВІ ПОСЛУГИ, ЩО НАДАЮТЬСЯ ПАСАЖИРАМ НА ВОКЗАЛАХ І В ПОЇЗДАХ.....	290
І. П. САДЛОВСЬКА (НАУ, Київ) ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ.....	295
Т. В. ТЕСЛЕНКО (ДПТ) УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ.....	298

О. М. БОНДАРЄВ, Д. О. ЯГОДА (ДІПТ), В. М. СКОБЛЕНКО (Укрзалізниця, Київ)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ БАЛОК ЦЕНТРАЛЬНОГО ПІДВІШУВАННЯ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДІВ ДР1А

В статті наведено результати експериментально-теоретичної оцінки показників міцності балок центрального підвішування дизель-поїздів ДР1А та запропоновано заходи модернізації з покращення показників міцності.

Ключові слова: напружено-деформований стан, показники міцності, розрахункова схема, скінченні елементи, дизель-поїзд

В статье приведены результаты экспериментально-теоретической оценки показателей прочности балок центрального подвешивания дизель-поездов ДР1А и рекомендованы варианты модернизации и улучшения показателей прочности.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, показатели прочности, расчетная схема, конечные элементы, дизель-поезд

In the paper the results of experimental-and-theoretical evaluation of strength indices for central swing bolsters of diesel trains DR1A are presented and the variants of modernization and improvement of the strength indices are recommended.

Keywords: strained-and-stressed state, strength indices, design scheme, finite elements, diesel train

Дана робота присвячена визначенню напружено-деформованого стану надресорних балок головних вагонів дизель-поїздів ДР1А, яке може створюватися в умовах експлуатації, та розробці заходів, спрямованих на покращення показників міцності.

Для досягнення вказаної мети були розроблені розрахункові схеми надресорної балки, які створені із сукупності скінченних елементів. Проведені чисельні розрахунки з використанням сучасного програмного комплексу. Виконано оцінку впливу параметрів балок на найбільші рівні напружень.

Для визначення факторів, які в умовах експлуатації створюють динамічні навантаження та з часом можуть призводити до руйнувань надресорних балок, проведено динамічні міцносні випробування на магістральних коліях Полтавської дирекції залізничних перевезень Південної залізниці. В цих випробуваннях було визначено динамічну навантаженість та рівень напружено-деформованого стану в умовах експлуатації. Також проведено аналіз із встановлення чинників, які є найбільш впливовими на формування найбільших рівнів напружень[3,4].

Загальний вигляд дизель-поїзда ДР1А наведено на рис. 1.

Основні технічні характеристики дизель-поїзда ДР1А наведено в табл. 1 [1, 2, 5, 6].

В табл. 2 наведено дані про відмови у центральному підвішуванні дизель-поїздів ДР1А по залізницях України, які виявлено протягом 2007-2010 рр.



Рис. 1. Загальний вигляд дизель-поїзда ДР1А

Дані табл. 2 свідчать про те, що руйнування в балках відбувалось з пробігом у досить великому діапазоні $2 \dots 4 \cdot 10^6$ км.

На рис. 2 наведено загальний вигляд моделі надресорної балки дизель-поїзда ДР1А, а на рис. 3 скінченно-елементна схема, яка складається з 24219 елементів та має 136629 вузлів.

На рис. 4 – 6 вказано схеми та місця розташування вимірювальних пристроїв.

Технічні характеристики дизель-поїзда ДР1

№ пор.	Назва параметру	Значення параметрів
1	Завод-виробник	РВЗ (СРСР)
2	Конструктивна швидкість	120 км/год
3	Кількість моторних вагонів	2
4	Кількість причіпних вагонів	4
5	Діаметр круга катання, мм	950
6	Маса дизель-поїзду в навантаженому стані (з пасажирами), т (кН)	352 (3453,12)
7	Навантаження від колісної пари на рейки: ведуча колісна пара, кН; підтримуюча моторного вагону, кН; причіпного вагону, кН	170 150 140
8	Маса вагону: моторного, т (кН); причіпного, т (кН)	60 (588,6) 37,5 (367,88)
9	Найменший радіус кривих, в яких дизель-поїзд може рухатися зі швидкістю 10 км/год, м	100
10	Кількість місць для сидіння у вагоні: моторному; причіпному	68 128
11	База (відстань між шворнями): моторного вагону, мм; причіпного вагону, мм	18000 18000
12	База візку: моторного, мм; підтримуючого та причіпного, мм	2700 2400
13	Ширина колії, мм	1520

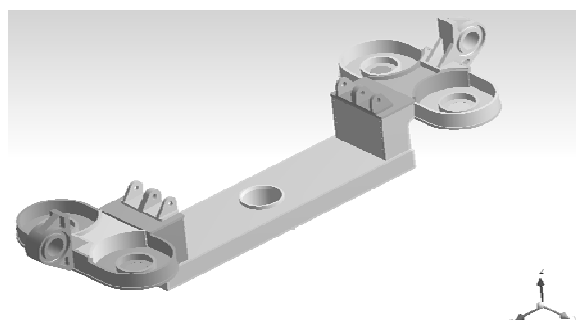


Рис. 2. Загальний вигляд моделі надресорної балки дизель-поїзда ДР1А

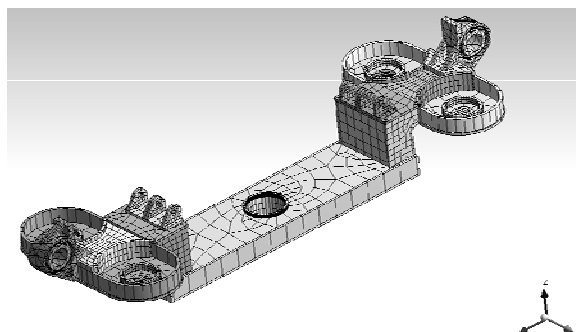


Рис. 3. Скінченно-елементна модель надресорної балки дизель-поїзда ДР1А

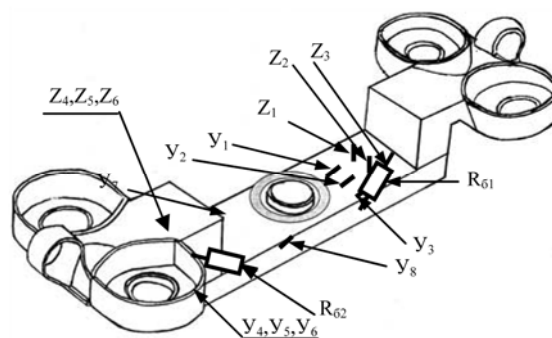


Рис. 4. Схеми розміщення тензодатчиків та датчиків переміщень на надресорній балці

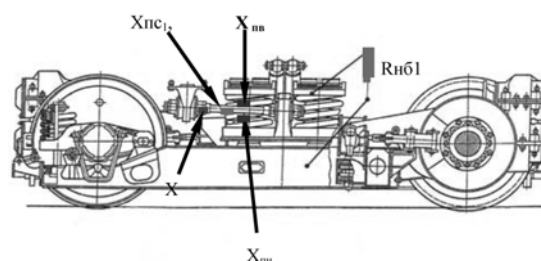


Рис. 5. Схема розміщення тензодатчиків на півідку (зв'язок кузов-надресорна балка) та датчиків визначення переміщень надресорної балки відносно рами візка

Дані про відмови у центральному підвішуванні дизель-поїздів ДР1А по залізницях України

Залізниця	№ пор.	Дата заміни	Серія та № МВРС	Причина	Пробіг, тис. км
Південно-Західна залізниця	Виходів з ладу надресорних балок не було				
Львівська залізниця	Виходів з ладу надресорних балок не було (в попередніх роках тріщини створювалися)				
Південна залізниця	1	29.10.2008	ДР1А-1413	Тріщина по лінії зварювального шва з'єднання деталей балки та профілю дна	3955
	2	18.11.2008	ДР1А-2631		2507
	3	20.11.2008	ДР1А-1423		3498
	4	06.02.2009	ДР1А-2961		2018
	5	10.03.2009	ДР1А-1421		3500
	6	26.07.2009	ДР1А-2371		3117

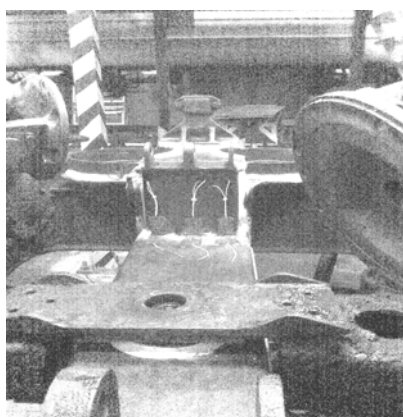


Рис. 6. Розташування тензорезисторів на надресорній балці

При обладнанні надресорної балки тензорезистори та датчики переміщень встановлюються у наступних місцях:

- по три тензорезистори на кожній опорі стаканів пружинних комплектів надресорної балки (Z1-Z6);
- по три тензорезистори на верхній полиці надресорної балки навколо місць приварювання опор стаканів пружинних комплектів (У1-У6);
- чотири тензорезистори на поводок тяги передачі тягового зусилля від над ресорної балки візка до кузова вагона (Хпс1, Хпс2, Хпв, Хпн);
- два датчики малих переміщень для визначення взаємних переміщень опор стаканів пружинних комплектів та основного бруса надресорної балки (R61, R62);
- два датчики переміщень для визначення

переміщень надресорної балки відносно кузова вагона (Rнб1, Rнб2) та визначення вертикальних зусиль центрального підвішування;

– тензорезистор Х1 для вимірювання поздовжньої сили тяги передачі зусилля;

– два тензорезистори У7, У8 для вимірювання напружень в зоні шкворневого вузла від дії згинання.

На рис. 7 наведено розрахункову схему тяги передачі зусилля, яка надає пояснення для визначення згинальних моментів у вертикальній та горизонтальній площинах та відповідних зусиль.

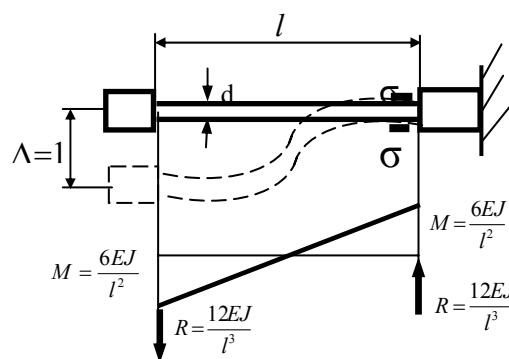


Рис. 7. Зв'язок між переміщеннями та зусиллями

Напруження, які створюються у наведених точках, визначаються за співвідношенням

$$\sigma = \frac{M}{W_z}, \text{ звідкіля визначаємо } M = \sigma \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{32}.$$

Якщо два тензорезистори з'єднати таким чином, що вони разом складають пів електрично-

го моста, то відповідний канал буде давати відліки, що дорівнюють подвійному значенню напруження та подвійному значенню згинального моменту. В такому разі будемо мати

$$2 \cdot M = \kappa_U \cdot U \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$

і таким чином згинальний момент буде визначатися за співвідношенням

$$M = \kappa_U \cdot U \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{64}.$$

В даному співвідношенні U, κ_U - напруга, які відповідає напруженню в даній точці та ціна вольту відповідного напруження. Враховуючи те, що тяга має круглий переріз, згинальні моменти у горизонтальній та у вертикальній площинах будуть визначатися за вищенаведеною формулою. Відповідні поперечні сили у горизонтальній та у вертикальній площинах будуть визначатися, як $Q = \frac{2 \cdot M}{l}$.

Для визначення зусиль згинання у горизонтальній поперечній площині опор стаканів пружинних комплектів центрального підвішування використовувалися датчики малих переміщень.

Якщо будуть відомі величина переміщення Δ та величина жорсткості конструкції у відповідному напрямку κ_k , то в такому разі величина зусилля N буде визначатися наступним чином $N = \kappa_k \cdot \Delta$.

На підставі геометричних співвідношень з рис. 8 отримаємо $\Delta = \frac{\Delta^*}{\cos \alpha} = \frac{\Delta^*}{a} \cdot \sqrt{a^2 + b^2}$ і тоді зусилля N буде визначено як $N = \kappa_k \cdot \Delta = \kappa_k \cdot \frac{\Delta^*}{a} \cdot \sqrt{a^2 + b^2}$. В даному співвідношенні Δ^* – величина переміщення, яка вимірюється за допомогою датчика малих переміщень. Величина жорсткості κ_k визначається аналітично на підставі скінченно-елементної моделі даної конструкції. Для цього прикладалася сила в горизонтальному поперечному величини 10 кН та визначалося відповідне переміщення, яке дорівнювало 0,5 мм. Таким чином величина жорсткості в місці прикладання сили дорівнювала 20 кН/мм. Далі було вико-

нано корегування цієї величини, оскільки точка закріплення датчика малих переміщень була нижче відносно до місця прикладання зусилля N за співвідношенням $\kappa_k = 20 \cdot \frac{c}{a}$.

Результати статичних випробувань

У табл. 3 наведено значення вертикальних жорсткостей пружинних комплектів візків головного вагона, які були експериментально визначено у випробуваннях

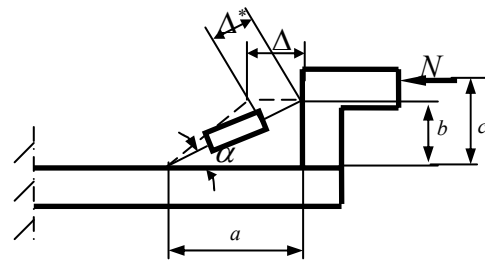


Рис. 8. Пояснення до визначення зусилля N за допомогою датчика малих переміщень

Таблиця 3

Чисельні значення жорсткостей пружинних комплектів

Параметр	Моторний візок головного вагона	
	перший ступінь підвішування	другий ступінь підвішування
Жорсткість, кН/мм	1,04	1,4

Результати обробки статичних випробувань з визначення статичних напружень та зусиль, що створюються від ваги кузова у надресорній балці, наведено у табл. 4.

Результати статичних випробувань, наведених у табл. 4 показують, що найбільші рівні статичних напружень від ваги кузова на верхній полиці профільної основи дна надресорної балки в місцях прилягання до опор стаканів пружинних комплектів центрального підвішування досягають 24,3 МПа (т. У4), в середині цієї балки навколо отвору шкворневого вузла 10,8 МПа (т. S2).а на опорах стаканів центрального підвішування 10,3 МПа (т. Z6).

Таблиця 4

**Статичні величини напружень та зусиль,
які створюються від ваги кузова**

ПР2, N, кН	У1, МПа	У3, МПа	У4, МПа	У5, МПа	У6, МПа	С1, МПа
5,2	4,0	6,2	24,3	10,3	9,5	11,6

С2, МПа	З1, МПа	З3, МПа	З4, МПа	З5, МПа	З6, МПа
10,8	2,1	1,2	3,1	8,0	10,3

**Результати динамічних
міцнісних випробувань**

На рис. 9 наведено приклади процесів змінювання напружень, зусиль та згинальних моментів під час руху дизель-поїзда по стрілочному переводу. На цьому рисунку додатково до вище означених процесів (див. рис. 4 – 5) наведено процеси змінювання згинальних моментів у вертикальній t_v та горизонтальній площинах t_q , повздовжнього зусилля у тязі t_p , а також зусилля у центральному підвішуванні f_1 .

В табл. 5 наведено найбільші значення динамічних складових напружень зусиль та згинальних моментів, зареєстрованих процесів на рис. 9.

Таблиця 5

**Динамічні складові напружень зусиль
та згинальних моментів**

f_1 , кН	ПР2, N, кН	У1, МПа	У3, МПа	У4, МПа	У6, МПа	С1, МПа
37,1	33,5	50,9	33,3	41,1	32,7	13,5

З1, МПа	З3, МПа	З4, МПа	З6, МПа	t_v, M , кНм	t_q, M , кНм	t_p , кН
7,9	17,7	7,3	15,0	0,5	0,48	20,9

На рис. 10 – 19 наведено найбільші значення зусиль, моментів та напружень, які створюються під час руху дизель-поїзда в прямих (рисунок ліворуч), в кривих середніх і великих радіусів (рисунок праворуч) та по стрілочних переводах (нижні рисунки).

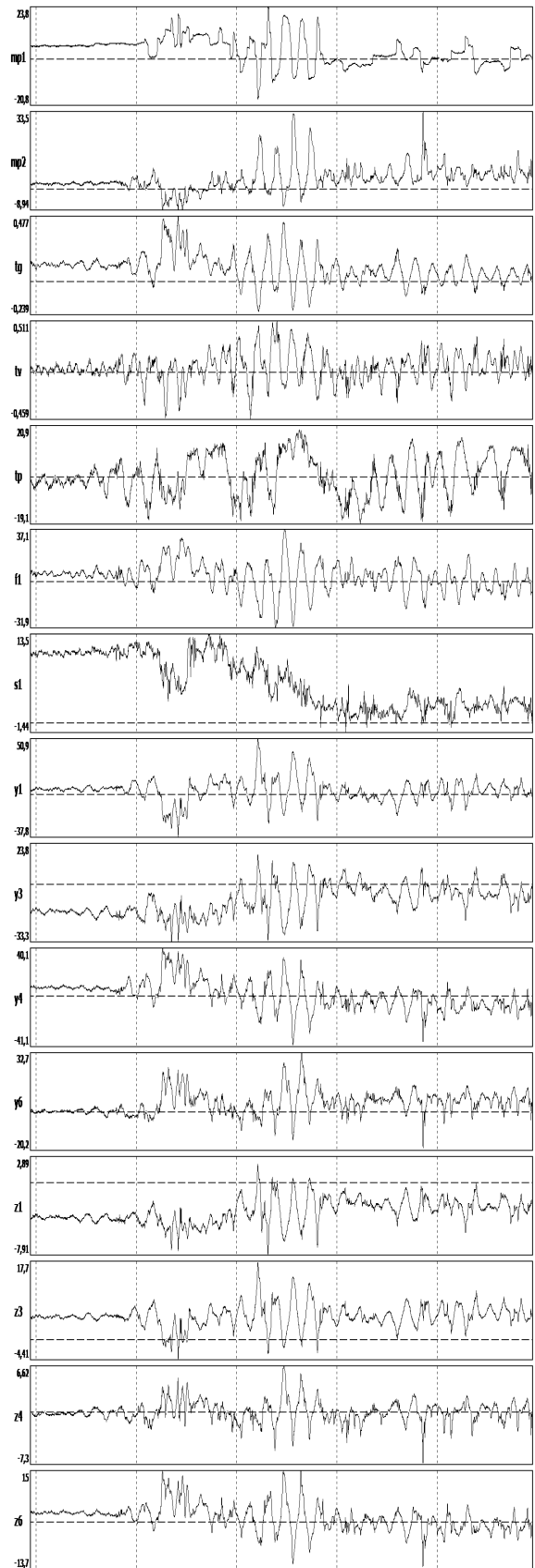


Рис. 9. Приклади процесів змінювання напружень,
зусиль та згинальних моментів під час руху дизель-
поїзда по стрілочному переводу

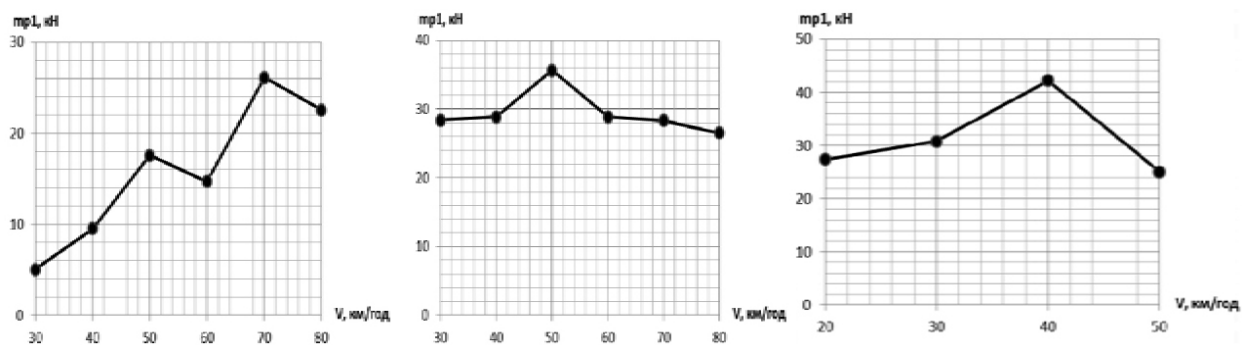


Рис. 10. Залежності найбільших рівнів горизонтальних поперечних сил N

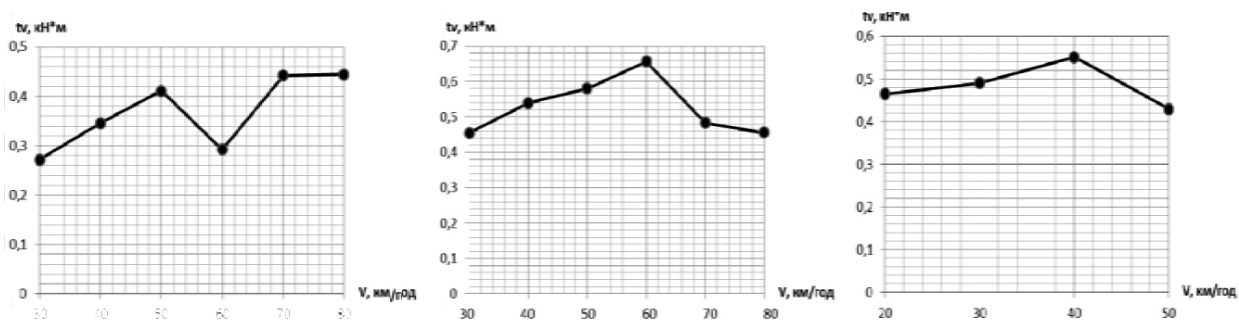


Рис. 11. Залежності найбільших рівнів згинальних моментів, діючих у вертикальній площині M_v

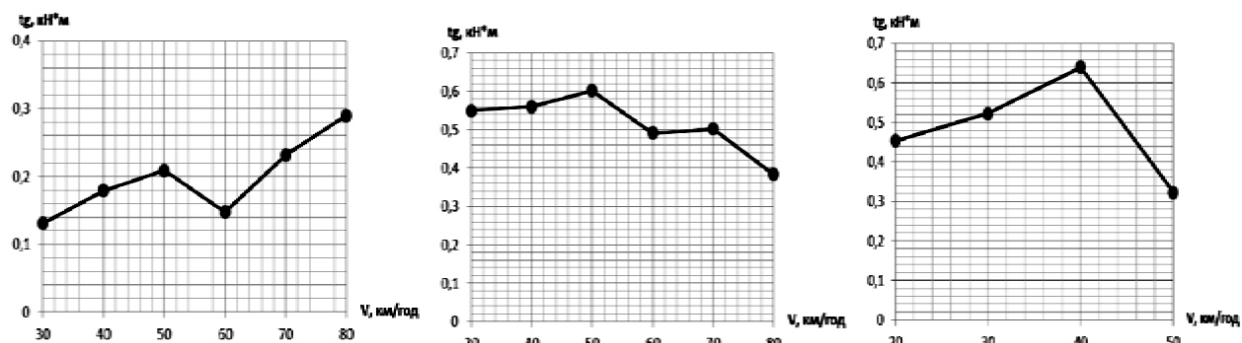


Рис. 12. Залежності найбільших рівнів згинальних моментів, діючих у горизонтальній площині M_g

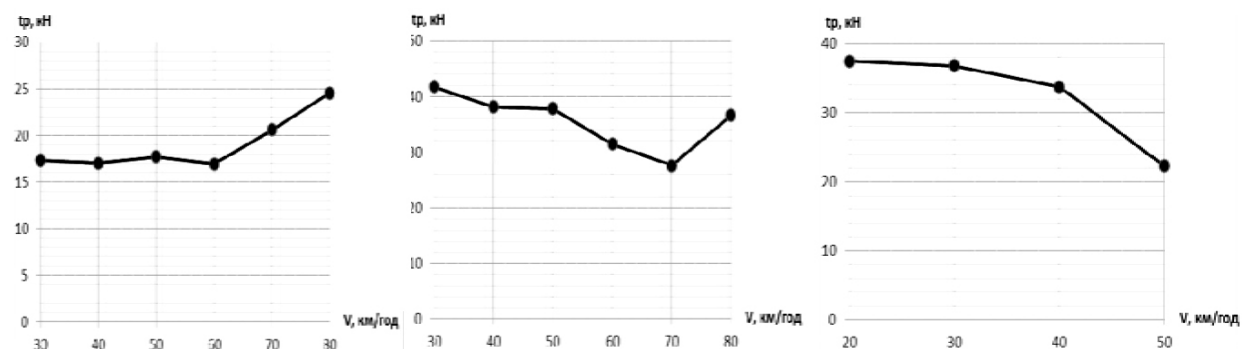


Рис. 13. Залежності найбільших рівнів зусиль в тязі, що передає тягове зусилля від візка до кузова F_T

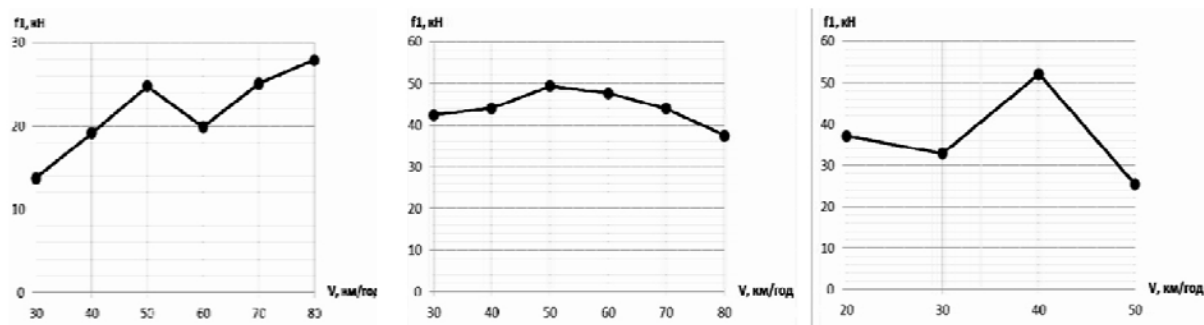


Рис. 14. Залежності найбільших рівнів зусиль в пружинних комплектах центрального підвішування $Q_{Ц}$

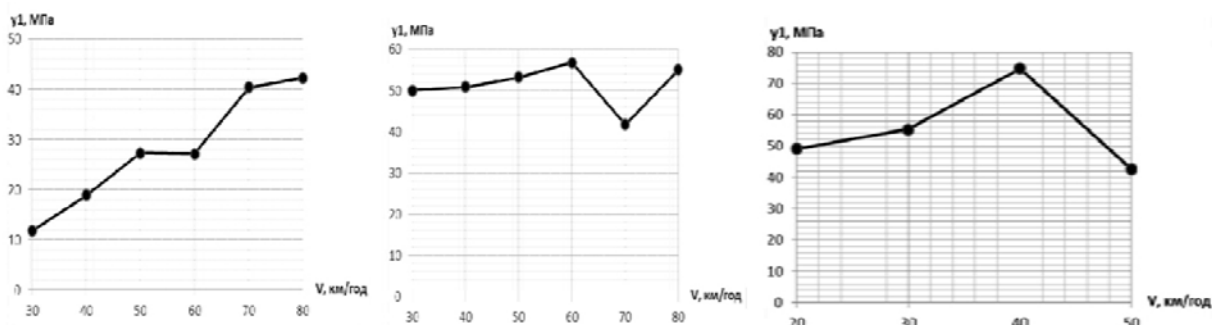


Рис. 15. Залежності найбільших рівнів напружень на профільній основі дна надресорної балки (т. У1)

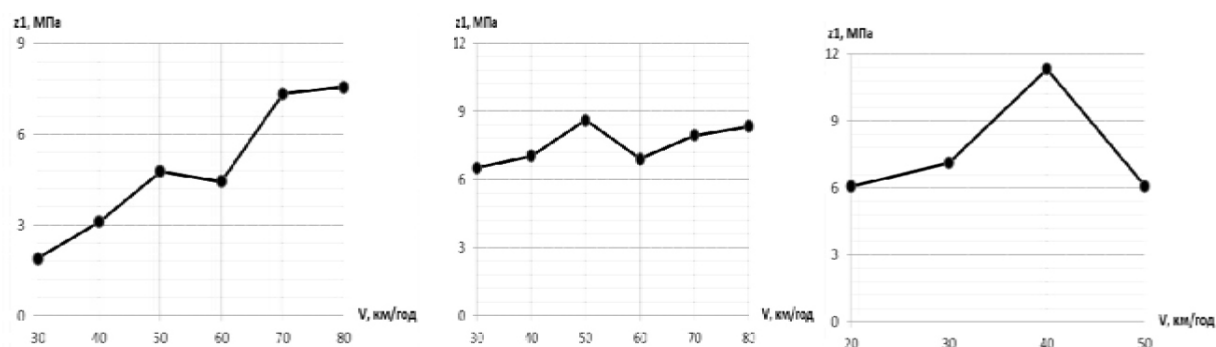


Рис. 16. Залежності найбільших рівнів напружень на опорі стаканів пружин центрального підвішування (т. Z1)

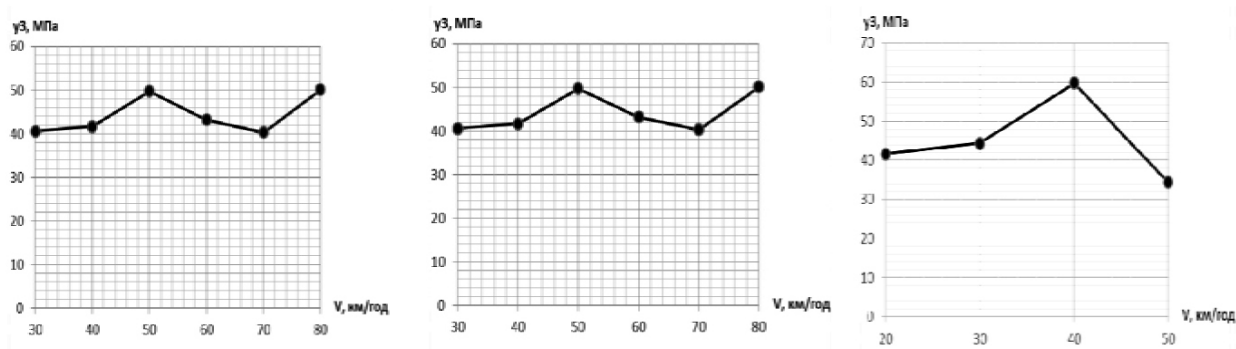


Рис. 17. Залежності найбільших рівнів напружень на профільній основі дна надресорної балки (т. У3)

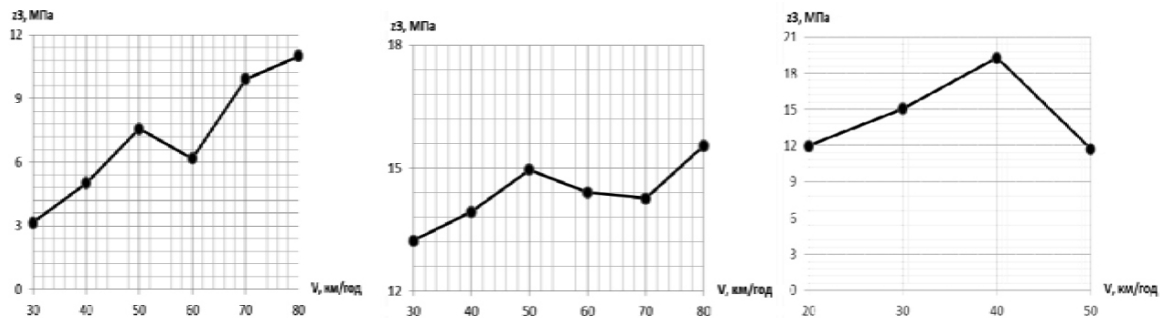


Рис. 18. Залежності найбільших рівнів напружень на опорі стаканів пружин центрального підвішування (т. Z3)

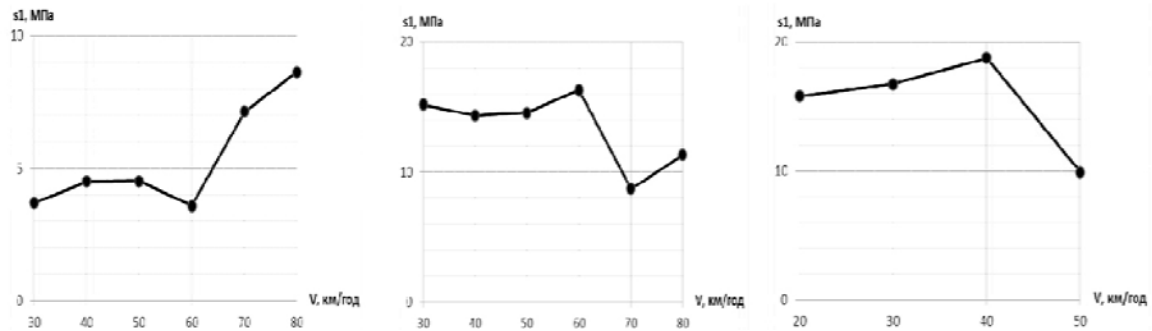


Рис. 19. Залежності найбільших рівнів напружень на профільній основі дна надресорної балки (т. У8)

З аналізу наведених результатів на рисунках маємо наступне:

Під час руху дизель-поїзда в прямих горизонтальне поперечне (відносно до рами візка) зусилля N , що діє на опорі стаканів пружинних комплектів та викликає її згинання, зростає по мірі збільшення швидкості руху. Це пояснюється зростаючими коливаннями хитамиці та бічного відносу кузова відносно рами візка. Найбільше значення цих зусиль складає 26 кН. Під час руху в кривих проглядається практична незмінність цих зусиль на рівні 27-29 кН та має місце зростання до 36 кН під час руху зі швидкістю 50 км/год. При рухові по стрілочним переходам найбільші значення відповідних величин змінюються подібним чином, як і при рухові в кривих. В цих умовах спостерігається зростання відповідних зусиль до 42 кН. Таким чином під час проведення чисельних розрахунків з визначення напружено-деформованого стану на дію цього виду зусиль слід його приймати на рівні $N_{\max}=42$ кН.

Подібна тенденція спостерігається і в змінюванні згинальних моментів у вертикальній та горизонтальній площинах, які передаються на шкворневу балку від тяги, що забезпечує реалізацію тягового зусилля дизель-поїзда.

Найбільша величина згинального моменту M_B досягає 0,66 кНм при рухові в кривих дільницях колії. Від дії такої величини згинального моменту в нижніх та верхніх волокнах тяги пе-

редачі зусилля створюються напруження на рівні 38,3 МПа.

Згинальний момент, що діє в горизонтальній площині під час руху в кривих досягає 0,6 кНм, а при рухові по стрілочним переходам – 0,65 кНм. Такі значення моментів створюють у горизонтальних волокнах тяги передачі зусилля наступні значення найбільших нормальних напружень 34,8 та 37,7 МПа відповідно.

Під час руху дизель-поїзда в прямих найбільші рівні зусиль в тязі, що передає тягове зусилля від візка до кузова F_T , досягають 25 кН при швидкості 80 км/год. Але ж при рухові в кривих найбільша величина цього зусилля складає 42 кН при швидкості руху 30 км/год.

Для визначення найбільших значень нормальних напружень в тязі передачі тягового зусилля була прийнято режим тяги в кривих зі швидкістю 50 км/год, коли згинальні моменти у вертикальній M_B та M_G горизонтальній площинах дорівнюють 0,6 кНм, а тягове зусилля F_T дорівнює 38 кН. На підставі відомих формул опору матеріалів найбільше нормальні напруження будуть дорівнювати

$$\sigma = \frac{F_T}{A} + \frac{1}{w_z} \cdot \sqrt{M_B^2 + M_G^2} =$$

$$= \frac{F_T \cdot 4}{\pi \cdot d^2} + \frac{32}{\pi d^3} \cdot \sqrt{M_B^2 + M_G^2};$$

$$3,7 + 1,41 \cdot 34,8 = 52,9 \text{ МПа.}$$

У центральному підвішуванні тенденція змінювання динамічних добавок найбільших вертикальних сил $Q_{\text{ц}}$ в залежності від швидкості руху є приблизно такою ж, як і зусиль N та F_T . Найбільші значення ці зусилля досягають 50 кН при швидкості руху 50 км/год в кривих, а по стрілочних переводах 52 кН при швидкості руху 40 км/год. При таких найбільших значеннях динамічних складових зусиль, коефіцієнт динаміки для центрального підвішування буде

$$\kappa_{\text{дц}} = \frac{Q_{\text{д}}}{Q_{\text{ст}}} = \frac{52}{147,2} = 0,353 \quad \text{та}$$

перевищує нормативне значення. Привернемо також увагу на те, що у більшості головних вагонів дизель-поїздів ДР1А, з якими раніше проводились випробування спеціалістами ГНДЛ ДМРС, коефіцієнти динаміки у центральному підвішуванні є досить великими, а в окремих випадках вони досягали значень більше 0,5.

Тенденція змінювання напружень, які вимірювалися в точках навколо зварного шву на опорах стаканів пружинних комплектів центрального підвішування У1-У6 та в прилягаючих до цього шва точках, що належать профілю дна надресорної балки Z1-Z6, є практично такою ж, як і змінювання зусиль N , F_T та моментів M_B , M_T .

При цьому було отримано, що поблизу країв на профільній основі дна надресорної балки найбільші значення динамічних складових напружень У1, У3 при рухові в прямих, кривих та по стрілочних переводах досягають значень 50, 57 та 75 МПа відповідно. В точках Z1, Z3 навколошовної зони, на опорах стаканів пружинних комплектів центрального підвішування

жирних комплектів центрального підвішування найбільші значення динамічних складових напружень при рухові в прямих, кривих та по стрілочних переводах досягають значень 11,1; 15,6 та 19,3 МПа відповідно.

Під час виконання ремонтних робіт, пов'язаних із викочуванням візків було виявлено наявність залишкових деформацій згинання профілю дна надресорної балки. Для встановлення чинників, які б могли створити такі деформації в реальних умовах експлуатації були виміряні напруження в місцях створення найбільших деформацій згинання (отвір в зоні шкворневого вузла). В результаті було отримано, що найбільші динамічні складові напружень при рухові в прямих, кривих та по стрілочних переводах досягали значень 16,5 та 18,5 МПа відповідно. Ці результати показують, що в штатних умовах експлуатації дизель-поїздів профільна основа дна надресорної балки не повинна мати залишкових деформацій. В якості ситуації, що може привести до створення залишкових деформацій, це піднімання кузова з невід'єднаною надресорною балкою.

З метою оцінки впливу означених силових факторів на змінювання напружень у точках надресорної балки були побудовані регресійні залежності напружень від величин: згинальних моментів у горизонтальній M_T , та вертикальній M_B площинах, зусиль у тязі передачі тягового зусилля F_T , та від горизонтального поперечного зусилля N . Приклади цих розрахунків для випадку руху в кривих наведено на рис. 20 та в прямих на рис. 21 – 22.

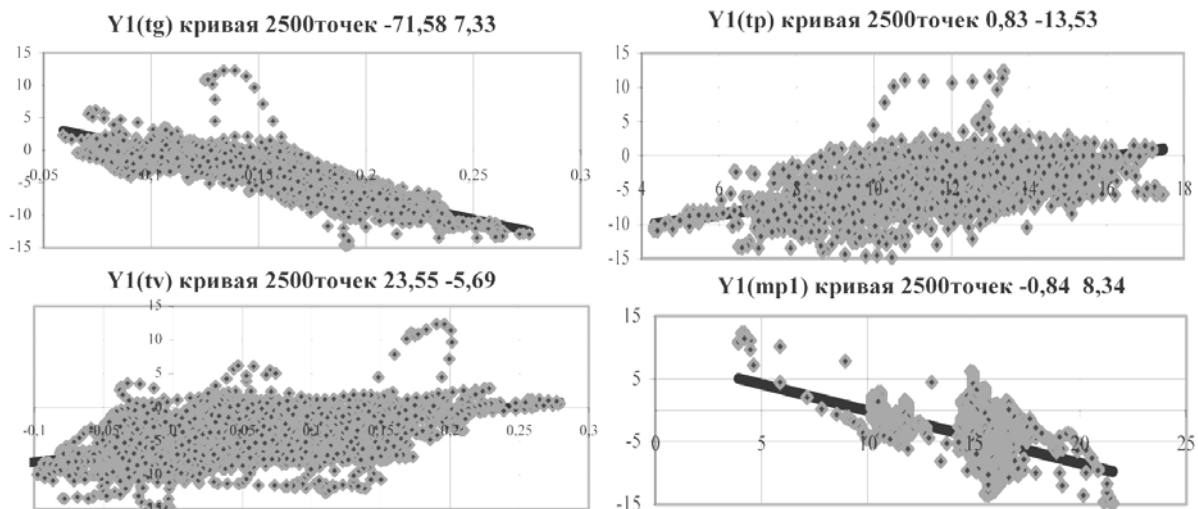


Рис. 20. Залежності напружень на профільній основі дна надресорної балки у точці У1

Аналіз отриманих регресійних залежностей найбільших величин динамічних складових на-

пружень під час руху дизель-поїзда в кривих виявив наступне:

1. У точці профільної основи дна надресорної балки у середній частині навколо отвору шкворневого вузла (т. У8) напруження несуттєво змінюються залежно від величини моментів та зусиль. На регресійній залежності $S1(tg)$ (позначення комп'ютера) – $U8(M_T)$ лінія регресії практично залишається постійною при змінюванні згинального моменту у горизонтальній площині M_T та спостерігається збільшення розсіювання величин цих напружень відносно лінії регресії. Найбільше змінювання напружень у цій точці спостерігається від дії горизонтальної поперечної сили N (регресійна залежність $S1(mp1)$)).

2. На профільній основі надресорної балки навколо швів приварювання до профільної основи опор стаканів пружинних комплектів в точках $U1$ та $U3$ під час руху дизель-поїзда в кривих, як це слідує з відповідних регресійних залежностей, спостерігається вплив вказаних вище силових факторів на змінювання напружень. В цих точках також найбільш впливовою величиною є горизонтальне поперечне зусилля N .

3. В точках $Z1$ та $Z3$, які належать опорам стаканів пружинних комплектів центрального

підвішування, під час руху в кривих також спостерігається вплив на величини напружень вказаних силових факторів. Але ж найбільш впливовим з силових факторів є горизонтальне поперечне зусилля N .

Приймаючи до уваги, що найбільші напруження створюються в точці $U3$, в якості прикладу, далі на рис. 21 наведено регресійні залежності від моментів у горизонтальній M_T , та вертикальній M_V площинах, а також від горизонтального поперечного зусилля N при русі дизель-поїзда по прямим дільницям колії тільки для точці $U3$.

На рис. 22 наведено регресійні залежності напружень від згинального моменту у горизонтальній площині M_T , від горизонтального поперечного зусилля N та від тягового зусилля F_T на профільній основі дна надресорної балки у точці $U3$ при русі в прямих.

Аналіз отриманих результатів виявив, що більший вплив на змінювання напружень у точці $U3$ спостерігається під час руху в прямих на вибігу, що пояснюється створенням в цьому режимі, у порівнянні з режимом руху в тязі, більш інтенсивних коливань хитавиці та бічного відносу.

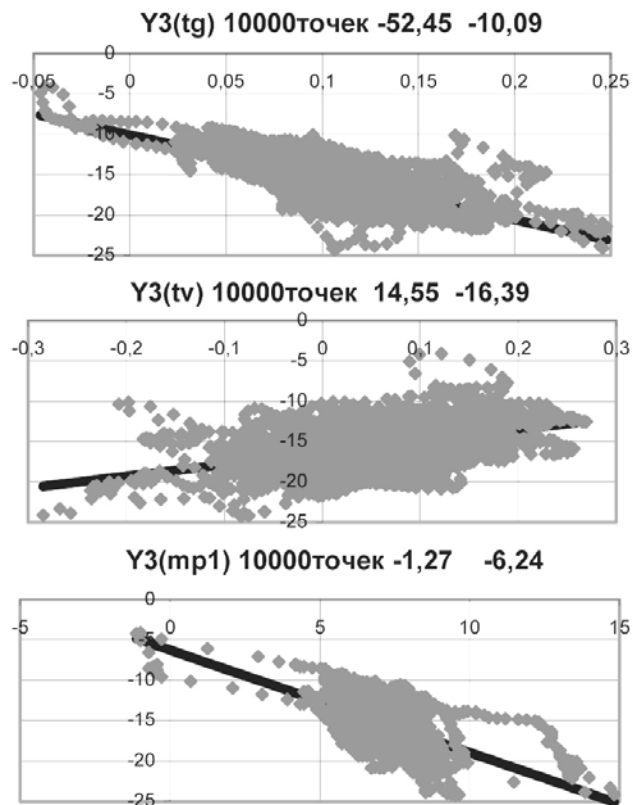


Рис. 21. Залежності напружень на профільній основі надресорної балки у точці $U3$ при русі в прямих на вибігу

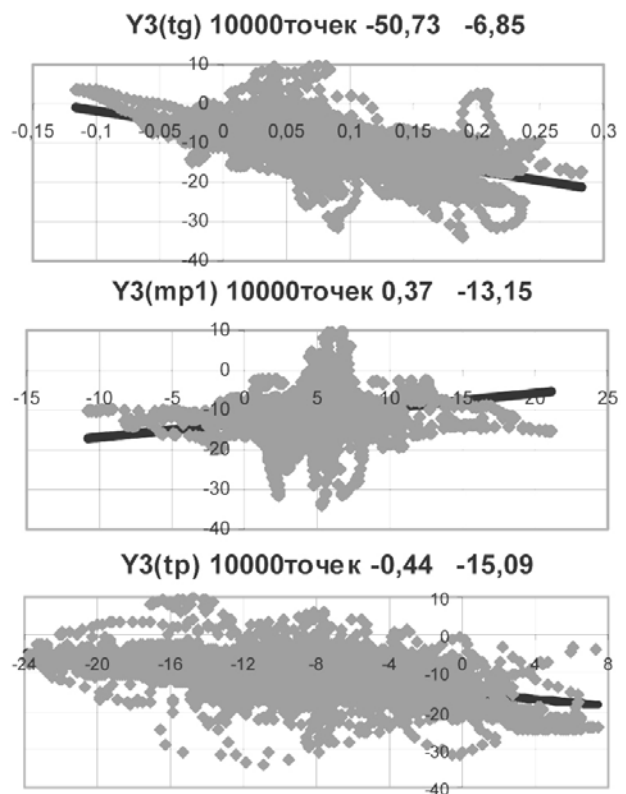


Рис. 22. Залежності напружень на профільній основі дна надресорної балки у точці $U3$ при русі в прямих в режимі тяги

Варіанти модернізації найбільш навантаженого фрагменту надресорної балки. Оцінка впливу заходів модернізації на рівень напружено-деформованого стану цього вузла

З метою розробки заходів з покращення показників міцності було розглянуто декілька варіантів модернізації надресорних балок головних вагонів дизель-поїздів ДР1А. Для розрахунку на міцність була прийнята мало ймовірна найбільш несприятлива ситуація, при якій зусилля, що діють на надресорну балку, мають найбільші рівні. Так під час проведення розрахунку приймалося, що найбільші рівні силових факторів складають:

- згинальні моменти, які передаються від тяги тягового зусилля у вертикальній $M_v = 0,66$ кНм, та у горизонтальній $M_r = 0,66$ кНм площинах;
- горизонтальне поперечне зусилля $N = 42$ кН;
- тягове зусилля у тязі, що з'єднує надресорну балку з рамою кузова $F_T = 38$ кН;
- динамічна складова вертикального зусилля від ваги кузова $Q_{\text{ц}} = 52$ кН.

В такому варіанті рівнів навантажень величини напружень будуть завищеними відносно до реальних значень, і тому це піде в запас міцності та не буде впливати на оцінку ефективності заходів модернізації.

На підставі отриманих рівнів зусиль та моментів, що виникають в умовах експлуатації, за методом скінченних елементів було проведено чисельні розрахунки з визначення рівнів найбільших напружень, які можуть створюватися в елементах надресорної балки. Під час проведення розрахунків було розглянуто базовий варіант конструкції та варіанти модернізації.

На рис. 24 – 27 наведено вигляди надресорної балки з відповідними посилюючими елементами, які повинні покращувати напружено-деформований стан. У всіх варіантах розміри підсилюючих елементів визначалися у відповідності до існуючих геометричних розмірів, конструкції надресорної балки [1, 5] та результатів чисельних розрахунків з визначення рівнів напружень за методом скінченних елементів.

На рис. 23 наведено загальний вигляд моделі надресорної балки та діюче в умовах експлуатації навантаження.

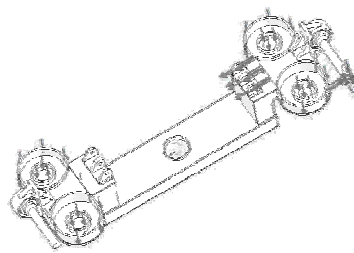


Рис. 23. Загальний вигляд моделі надресорної балки та діюче навантаження, що створюється в умовах експлуатації

На рис. 24 – 28 наведено вигляди надресорної балки з відповідними посилюючими елементами, які повинні покращувати напружено-деформований стан.

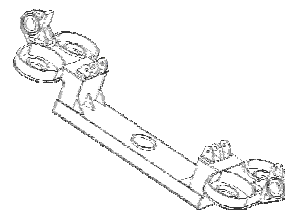


Рис. 24. Перший варіант

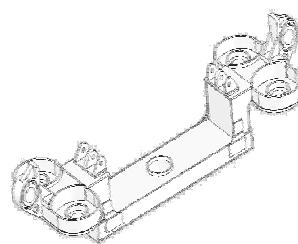


Рис. 25. Другий варіант

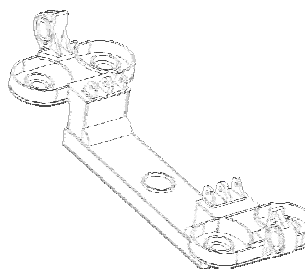


Рис. 26. Третій варіант

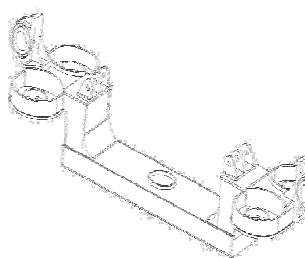


Рис. 27. Четвертий варіант

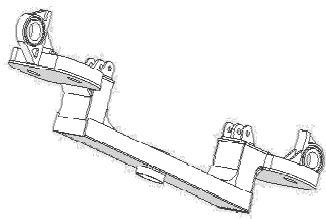


Рис. 28. П'ятий варіант

У всіх варіантах розміри підсилюючих елементів визначалися у відповідності до існуючих геометричних розмірів та конструкції надресорної балки та результатів чисельних розрахунків з визначення рівнів напружень за методом скінченних елементів.

На рис. 29 наведено поле розподілу напружень у базовому варіанті конструкції надресорної балки.

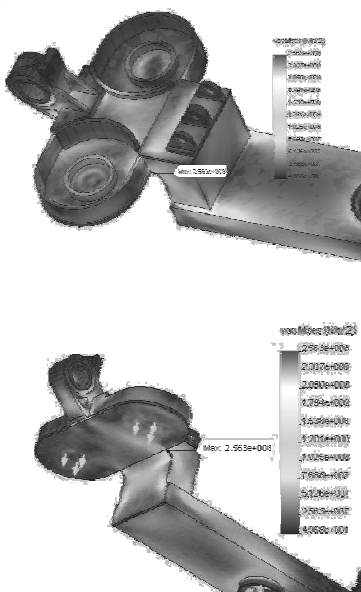


Рис. 29. Поле розподілу напружень у базовому варіанті конструкції надресорної балки

В базовому варіанті при вказаних величинах навантажень отримано, що на викрутці, в місці приєднання площадки опор пружинних комплектів до стійки напруження досягають 256 МПа. При цьому у точках, де спостерігалися руйнування в експлуатації по лінії зварного шва приварювання опори стаканів пружинних комплектів до профільної основи надресорної балки, напруження дорівнюють 205 МПа.

На рис. 30 наведено п'ятий варіант модернізації, в якому в межах ширини профільної основи дна надресорної балки встановлюються металеві елементи в нижній зоні та у верхній, де приєднується площадка опори пружинних

комплектів до стійки опори та поле розподілу напружень.

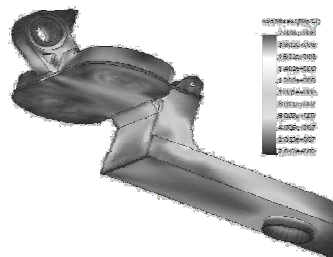
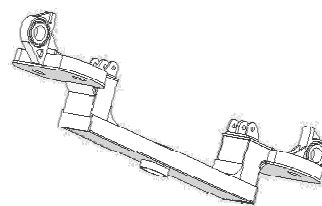


Рис. 30 Загальний вигляд моделі модернізованої балки та поле розподілу напружень у п'ятому варіанті модернізації

З отриманих результатів розрахунку напружено-деформованого стану для даного варіанту модернізації виявлено, що найбільші рівні напружень не перевищують 100 МПа. Цей варіант модернізації в межах можливого є найкращим з розглянутих та був рекомендовано до впровадження шляхом розробки технічних умов з дотриманням технологічно та нормативно обґрунтованих заходів з посилення надресорних балок головних вагонів дизель-поїздів ДР1А [7].

На рис. 31 наведено конфігурації та геометричні розміри підсилюючих елементів для п'ятого варіанту модернізації.

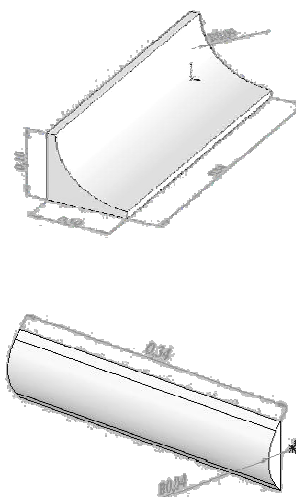


Рис. 31. Конфігурації та геометричні розміри підсилюючих елементів для п'ятого варіанту модернізації (рис. 28)

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Розробка рекомендацій по підвищенню терміну експлуатації дизель-поїздів Д1, ДР1 на підставі проведення експериментально-аналітичних робіт № ДР 0199U000049 [Текст]. – Д., 1999. – 157 с.
2. Паспортные характеристики и результаты испытаний дизель-поезда ДР1 [Текст] / под. ред. С. Д. Федичкина. – М.: Транспорт, 1975. – 72 с.
3. Нормы расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части моторвагонного подвижного состава железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм [Текст]. – М: ВНИИЖТ РФ, 1997.
4. ГОСТ СССР 22.101-83 Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов [Текст]. – М.: Госстандарт, 1983. – 224с.
5. Дизель-поезда [Текст]: устройство, ремонт, эксплуатация / Б. М. Лернер [и др.]. – М.: Транспорт, 1982. – 279 с.
6. Раков, В. А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1976-1985 гг) [Текст] / В. А. Раков. – М.: Транспорт, 1990. – 238 с.
7. Наказ 30–ЦЗ від 31.01.2005 р. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2005 р. – 23 с.

Надійшла до редколегії 12.01.2011.

Прийнята до друку 18.01.2011.

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БАГАТОШАРОВИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті розглянуто питання, пов'язані з відновленням зношених деталей рухомого складу шаруватими покриттями. При побудові математичної моделі зношення багатошарового матеріалу як об'єкту реології зроблено певні припущення, що дає можливість використовувати методи механіки і механіки суцільних середовищ.

Ключові слова: зношені деталі, шарувате покриття, математична модель, зношення, багатошаровий матеріал

В статье рассмотрены вопросы, связанные с восстановлением изношенных деталей подвижного состава слоистыми покрытиями. При построении математической модели износа многослойного материала как объекта реологии сделаны определенные допущения, которые дают возможность использовать методы механики и механики сплошных сред.

Ключевые слова: изношенные детали, слоистое покрытие, математическая модель, износ, многослойный материал

The issues related to renewal of worn-out parts of a rolling stock with the layered coatings are considered in the article. In developing a mathematical model of wearing a multilayer material as an object of rheology certain assumptions, which enable using the methods of mechanics and mechanics of continuous medium, are done.

Keywords: worn-out parts, layered coating, mathematical model, wear, multilayer material

При відновленні деталей електролітичним способом, наплавленням або напиленням на основний матеріал, змінюючи параметри процесу можна отримати шари з різними механічними властивостями. Властивості кожного шару, товщини, а також їх комбінації істотно визначають характеристики покриття, а також роботу деталі після відновлення.

Основною задачею нанесених відновлюючих шарів є підвищення ресурсу та надійності експлуатації відновлених деталей.

Метою даної роботи є побудова математичної моделі багатошарового матеріалу, як об'єкту реології [1].

Перш за все відзначимо, що будь-яке фізичне тіло не можна розглядати як континуальний (безперервний) об'єкт, але якщо максимальний диспергований елемент має розміри значно менше розміру елемента, деформації якого розглядаються, то в даному випадку можна вважати, що тіло (шар) є квазіоднорідним. Якщо найменший об'єм містить анізотропні дисперговані елементи всіляких орієнтацій, то такий матеріал можна вважати квазіізотропним. Надалі вважаємо, що зроблені припущення виконуються для кожного шару і тим самим можуть бути використані методи механіки [2] і механіки суцільних середовищ [3].

Оскільки після відновлення деталей взаємодіятиме з іншими деталями, то питання зносу істотно визначаються не тільки властивостями покриття, але характером контакту її з іншими тілами, тому до зроблених допущень додамо

можливість застосування механіки контактної взаємодії [4].

Розглядаючи елементи покриття як елементи об'єму, ми маємо право при зроблених допущеннях використовувати шість рівнянь динаміки у формі

$$\sum P_i = 0; \quad \sum M_i = 0, \quad (1)$$

які записані у вигляді рівнянь рівноваги з урахуванням принципу Д'Аламбера.

Сили, що діють на елементарний об'єм, для якого виписані рівняння (1), можуть бути об'ємними, пропорційними масі елемента або поверхневими. Поверхневі сили можуть бути зовнішніми або внутрішніми. Віднісши їх до одиниці площі, приходимо до поняття напруження. Сукупність напруження на площинках, орієнтованих різним чином по відношенню до координатних осей визначають напружений стан елемента і є тензором другого рангу S_{lm} , відносно якого виконується постулат Больцмана, що приводить до співвідношення

$$S_{lm} = S_{ml}. \quad (2)$$

Індекси в тензорі напруження S_{lm} приймають значення від 1 до 3.

Положення елемента в просторі описуватимемо радіус-вектором r (з компонентами $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$). Після деформації даний елемент описуватиметься радіус-вектором r' , а зсув його буде рівний $r' - r$. Цей зсув зазвичай позначають як вектор, компоненти якого рівні

$$u_i = x'_i - x_i, \quad i = \overline{1,3} \quad (3)$$

і даний вектор називають вектором деформації [3].

З даним вектором зв'язують тензор u_{ik} таким чином

$$u_{ik} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} + \frac{\partial u_l}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial u_l}{\partial x_k} \right). \quad (4)$$

У виразі (4) за однаковими індексами, що двічі зустрічаються, виконується підсумовування від 1 до 3.

До рівнянь механіки (1) необхідно приєднати співвідношення між тензором деформацій u_{ik} і тензором напружень S_{lm} , яке записуватимемо у вигляді

$$R(u_{ik}, S_{lm}, \dot{u}_{ik}, \dot{S}_{lm}) = 0, \quad (5)$$

де $\dot{u}_{ik}, \dot{S}_{lm}$ – відповідні похідні в часі.

Рівняння типу (5) називають реологічними рівняннями [1] і вони спільно з (1) дозволяють зробити задачу про деформацію тіла цілком визначеною.

Якщо розглядати задачу, як задачу контактної взаємодії, то вказані співвідношення повинні бути доповнені співвідношеннями, що описують контактну взаємодію (ковзання, кочення або вертіння).

Для розкриття залежностей (5) в реології [1] вводять три фундаментальні реологічні властивості: пружність, в'язкість і пластичність (внутрішнє тертя). Решта всіх складних властивостей є комбінаціями вказаних фундаментальних властивостей.

Прийнято пружне тіло називати тілом Гука, а реологічне рівняння (5) для нього має вигляд

$$S_{lm} = \lambda u_{\alpha\alpha} \delta_{lm} + 2\mu u_{lm}, \quad (6)$$

де $\lambda = \chi - \frac{2}{3}\mu$ є константою Ляме;

μ – модуль пружності другого роду;

χ – об'ємний модуль пружності.

Із співвідношення (6) можна отримати

$$u_{lm} = -\frac{\lambda}{2\mu(3\lambda + 2\mu)} \cdot S_{\alpha\alpha} \delta_{lm} + \frac{1}{2\mu} S_{lm}. \quad (7)$$

У співвідношеннях (6) і (7) δ_{lm} є символом Кронекера.

У технічній літературі, як правило, використовують модуль Юнга

$$E = \frac{9\chi\mu}{3\chi + \mu}$$

і коефіцієнт Пуассона

$$\nu = \frac{3\chi - 2\mu}{6\chi + 2\mu}.$$

Відмітимо, що будь-який тензор другого рангу можна розкласти на два доданки, так, наприклад

$$u_{ik} = \frac{1}{3} u_{ll} \delta_{ik} + u_{ik(0)},$$

де $u_{ll} = u_{11} + u_{22} + u_{33} = I_{21} = u_v$ – є деформацією об'єму, а тензор $u_{ik(0)}$ називають девіатором з нулями по головній діагоналі і він відбиває зміну форми при постійному об'ємі. Подібне представлення має місце і для тензора напружень

$$S_{lm} = \frac{1}{3} S_{\alpha\alpha} \delta_{lm} + S_{lm(0)}.$$

$$\text{Величина} \quad \frac{1}{3} S_{\alpha\alpha} = -p,$$

де p – гідростатичний або статичний в термодинамічному сенсі тиск.

Для характеристики в'язкості вводяться тіло (або рідина) Ньютона, реологічне рівняння (5), для якого має вигляд:

$$S_{lm} = -p \delta_{lm} + 2\eta \dot{u}_{lm(0)}, \quad (8)$$

де η – коефіцієнт (зсувної) в'язкості, він має розмірність напруження, помноженої на якийсь час і вимірюється в пузах (1 пз = 1 діна·см²·с).

Наступну фундаментальну властивість прийнято розглядати як тіло Сен-Венана, коли напруження $S_{lm(0)}$ менше деякої межі $v_{lm(0)}$, то воно є абсолютно твердим, а якщо

$$S_{lm(0)} = v_{lm(0)}, \quad (9)$$

то матеріал пластично тече.

Перераховані тіла зручно представляти за допомогою наступних механічних моделей:

- тіло Гука (H) – спіральна пружина;

- тіло Ньютона (N) – рідинний елемент у вигляді циліндра, наповненого в'язким маслом, в який з деяким зазором вставлений поршень (демпфер);

- тіло Сен-Венана (Stv) – елемент сухого тертя у вигляді вантажу, що покоїться на горизонтальній площині.

Всі ці елементи можуть бути сполучені між собою паралельно ($|$) або послідовно ($-$). При паралельному з'єднанні повне навантаження на тіло складається з навантажень, що передаються окремим елементам, і швидкість подовження

елементів однакові. При послідовному з'єднанні повна швидкість подовження дорівнює сумі швидкостей складових елементів, причому кожний з них передає повне навантаження.

Механічна модель, відтворююча поведінку тіла, описаного Кельвіном у роботі [5], представлена на рис. 1.

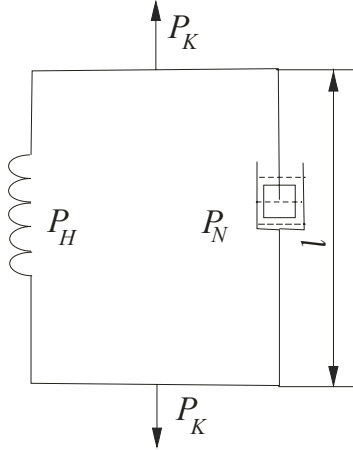


Рис. 1. Модель тіла Кельвіна

Реологічна формула тіла Кельвіна:

$$K = H|N,$$

оскільки тіло Гука (H) і тіло Ньютона (N) сполучені паралельно, то для сил маємо:

$$P_K = P_H + P_N,$$

або в термінах девіаторов отримуємо:

$$S_{lm(0)} = 2\mu u_{lm(0)} + 2\eta \dot{u}_{lm(0)},$$

де η – в'язкість твердого тіла.

Якщо навантаження задане, то з цього рівняння отримуємо

$$u_{lm(0)}(t) = e^{-\frac{\mu}{\eta}t} \left(u_{lm(0)}(0) + \frac{1}{2\eta} \int_0^t S_{lm(0)}(\tau) \cdot e^{\frac{\mu}{\eta}\tau} d\tau \right),$$

де $u_{lm(0)}(0)$ – початкова деформація.

Для спрощення викладу позначимо через $\sigma = S_{lm(0)}$; $\varepsilon = u_{lm(0)}$ і розглянемо поведінку деформації ε при постійному навантаженні σ , яке описуватиметься залежністю

$$\varepsilon = \left(\varepsilon_0 - \frac{\sigma}{2\mu} \right) e^{-\frac{\mu}{\eta}t} + \frac{\sigma}{2\mu},$$

де $\varepsilon_0 = u_{lm(0)}(0)$.

З представленої залежності виходить, що характер зміни деформації визначається значенням

$\varepsilon_0 - \frac{\sigma}{2\mu}$. На рис. 2 представлено залежності $\varepsilon(t)$ при різних співвідношеннях даної різниці.

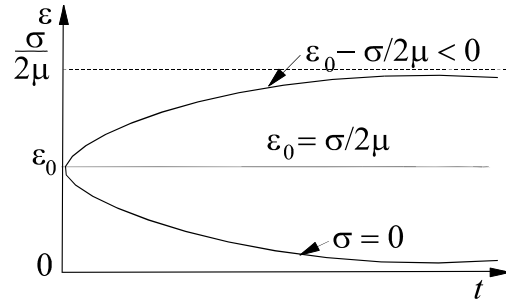


Рис. 2. Залежність деформацій тіла Кельвіна при постійному навантаженні

У роботі [1] передбачається у якості основної аксіоми реології вважати, що будь-який реальний матеріал володіє всіма фундаментальними реологічними властивостями, але вираженими різною мірою.

Так, наприклад, при електролітичному відновленні або газотермічному напиленні, шар який безпосередньо осідає на основний матеріал (адгезійний), повинен досить добре з'єднатися з основним матеріалом і володіти певним опором по відношенню до сколювання та відшаровування.

Даний шар можна моделювати тілом Бінгама, реологічна формула якого має вигляд:

$$B = H - (N|Stv).$$

Механічна схема тіла Бінгама (B) представлена на рис. 3. Наявність в даній моделі тіла Сен-Венана (Stv) дозволяє відобразити здатність даного шару опиратися сколюванню або міцність зчеплення (адгезія) з основним матеріалом деталі.

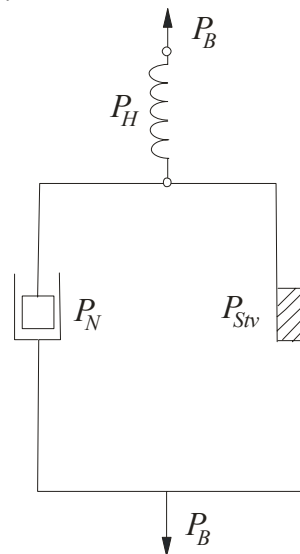


Рис. 3. Схема моделі тіла Бінгама

В термінах напружень і деформацій для тіла Бінгама маємо:

$$\sigma = \begin{cases} 2\mu u, & \text{якщо } |\sigma| < |\vartheta|; \\ 2\eta u + \vartheta, & \text{якщо } |\sigma| \geq |\vartheta|, \end{cases}$$

де ϑ – характеристика зчеплення (адгезії).

У граничному випадку, коли $\mu = 0$; $\eta = 0$ або при достатньо малих їх значеннях основною властивістю даного шару буде властивість зчеплення з матеріалом деталі. Надалі даний шар називатимемо першим шаром покриття.

Другий шар буде проміжним між першим і третім шаром, який контактує з іншими деталями.

Перейдемо до розгляду контактної взаємодії відновленої деталі, що має поверхневі шари з іншими деталями (тілами).

У загальному випадку, контактна взаємодія визначається способом кріплення покриття з деталлю. Розрізняють наступні варіанти:

- покриття (шар, шари) постійно знаходяться у контакті з деталлю в усіх точках, але вільно прослизують відносно його;
- шар повністю зчеплений з основою деталі;
- може мати місце прослизання, коли дотичне напруження на поверхні розділу перевершує граничне напруження зчеплення (тертя);
- шар, що знаходиться спочатку в повному контакті з тілом деталі може частково відставати від нього під дією навантаження.

Надалі розглядатимемо ситуацію, коли покриття умовно складається як мінімум з трьох шарів, причому перший шар (зчеплений з тілом деталі) відносно деталі може переміщатися, прослизати тільки тоді, коли дотичне напруження на поверхні розділу перевершує граничне напруження, тобто міцність зчеплення.

Що стосується третього шару (верхнього покритті), то він може переміщатися відносно першого в певних межах. Іншими словами, проміжний шар (другий) може «текти» і повинен гасити дотичну напругу від третього шару, що контактує з іншим тілом (рис. 4).

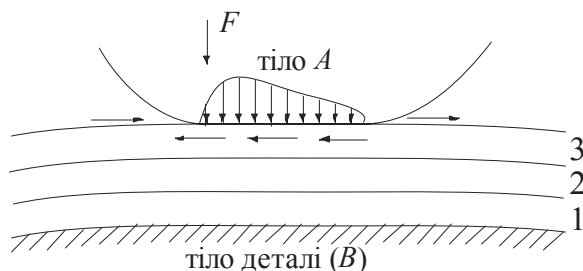


Рис. 4. Схема контакту відновленої деталі

Розрізнятимемо контактну взаємодію у вигляді ковзання і у вигляді кочення. При ковзанні поверхня тіла A має відносну окружну швидкість в точці контакту, а при коченні тіло A і покриття володіють відносними кутовими швидкостями навколо осей, паралельних площині торкання. Очевидно, що в реальних умовах кочення і ковзання можуть мати місце одночасно. Ми обмежимося розглядом ковзання при наступних допущеннях:

- форми тіла A і деталі є неузгодженими;
- вважаємо, що тіла знаходяться в умовах сталого відносного ковзання;
- деформації тіл малі.

З останнього допущення для тензора деформацій маємо вираз (замість (4))

$$u_{ik} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right).$$

Поблизу точки дотику рівняння поверхні тіла A запишемо у вигляді

$$z = \chi_{\alpha\beta} x_\alpha x_\beta,$$

причому по α, β проводиться підсумовування від 1 до 2.

Вісь z направлено всередину тіла, а площина x_1, x_2 перпендикулярна осі z . Тензор $\chi_{\alpha\beta}$ – двовимірний симетричний тензор, що характеризує кривизну поверхні тіла A . Головні значення тензора $\chi_{\alpha\beta}$ дорівнюють $\frac{1}{2R_1}$ та $\frac{1}{2R_2}$, де

R_1 і R_2 – головні радіуси кривизни поверхні в точці дотику. Так само для поверхні покриття маємо

$$z' = \chi'_{\alpha\beta} x_\alpha x_\beta,$$

де вісь z' направлена протилежно осі z .

Під дією прикладених сил поблизу точки первинного зіткнення на поверхні тіл виникає втискування, і тіла стикатимуться по деякій кінцевій ділянці, що є областю контакту.

Нехай u і u' – вектори зсуву точок поверхні обох тіл, а u_z і u'_z – їх проєкції на осі z і z' відповідно. Якщо h є зближенням тіл, то тоді в точках контакту має місце

$$(z + u_z) + (z' + u'_z) = h,$$

або

$$(\chi_{\alpha\beta} + \chi'_{\alpha\beta}) x_\alpha x_\beta + u_z + u'_z = h. \quad (10)$$

У точках поза областю контакту виконуватиметься нерівність

$$(z + u_z) + (z' + u'_z) > h.$$

Вибираємо осі x_1 і x_2 так, щоб тензор $\chi_{\alpha\beta} + \chi'_{\alpha\beta}$ був приведений до головних осей. Головні значення даного тензора позначимо через A і B , які через радіуси кривизни R_1 , R_2 і R'_1 , R'_2 виражаються таким чином [3]:

$$2(A + B) = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R'_2};$$

$$4(A - B)^2 = \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{1}{R'_1} - \frac{1}{R'_2}\right)^2 + 2\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \cdot \left(\frac{1}{R'_1} - \frac{1}{R'_2}\right) \cos 2\varphi,$$

де φ – кут між тими нормальними перетинами поверхонь, в яких радіуси кривизни рівні R_1 і R'_1 .

Співвідношення (10) через A і B можна записати у вигляді:

$$Ax^2 + By^2 + u_z + u'_z = h. \quad (11)$$

У разі, коли поверхні тіл навколо контакту можна розглядати як плоскі і навантаження тільки стискаюче, тоді u_z і u'_z обчислюють за формулами [5]:

$$u_z = \frac{1 - \nu^2}{\pi E} \iint_G \frac{P_z(x', y')}{\sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2}} dx' dy';$$

$$u'_z = \frac{1 - \nu'^2}{\pi E'} \iint_G \frac{P_z(x', y')}{\sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2}} dx' dy',$$

де ν, ν' і E, E' – коефіцієнти Пуассона і модулі Юнга контактуючих тіл;

$P_z(x', y')$ – питоме навантаження в області контакту G .

Підставивши u_z і u'_z в (11), приходимо до інтегрального рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{\tilde{D}}{\pi} \cdot \iint_G \frac{P_z(x', y')}{\sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2}} dx' dy' = \\ = h - Ax^2 - By^2, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{де } \tilde{D} = \left(\frac{1 - \nu'^2}{E'} + \frac{1 - \nu^2}{E} \right).$$

У інтегральному рівнянні (12) невідомими є $P_z(x', y')$, область контакту G і h .

Герц висунув гіпотезу, що область G має еліптичну форму. Тоді, якщо розміри області контакту малі порівняно з розмірами контактуючих тіл і радіусами кривизни їх поверхонь, то

$$P_z(x, y) = \text{const} \cdot \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}} \quad (13)$$

і вибираємо константу так, щоб

$$\iint_G P_z(x, y) dx dy = F,$$

де F – повна стискаюча сила; a, b – напівосі еліпса G , отримуємо:

$$P_z(x, y) = \frac{3F}{2\pi ab} \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}};$$

$$P_z(x', y') = \frac{3F}{2\pi ab} \sqrt{1 - \frac{x'^2}{a^2} - \frac{y'^2}{b^2}},$$

а підставивши P_z в (12), отримаємо тотожність і, порівнюючи коефіцієнти при невідомих x та y справа і зліва, отримаємо:

$$h = \frac{FD}{\pi} \int_0^\infty \frac{d\xi}{\sqrt{(a^2 + \xi) \cdot (b^2 + \xi)} \xi}; \quad (14)$$

$$A = \frac{FD}{\pi} \int_0^\infty \frac{d\xi}{(a^2 + \xi) \sqrt{(a^2 + \xi) \cdot (b^2 + \xi)} \xi}; \quad (15)$$

$$B = \frac{FD}{\pi} \int_0^\infty \frac{d\xi}{(b^2 + \xi) \sqrt{(a^2 + \xi) \cdot (b^2 + \xi)} \xi}, \quad (16)$$

$$\text{де } D = \frac{3}{4} \tilde{D}.$$

Рівняння (15) і (16) визначають напівосі еліпса a та b , підставивши які в (14), знайдемо зближення тіл h .

Оскільки матеріали контактуючих тіл мають різні константи ν і E , то контактний тиск P_z викликає тангенціальні переміщення на поверхні контакту, і у кожній поверхні вони будуть свої, що приводить до прослизання. Дане прослизання до деякої міри може стримуватися тертям. Тому в центральній частині контакту ма-

тиме місце повне зчеплення, а прослизання можливе тільки в зоні, що примикає до межі області контакту.

У разі, коли коефіцієнт граничного тертя достатньо великий, то прослизання може повністю виключитися.

Більш детально дане питання викладене в роботі [4].

Якщо F – нормальна сила, що здавлює тіла (рис. 4), то за відсутності сил тертя область контакту визначається теорією Герца. Проте при ковзаючому контакті реальних тіл виникають дотичні зусилля тертя Q , що діють по поверхні кожного тіла в напрямі, протилежному руху.

Очевидно, що дотичні зусилля, які діють на поверхні кожного тіла в області контакту, є однакові за величиною і протилежні за напрямом, тоді, якщо $q_A(x, y)$ – дотичне зусилля на поверхні тіла A , а $q_C(x, y)$ – для шару, то

$$q_A(x, y) = -q_C(x, y)$$

і, враховуючи представлення для u_z і u'_z , отримаємо:

$$\frac{E}{1-2\nu} u_z(x, y) = -\frac{E'}{1-2\nu'} u'_z(x, y). \quad (18)$$

Звідси витікає, що дотичні зусилля знаходяться у взаємній залежності з нормальним тиском. Якщо коефіцієнт тертя значно менше одиниці, то, як показано в роботі [4], вплив дотичних напружень на розподіл нормальних і на область контакту є малим і можна вважати, що дотичні і нормальні напруження незалежні.

Отже, напружено-деформований стан може бути визначений їх суперпозицією.

З іншого боку, з (17) витікає, що, якщо тіло і третій шар мають однакові пружні постійні, то дотичні напруження через площину контакту викликають рівні за величиною u_z та u'_z і протилежні за напрямом переміщення в будь-якій точці контакту. Таким чином, викривлення поверхні одного тіла супроводжується узгодженим викривленням поверхні іншого тіла і перерозподіл нормального тиску не відбувається. Тому форма і розміри області контакту визначаються тільки профілями контактуючих тіл і діючими нормальними навантаженнями і не залежать від дотичних зусиль.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Рейнер, М. Реология [Текст] / М. Рейнер. – М.: Наука, 1965. – 223 с.
2. Маркеев, А. П. Теоретическая механика [Текст] / А. П. Маркеев. – М.: Наука, 1990. – 416 с.
3. Ландау, Л. Д. Теория упругости. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М.: Наука, 1965. – 203 с.
4. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия [Текст] / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
5. Lord Kelvin (Thomson, W.) Elasticity [Text] / Lord Kelvin (W. Thomson) // Encyclopedia Britannica. – 9th ed. – 1875.

Надійшла до редколегії 08.11.2010.

Прийнята до друку 10.11.2010.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОСУВАННЯ ВАГОННИХ ПАРКІВ ВЛАСНОСТІ ІНОЗЕМНИХ ДЕРЖАВ НА МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

У статті розглянуто основні проблеми організації транзитних міжнародних перевезень. Виконано статистичний аналіз затримок вагонів на прикордонних станціях. Зроблено висновки про необхідність розробки математичної моделі просування транзитних вагонопотоків по мережі залізниць України з використанням методу імітаційного моделювання.

Ключові слова: математична модель, транзитні вагонопотоки, метод імітаційного моделювання

В статье рассмотрены основные проблемы организации транзитных международных перевозок. Выполнен статистический анализ задержек вагонов на пограничных станциях. Сделаны выводы о необходимости разработки математической модели продвижения транзитных вагонопотоков по сети железных дорог Украины с использованием метода имитационного моделирования.

Ключевые слова: математическая модель, транзитные вагонопотоки, метод имитационного моделирования

The article describes the basic problems of organization of international transit transportations. A statistical analysis of wagon delays at border stations has been done. Also some conclusions on the necessity of developing a mathematical model of pushing on the transit streams of wagons on the railway system in Ukraine have been done using the method of simulative modeling.

Keywords: mathematical model, transit streams of wagons, method of simulative modeling

Україна, завдяки своєму вигідному географічному положенню та зростаючому товарообігу між Європою і Азією, відіграє стратегічну роль у транзитних зв'язках між країнами СНД, Балтії та третіми країнами світу. Україна – транзитна держава (рис. 1). Незважаючи на складну економічну ситуацію, вона безумовно володіє вагомим внутрішнім потенціалом і здатна зайняти конкурентоспроможну позицію на міжнародних ринках. Провідну роль у цьому слід надати питанням як розширення мережі транзитних шляхів транспортування сировини та готової продукції, так і підвищення рівня їх ефективності в експлуатації. Тому ефективне функціонування шляхів сполучень є основною умовою для інтеграції України у світове господарство. У розвитку транзитного потенціалу одним із основних показників слід вважати зменшення тривалості перебування вагонів на мережі залізниць України і за рахунок цього збільшення прибутків від перевезень.

Питання підвищення розвитку транзитного потенціалу та організації міжнародних перевезень є доволі актуальним на сьогоднішній день і тому над його вирішенням працювали ряд провідних науковців як у нашій державі, так і за кордоном [3 – 7]. Дослідження цих вчених в основному були спрямовані на вирішення наступних проблем:

- недосконалість взаємодії процесів перевезень по широкій і західноєвропейській колії;
- відсутність інформації для формування вагонопотоків на прикордонній станції;
- невідповідність технічного оснащення прикордонних станцій обсягам перевезень;
- відсутність методики по нормуванню часу знаходження вагонів на станції і місця його перебування в будь-який період часу;
- низький рівень технології обробки експортно-імпортних вантажів тощо.

Крім того, ряд вчених акцентували свою увагу на використанні контейнерних міжнародних поїздів, розвитку інтермодальних перевезень, хоча у більшості випадків ці дослідження були зосереджені лише на удосконаленні роботи пунктів переходів та майже не торкалися проблеми оптимізації руху вантажних поїздів у міжнародному транзитному сполученні. Основна причина була у недостатньому обсязі попередньої інформації для формування міжнародних вагонопотоків.

Для вирішення задачі скорочення тривалості перебування вагонів на перевантажувальних станціях була створена економіко-математична модель організації перевантажувального процесу, що враховувала пріоритет подачі вагонів на перевантажувальні фронти, трудомісткість переробки вантажів, статичне навантаження ваго-

нів тощо [5]. Нові дослідження у сфері міжнародних перевезень розпочались після введення в дію і затверджених у 1994 році системи міжнародних транспортних коридорів, хоча слід відзначити, що в більшості досліджень не надавалась достатня увага пошуку шляхів зменшення простою вагонів, питанням митно-тарифного регулювання з точки зору привабливості міжнародних транзитних перевезень.

Як і раніше, актуальними залишаються питання скорочення термінів перевезень вантажів, скорочення часу обігів вагонів [2]. На сьогодні кардинально постала задача удосконалення процедур проходження різного роду операцій на прикордонних та інших технічних станцій, а також підвищення рівня транзитності транспортних шляхів України.

Науковці ДНУЗТу також займаються дослідженням проблем просування вагонних парків власності іноземних держав, аналізом функціонування транспортної системи, застосуванням нових інформаційних технологій у вантажній і експлуатаційній роботі, розвитком теорії та практики технології вантажних міжнародних перевезень [1, 8 – 11].

Ними було досліджено проблему підвищення економічної ефективності використання вантажного вагонного парку з урахуванням особ-

ливостей обліку та використання вагонів, зокрема вагонів власності країн СНД і Балтії. Запропоновано метод оптимального планування перевезень з використанням іновагонів і вагонів інвентарного парку українських залізниць, що передбачає врахування технологічних і економічних особливостей експлуатації вагонних парків [10].

Разом з тим, незважаючи на наявність широкого кола досліджень, для зменшення терміну перебування вагонів, що слідують на мережі залізниць України у треті країни, задачі у повній мірі ще не вирішені. В основному у наукових роботах елементи транспортного процесу розглядаються окремо (прикордонні, вантажні, технічні станції тощо), а не комплексно. Таким чином необхідно провести комплексне дослідження процесу просування вагонних парків власності іноземних держав на мережі залізниць України для виявлення і усунення основних причин затримок іновагонів.

Львівська залізниця, що знаходиться на території семи західних областей України, межує з шістьма країнами Європи, має 15 прикордонних переходів, через які здійснюється передача навантажених та порожніх вагонів по коліях 1520 та 1435 мм:

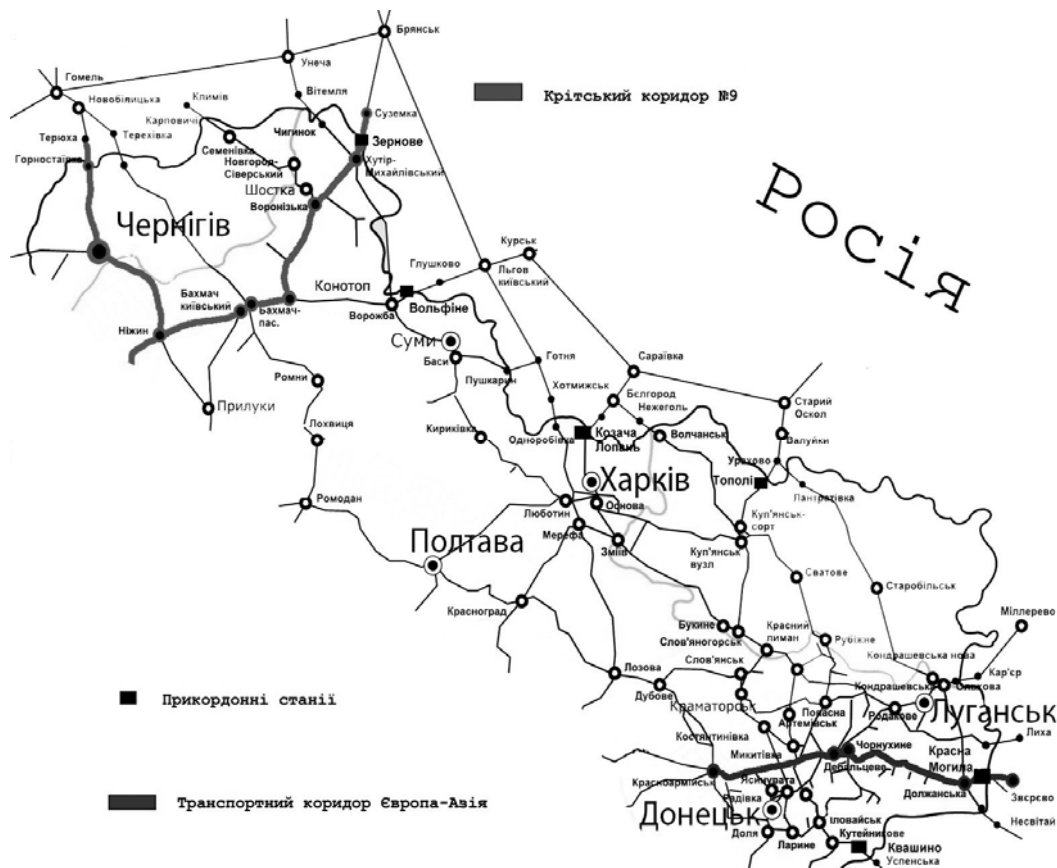


Рис. 1. Схема входу транзитних іновагонів на мережу залізниць України

- Білорусією – 2 переходи: Горинь, Заболоття;
- Польщею – 4 переходи: Мостиська, Рава-Руська, Ізов, Ягодин;
- Румунією – 2 переходи: Вадул-Сірет, Дяково;
- Словаччиною – 2 переходи: Чоп, Ужгород;
- Угорщиною – 2 переходи: Чоп, Батєво;
- Молдавією – 3 переходи: Ларга, Мамалига, Окниця.

Вона є основною транзитною залізницею при передачі вагонів у треті країни. Через Львівську залізницю проходить значна кількість транспортних коридорів (рис. 2).

Майже 95 % транзитних вагонопотоків входять в Україну через залізничні переходи. В основному це експортні вантажі із Росії, Білорусії, Казахстану, які направляються у Словаччину, Угорщину, Австрію, Чехію, Румунію.

Але існує ряд перешкод ефективному транзитному переміщенню поїздів. У першу чергу, це стосується невідповідності показників транзитних перевезень в Україні міжнародним вимогам відносно швидкості, неперервності, цілісності вантажів, тарифів і цін на послуги, які не забезпечують не лише їх зростання, а й стабілізацію при існуючих об'ємах.

Широка мережа пунктів транзитних переходів та обсяг транспортованих вантажів вимагає чіткої організації роботи транспортних служб. Аналіз статистичних даних показав, що у 2007 році на прикордонних переходах Львівської залізниці затримано близько 12480 вагонів і основною причиною затримок (більше 80 %) є надходження вантажу понад узгоджену добову норму (рис. 3, 4). Слід зауважити, що 78 % від загальної кількості затримок відбулося на станціях Чоп і Батєво.



Рис. 2. Схема транзитних коридорів Львівської залізниці

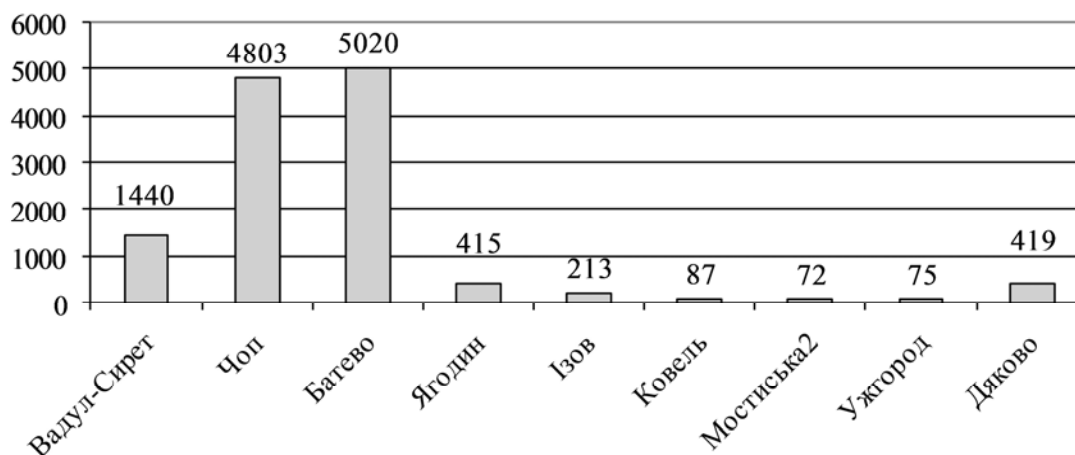


Рис. 3. Розподіл вагонів затриманих на прикордонних станціях у 2007 році

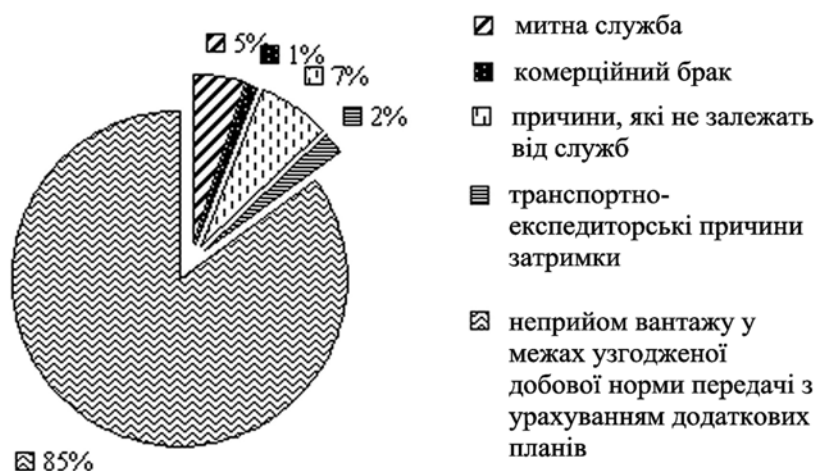


Рис. 4. Причини затримок вагонів на прикордонних станціях

Прикордонними протоколами, що укладені між інозалізницями та Укрзалізницею (УЗ), обумовлено добову норму приймання вантажів (по роду), як інозалізницею, так і Львівською залізницею. У зв'язку з тим, що вантажі, особливо масові, такі як руда, окатиші, лісові, нафта і нафтопродукти, відвантажені як підприємствами України, так і інших держав СНД, прибувають на прикордонні станції нерівномірно, то створюється надлишок вантажів проти добової норми їх приймання інозалізницями. Для оформлення затримок цих вантажів на прикордонній станції витрачають на оформлення затримки однієї партії вагонів від 1,5 до 2 годин часу. З метою зменшення витрат робочого часу на оформлення претензійних матеріалів, а також недопущення повторних відрахувань до бюджету коштів з раніше зароблених грошей, необхідно вилучити пред'явлення претензій за затримку вантажів.

Важливою проблемою при організації транзитних перевезень є різнобічність у цілях органів митниці й УЗ. Чим більша оплата через митницю з вантажу, тим більше доходів отримує митниця. УЗ на відміну від митних органів у своїй діяльності керується тарифами за перевезення, які є обов'язковими і затвердженими протоколами на міжнародному рівні. А оскільки вантажовідправник платить за увесь логістичний ланцюг слідування вантажу, йому все рівно – чи платити митниці, чи УЗ. Тому одним із шляхів вирішення даної проблеми можуть бути фіксація ставок на тарифи відповідно до документів, що регламентують роботу митниці, співпраця митних і транспортних органів.

У той же час, розрізняють різні умови переходу вагонів по прийому зі східної сторони України і здачі вагонів на західній, пов'язані з використанням різних правових документів, що сповільнюють просування вагонів на кордоні. Необхідно вжити заходів, спрямованих на

зближення транспортних прав і на вдосконалення системи передавання вагонів.

Аналіз документації про виконання навантаження експортних вантажів показав, що у 90 % випадків мала місце невідповідність фактичного і запланованого навантаження вантажів призначенням у треті країни (рис. 5). Причиною цього можуть бути завищення планів вантажовідправників або не забезпечення навантаження вагонами залізниць відправлення. У деяких випадках спостерігається піки на вантаження, які більш, ніж у 2 рази перевищують планові значення. Це в свою чергу призводить до неможливості прогнозування перевезень вантажів.

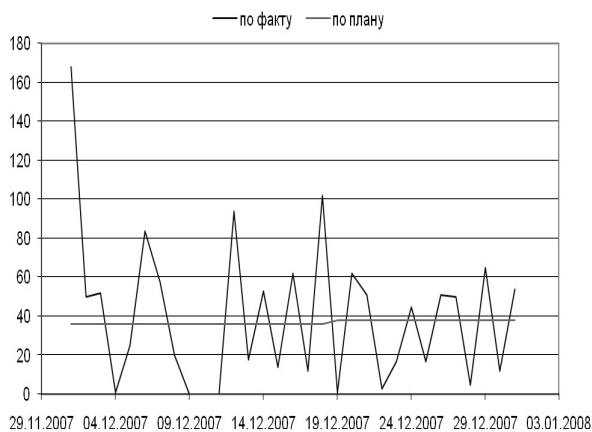


Рис. 5. Виконання фактичних і запланованих перевезень руди по ст. Чоп

Спостерігається значна неузгодженість виконання навантаження, що негативно впливає на процес планування перевезень. Усе це призводить до гальмування збільшення обсягу транзитних перевезень в Україні.

Як показали результати виконаних досліджень, існує ряд причин, що стримують зростання ефективності просування вагонів власності іноземних держав на мережі залізниць України:

- ускладнення технології виконання прикордонно-митних процедур, що призводить до зростання тривалості обробки вантажів;
- відсутність взаємодії та чіткого розподілу обов'язків між всіма контрольними службами, які мають здійснювати попередній контроль вантажів;
- невчасне завантаження вагонів відправниками;
- затримки, пов'язані з простоєм вагонів у зимовий період року в очікуванні розмерзання вантажів на прикордонних переходах;

- недостатня швидкість просування транзитних вантажів транспортними коридорами, яка не відповідає встановленим стандартам.

Через складність взаємозв'язків усіх підрозділів залізничного транспорту між собою, практично неможливість оцінити простої в очікуванні здачі вагонів у треті країни. Тому необхідно розробити математичну модель просування транзитних вагонопотоків по мережі залізниць України. У зв'язку з необхідністю проведення складних експериментів для дослідження впливу характеристик вагонопотоків, умов їх пропуску і розрахунків за використання вагонів власності іноземних держав на простої вагонів може бути використаний метод імітаційного моделювання.

Комплексне вирішення вказаних проблем дозволить істотно скоротити простої вагонів та терміни доставки вантажів, збільшити фінансові надходження до бюджету України від транзитних перевезень і за рахунок цього підвищити конкурентоспроможність залізничного транспорту.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Козаченко, Д. Н. Исследование влияния различных факторов на простои вагонов в ожидании передачи в третьи страны [Текст] / Д. Н. Козаченко, С. И. Музыкина // Тези доповідей 69-ї міжн. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізн. транспорту» (ДПТ, Дніпропетровськ, 2009). – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 79.
2. Кірка, Г. М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему [Текст] : монографія / Г. М. Кірка. – 2-ге вид., переробл. і допов. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2004. – 248 с.
3. Ветухов, Е. А. Комплексные методы сокращения простоя вагонов [Текст] / Е. А. Ветухов, М. А. Аветикян. – М.: Транспорт, 1986. – 206 с.
4. Циркунов, Г. А. Исследование режима работы и технической оснащенности пограничных перегрузочных станций [Текст] / Г. А. Циркунов. – Гомель, 1969.
5. Мироненко, К. П. Исследование условий работы пограничных перегрузочных пунктов при переработке импортных грузов широкой номенклатуры [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / К. П. Мироненко. – Х., 1975.
6. Henke, M. Europäischer Schienengüterverkehr: Ein Markt der Zukunft [Text] / M. Henke. – Köln, 2006. – 272 z.
7. Directorate-General for Energy and Transport [Text] / Der Güterverkehr per Schiene muss wettbewerbsfähiger werden, 2008.
8. Савенко, А. С. Технология пропуска специализированных поездов в транспортном коридоре

- Ильичевск – Хутор-Михайловский [Текст] / А. С. Савенко, Г. И. Музыкаина // Залізн. трансп. України. – 2003. – № 2. – С. 28-30.
9. Шевченко, А. І. Резерви транзитності вагонопотоків [Текст] / А. І. Шевченко // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 2. – С. 40-42.
10. Андрущенко, В. О. Удосконалення процесів експлуатації вагонних парків з урахуванням особливостей їх обліку і використання [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / В. О. Андрущенко. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008.
11. Скалозуб, В. В. Модели и методы для решения обобщенной транспортной задачи с учетом интересов множества собственников грузовых вагонных парков [Текст] / В. В. Скалозуб, О. В. Солтысюк, В. В. Скалозуб // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2005. – Вип. 6. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2005. – С. 70-76.
12. Альошинський, Є. С. Сучасні концепції аналізу функціонування транспортного процесу міжнародних вантажних перевезень [Текст] / Є. С. Альошинський, М. І. Данько // Зб. наук. пр. – Х.: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 102. – С. 5-14.

Надійшла до редколегії 29.11.2010.

Прийнята до друку 02.12.2010.

В. В. МЯМЛИН (ДИИТ)

РОЛЬ ПОТОЧНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РОСТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА

Показано переваги потокової форми організації виробництва. Дано приклади становлення потоків у різних галузях промисловості. Представлено основні характеристики поточного виробництва. Відмічено важливу роль у розробці нових структур вагоноремонтних потоків, що сприяють підвищенню ефективності виробництва та росту продуктивності праці. Великі резерви в цьому напрямку вбачаються в розробці багато-предметних гнучких асинхронних систем з високим рівнем механізації та автоматизації технологічних процесів.

Ключові слова: ремонт вагонів, гнучкі потоки, продуктивність праці

Показаны преимущества поточной формы организации производства. Даны примеры становления потоков в различных отраслях промышленности. Представлены основные характеристики поточного производства. Отмечена важная роль в разработке новых структур вагоноремонтных потоков, способствующих повышению эффективности производства и росту производительности труда. Огромные резервы в этом направлении видятся в создании многопредметных гибких асинхронных систем с высоким уровнем механизации и автоматизации производства.

Ключевые слова: ремонт вагонов, гибкие потоки, производительность труда

The advantages of the line form of production organization are shown. The examples of forming the lines in different branches of industry are given. Main characteristics of line production are presented. An important role in the development of new structures of car repair lines promoting in production efficiency and labor productivity growth is emphasized. Huge reserves in this direction can be seen in creation of multi-subject flexible asynchronous systems with high level of production mechanization and automation.

Keywords: repair of cars, flexible flow lines, labor productivity

Наибольшее количество великих изобретений, созданных человечеством, относятся, как правило, к области техники. Испокон веков технические усовершенствования позволяли революционизировать производство, многократно повышая производительность труда. Но «изобретение», о котором в дальнейшем пойдет речь в данной статье, имеет совсем другую природу – оно не из области техники и является, по существу, тем, что сегодня принято называть научной организацией труда.

Оказалось, что эта область отношений, на которую долгое время не обращали должного внимания, таит в себе колоссальные возможности и может произвести в производстве революцию, равную по своему значению внедрению паровой машины или электрических моторов.

Поточные методы возникли в связи дифференциацией технологических операций при производстве изделий.

В своём втором правиле Декарт [1] писал, что необходимо «делить каждую из рассматриваемых мною трудностей на столько частей,

сколько потребуется, чтобы лучше их разрешить».

Сложная задача (технологический процесс) расчленяется на простые задачи, решения которых уже известны или легко находимые. Для повышения производительности труда каждая операция выполняется с применением специальных механизмов и оборудования.

Разделение всего технологического процесса на составляющие части позволяет значительно поднять производительность труда.

Пример, уже ставший хрестоматийным, приводил ещё Адам Смит при производстве булавок [2]. Рабочий, изготавливающий булавки самостоятельно (без специализации операций), может за день изготовить только одну булавку. Но, при специализации операций, когда «один рабочий тянет проволоку, другой выпрямляет её, третий обрезает, четвёртый заостряет конец, пятый обтачивает один конец для насаживания головки» значительно увеличивается производительность труда. Так, например, десять рабочих, специализированных на выполнении отдельных операций, могут за день изготовить 48000 булавок.

Впервые огромное значение правильной организации труда при массовом производстве автомобилей продемонстрировал на своих заводах выдающийся американский предприниматель и инженер Генри Форд [3 – 4].

Сила Форда заключалась в организации труда. Все процессы на его предприятиях, от отливки деталей до завинчивания ничтожной гайки, были рационализированы с таким совершенством, какого до него никто и никогда не достигал. Производственный поток двигался от источников сырья к готовой машине, нигде не поворачивая назад.

Первоначально на заводе в Хайленд-Парке сборка автомобилей производилась при помощи рабочих бригад, которые передвигались по цеху с ручными тележками и подвозили к каждому автомобилю соответствующие части для сборки. Сборочные бригады переходили от одного автомобиля к другому и таким путем собирали весь автомобиль от начала до конца.

В усовершенствованной системе Форд оставил рабочих неподвижными, а материалы стал провозить мимо них вручную. Вскоре была устроена короткая линия для окончательной сборки машин, где части перемещались мимо рабочих с помощью механической силы. Эта система по мере дальнейшего усовершенствования превратилась в конвейер. Впервые опыт со сборочным путем был произведен в апреле 1913 года на сборке магнето. До этого один рабочий в течение девяти часов рабочего дня мог собрать от 35 до 40 магнето, то есть затрачивал на каждое около 20 минут. После введения конвейера время, затрачиваемое на сборку одного магнето, сократилось до 13 минут. Несколько дней Форд простоял возле работающего конвейера, наблюдая за каждым движением рабочих. Он заметил, что сборщикам приходится нагибаться во время работы из-за того, что конвейер располагается слишком низко. Он остановил производство и велел поднять конвейер на 0,2 м. После этого время сборки одного магнето сократилось до 7 минут. Новые усовершенствования довели его до 5 минут. Не затрачивая средств на новые машины или материалы, одним только разложением процесса сборки на 45 простейших операций и передвижением материала мимо стоявших в достаточно удобной позе и неподвижных рабочих Форд добился поразительных результатов, увеличив производительность труда почти в 4 раза.

Вскоре конвейер был применен при сборке шасси. По старому способу сборка одного шасси требовала 12 часов 8 минут. Когда попробо-

вали разбить ее на несколько простых операций и устроили примитивный конвейер (с помощью каната и ворота шасси тянули мимо линии рабочих), сборка сократилась до 5 часов 50 минут. Форд продолжал совершенствовать конвейер. Приноравливаясь к среднему росту рабочих, он попробовал прокладывать сборные пути на разной высоте. Его инженеры трудились над раздроблением всех сложных процессов на составные части. Каждый рабочий должен был делать все меньше и меньше разнообразных движений руками. В результате всех этих усовершенствований время сборки одного шасси сократилось до 1 часа 33 минут. При этом процесс разделения труда был отлажен буквально до мелочей: если один рабочий вгонял болт, то гайку ставил другой, а третий завинчивал ее.

К негативной стороне такого процесса следует отнести то, что рабочий в фордовском производстве превратился в настоящий придаток машины. На конвейере во время работы он не мог сделать лишнего шага или движения. Инструменты его должны были располагаться так, чтобы ему не приходилось искать их или наклоняться за ними. Ритм сборки воздействовал сильнее самых суровых надсмотрщиков. Благодаря нему Форд добивался максимальных темпов, каких только можно было достичь без ущерба для качества работы.

Дальнейшим шагом на пути совершенствования поточных методов производства явились автоматизированные поточные линии. Но и это был ещё не предел. Простое совмещение станков-автоматов в единой поточной линии оказывалось часто экономически нецелесообразным. Это вызвано тем, что технологическая машина в процессе производства изделия совершает две основные и противоположные функции: технологическое движение (обработку заготовки) и транспортное движение (подачу заготовки в рабочую зону машины). Учитывая тот принцип, что поточная линия должна обладать качеством непрерывности технологического и транспортного движений академик Л. Н. Кошкин предложил решение, при котором обработка изделий производится в процессе их непрерывного транспортирования совместно с обрабатывающим инструментом. Таким образом, получили развитие роторные и роторно-конвейерные линии [5]. Впервые роторно-конвейерные линии были применены для литья термопластов и сборочных операций.

Как прогрессивная форма организации производственного процесса, поточный метод яв-

ляется важным фактором непрерывного роста и совершенствования производства на базе высшей техники в целях обеспечения максимального удовлетворения постоянно растущих материальных и культурных потребностей всего общества.

В поточном производстве в связи со значительным снижением трудоемкости продукции в результате механизации операций, использования высокопроизводительного оборудования, инструментов и приспособлений, а также специализации рабочих мест и их взаимной связанности возрастает производительность труда. Поточное производство создает предпосылки для сокращения брака и повышения качества продукции. Уже сама по себе прогрессивная технология, базирующаяся на широком применении специального оборудования и совершенных приспособлений, является значительным фактором сокращения брака и повышения качества продукции. Кроме того, большую роль играют устойчивые условия работы на каждом рабочем месте поточной линии. Поток дисциплинирует рабочих и повышает индивидуальную ответственность каждого из них за качество продукции. В силу сопряженности работы отдельных рабочих здесь чрезвычайно трудно скрыть брак.

В поточном производстве, в результате уменьшения длительности технологического цикла и доведения до минимума межоперационного времени, резко сокращается длительность производственного цикла.

Высокая экономическая эффективность поточного производства находит свое обобщающее выражение в относительно более низкой себестоимости продукции. Снижение трудоемкости изделий в поточном производстве обуславливает соответствующее уменьшение доли производственной зарплаты в себестоимости единицы продукции. Цеховые расходы хотя и возрастают по абсолютной своей величине в связи с повышением технического и организационного уровня производства, но по относительной величине на единицу продукции уменьшаются вследствие значительного увеличения общего выпуска продукции. Сокращаются также затраты на основные материалы в себестоимости единицы продукции, что является результатом уменьшения отходов материалов благодаря более совершенному технологическому процессу. Сокращение потерь от брака приводит также к снижению себестоимости единицы продукции. Таким образом, себестоимость продукции в поточном производстве

снижается по главнейшим ее составляющим.

Преимущества поточного метода производства обусловили интенсивное его внедрение в промышленность СССР. Широко были внедрены поточные методы в автомобильном, тракторном, сельскохозяйственном машиностроении, приборостроении, станкостроении, локомотиво- и вагоностроении, в обувной, швейной промышленности. На заводе «Калибр» было освоено производство микрометров поточным методом. Широко развито поточное производство инструмента на инструментальных заводах. Поточный метод производства в несколько отличном виде, чем в промышленности, применяется также в строительстве – на стройках жилых домов и промышленных зданий.

Требования к технологическим процессам, оборудованию и его комплексам обуславливаются целью создания машинной технологии. Эта работа должна основываться на решении ряда принципиальных вопросов: определении оптимального варианта технологического процесса и разделения линии на участки, вычислении количества потоков и подборе машин, выборе транспортных и перегружающих устройств, пространственном размещении оборудования линии и т.д. Все эти задачи должны быть решены так, чтобы при соблюдении всех требований к качеству продукции, издержки производства были бы наименьшими и, линия имела бы высокие технико-экономические показатели.

Нет никаких сомнений в том, что организация поточного производства является одним из величайших изобретений XX века, благодаря которому человечество за последние сто лет получило невиданный прирост материальных благ. С его повсеместным внедрением промышленность развитых стран как бы вышла на новый, качественно другой уровень и оказалась через несколько десятилетий готовой к внедрению новых высоких технологий – всеобъемлющей механизации, автоматизации и роботизации производства, то есть всего того, что принесла научно-техническая революция 50-90-х годов прошлого века.

Таким образом, мы видим, что поточное производство может отличаться большим разнообразием форм и огромной организационно-технической гибкостью.

Почему же до сих пор при ремонте вагонов используется только одна единственная форма поточного производства – жёсткая?

Остановимся подробнее на основных понятиях поточного производства в целом.

Под **структурой поточной линии** в общем случае следует понимать состав входящих в нее рабочих мест (технологических участков, позиций, модулей), транспортных средств, управляющих устройств (систем) и производственные взаимосвязи между ними. Наиболее сложной является структура поточного производства на уровне цеха (предприятия), под которой понимается состав поточных линий различного назначения, робототехнических комплексов, гибких автоматизированных модулей, транспортно-накопительных, управляющих и других систем и формы производственных взаимосвязей между ними.

Выбор типа оборудования для поточной линии предопределяется характером технологического процесса, составом, сложностью и назначением входящих в него операций; габаритами, массой изготавливаемого изделия и требованиями, предъявляемыми к его качеству.

Выбор рациональной структуры и компоновка являются важной предпосылкой разработки оптимальных планировок поточных линий.

Далее осуществляется **планировка поточной линии**, начиная её с разработки схем рабочих мест по всем операциям и выбора рациональных транспортных средств. В результате общей компоновки поточной линии определяется ее внешний контур, способ расстановки оборудования, расположение транспортных средств, средств промежуточного и окончательного контроля, мест для заделов. Планировка поточных линий должна, по возможности, обеспечивать **прямоточность** и наиболее короткий путь движения изделия, рациональное использование производственных площадей, удобство транспортировки заготовок и деталей к рабочим местам, к местам обслуживания и выполнения ремонтов.

Оценка оптимальности варианта **планировки линии** производится по таким технико-экономическим показателям, как доля площади, занятой непосредственно технологическим оборудованием, выпуск продукции, приходящийся на 1 м² производственной площади (1 производственный модуль).

Важным организующим структурным элементом поточного производства является транспорт. Учитывая многообразие различных факторов, в поточном производстве применяют средства периодического транспорта (краны, электрокары, тельферы и др.), бесприводные средства непрерывного транспорта (рольганги, скаты), приводные средства непрерывного

транспорта (ленточные, пластинчатые, цепные и другие транспортеры), роботизированные транспортные средства (промышленные роботы, различные транспортно-накопительные автоматизированные системы).

Выбор организационных форм поточных линий определяется тактом работы линии, степенью синхронизации операций технологического процесса, уровнем загрузки рабочих мест на линии.

По способу поддержания ритма различают линии с **регламентированным** и **свободным** ритмом. Линии с регламентированным ритмом характерны для непрерывно-поточного производства. Здесь ритм поддерживается с помощью конвейеров или сигнализации. Линии со свободным ритмом не имеют технических средств, строго регламентирующих ритм работы. Эти линии применяются при любых формах потока, и соблюдение ритма в этом случае возлагается непосредственно на работников данной линии.

Чтобы обеспечить единый такт или ритм поточной линии, при организации поточного производства осуществляется **синхронизация**, т.е. производительность выравнивается по всем операциям технологического процесса. Синхронизация означает достижение равенства или кратности времени выполнения операций технологического процесса установленному такту их работы и является важной предпосылкой непрерывного функционирования линий. К наиболее распространенным **способам синхронизации** относятся: расчленение операции на переходы и комбинирование различных вариантов порядка их выполнения или группирование переходов нескольких операций, концентрация операций, введение параллельных рабочих мест на операциях, длительность которых кратна такту, интенсификация режимов работы, совмещение времени выполнения нескольких переходов, рационализация рабочих приемов, совмещение времени машинной и ручной работы и др.

Технологические процессы вагоноремонтного производства характеризуются большим разнообразием, что вызывает определённые трудности в комплексной механизации и автоматизации.

Под **механизацией** технологических процессов понимается применение энергии неживой природы. Благодаря механизации можно заменить труд человека там, где непосредственно изменяется состав и строение объекта переработки, но рабочий должен принимать

непосредственное участие в управлении технологическим оборудованием, контролировать его работу, выполнять пуск, наладку и остановку оборудования.

Под **автоматизацией** технологических процессов понимается применение энергии неживой природы для выполнения и управления процессом без непосредственного участия людей. В автоматизированном технологическом процессе рабочий участвует в наладке и пуске оборудования только при нарушениях заданного режима эксплуатации оборудования.

Механизацию и автоматизацию технологических процессов проводят с целью замены тяжелого и монотонного физического труда, когда имеются вредные условия на предприятии и когда обеспечивается экономический эффект в результате повышения производительности труда и улучшения качества выпускаемой продукции.

Выбор оптимального варианта технологического процесса – сложный этап проектирования потока, поэтому он должен создаваться на основе заранее отработанных технологических процессов для каждого этапа производства.

Технологический процесс для потока следует предусматривать таким, чтобы в его составе было наименьшее возможное число ремонтных позиций и универсального оборудования. Это позволит разместить поток на наименьшей площади, что позволит уменьшить производственный объем здания, а также сократить затраты на оборудование, так как один сложный агрегат зачастую стоит меньше, чем несколько более простых.

Если продолжительности времени выполнения работ на позициях, входящих в общий поток, равны между собой, то можно применять сквозную однопоточную компоновку с транспортными устройствами, передающими полуфабрикат от одной позиции к другой, как это имеет место в машиностроении. Если же модули по продолжительности работ существенно отличаются друг от друга, то следует однозначно применять многопоточные линии с параллельной работой однотипных модулей в сходящихся или расходящихся потоках. Для этого необходимо применять специальные специальную компоновку позиций и трансбордерные тележки. В данном случае вследствие технологических причин возникнут независимые участки поточных линий. Каждый из участков должен иметь систему управления, связанную с другими участками, а также независимые системы автоматической транспортировки изделий

и их ориентации. Таким образом, поток с различной на его позициях продолжительностью рабочего цикла, по существу, представляет собой несколько последовательно-параллельных поточных линий, связанных друг с другом единым технологическим процессом.

При большом числе взаимосвязанных машин линию следует делить на участки с промежуточными накопителями так, чтобы время простоев, а, следовательно, и потери производительности на этих участках были одинаковыми. Количество, частота и причины простоев могут быть различными. Они зависят от конструктивного совершенства машин и степени надежности их работы, технического состояния, уровня организации производства и целого ряда случайных причин.

Таким образом, технологические линии состоят из комплексов оборудования. Компонование линии – это, прежде всего корректировка технологии, модернизация оборудования, создание средств управления технологическими процессами, связующими их в один большой процесс (технологическую систему), а не простое соединение машин и аппаратов в цепочку с помощью конвейеров разных типов.

Выбор предприятием на некоторый период времени стратегии процесса производства одного или нескольких изделий (составных частей изделий), ориентированный на продукт, дает ему возможность строить процессы, в полной мере отвечающие принципам рациональной организации производства. Речь идет об обеспечении непрерывного, прямого, ритмичного прохождения материальных потоков. Такое производство традиционно называют поточным производством.

Под поточным производством подразумевается форма организации производства, основанная на ритмичной повторяемости согласованных во времени технологических операций, выполняемых на специализированных рабочих местах, расположенных по ходу следования технологического процесса изготовления одного или нескольких изделий. Применение поточных методов обеспечивает высокую степень организации, а, следовательно, и эффективности производства. Очевидные преимущества поточного производства заставляют искать технические и организационные пути расширения областей его использования.

Основным структурным элементом поточного производства является **поточная линия**, которая представляет собой совокупность рабочих мест, расположенных строго по ходу

технологического процесса. Под **рабочим местом** будем подразумевать часть производственной площади, оснащенную всем необходимым для выполнения отдельных операций производственного процесса одним или группой рабочих.

Обычно в зависимости от имеющихся площадей планировка поточных линий может иметь различную конфигурацию: прямолинейную, круговую, П-, Г-, Z-образную и т.д. При этом исходят из соображений наиболее рационального использования производственных площадей объемов зданий, сокращения протяженности маршрутов движения транспортных средств и перемещения рабочих, обслуживающих несколько единиц оборудования или операций. В этом состоит проявление принципа **прямоточности**. Принцип **ритмичности** проявляется в ритмичном выпуске продукции с поточных линий и в ритмичном повторении работ на рабочих местах. На каждом рабочем месте поточной линии выполняется одна постоянно повторяющаяся операция или несколько сходных операций, чередующихся через определенные интервалы времени. Ритм является основополагающим параметром при расчете всех видов поточных линий.

Сформулируем основные преимущества поточного производства:

- **повышение производительности труда**, что является результатом механизации и автоматизации операций (включая транспортные), внедрения эффективных технологий и специальных быстродействующих средств технологического оснащения, оптимальной планировки рабочих мест, приобретения рабочими навыков выполнения повторяющихся операций;

- **сокращение длительности производственного цикла**, что становится возможным в результате специализации рабочих мест, бесперебойного их обслуживания в соответствии с ритмом, устранения перерывов в движении изделий по рабочим местам, сокращения расстояния и времени транспортировки, запараллеливания процессов и совмещения операций;

- **уменьшение заделов незавершенного производства и ускорение оборачиваемости оборотных средств** в результате сокращения длительности производственного цикла;

- **повышение качества продукции**, снижение брака как результат улучшения технологической и трудовой дисциплины, применение регламентированного специализированного обслуживания рабочих мест, технического обслуживания и ремонта оборудования, стандар-

тизации и контроля качества продукции;

- **снижение себестоимости продукции**, что является результатом всего комплекса мер по рациональной организации производственного процесса и сокращения затрат всех видов ресурсов.

Широкое распространение поточных методов производства объясняется их высокой эффективностью. В общем случае **поточным производством** называется прогрессивная форма организации производства, основанная на ритмичной повторяемости согласованных во времени основных и вспомогательных операций, выполняемых на специализированных рабочих местах, расположенных в последовательности технологического процесса.

Для поточного производства характерны следующие принципы организации производственного процесса, в первую очередь **принципы специализации, прямоточности, непрерывности, параллельности и ритмичности**.

Принцип специализации в условиях поточного производства воплощается в создании предметно-замкнутых участков в виде специализированных поточных линий, предназначенных для обработки одного закреплённого за данной линией изделия или нескольких технологически родственных изделий.

Поэтому каждое рабочее место линии должно быть специализировано на выполнении одной или нескольких закреплённых за ним операций.

При закреплении за линией одного изделия она называется **однопредметной**. Такие линии характерны для массового производства.

При закреплении за линией нескольких изделий (в чём может возникнуть необходимость при незначительной трудоёмкости обработки либо при небольших программных заданиях) линия является **многопредметной**. Такие линии характерны для серийного и массового производства. За многопредметными линиями изделия закрепляют с таким расчётом, чтобы их можно было обрабатывать с минимальными потерями времени на переналадку оборудования при достаточной загрузке рабочих мест и полном совпадении операций.

Принцип прямоточности предусматривает размещение оборудования и рабочих мест в порядке следования операций технологического процесса.

Первичным производственным участком является поточная линия. Различают **простую (жёсткую)** цепочку рабочих мест на линии, где на каждой операции имеется только одно

рабочее место (модуль), и *сложную (гибкую)* при наличии на операциях двух или нескольких мест-дублеров.

Принцип непрерывности на поточных линиях осуществляется в виде непрерывного движения изделий по операциям при непрерывной (без простоев) работе рабочих и оборудования.

Подобные линии называются **непрерывно-поточными**.

В тех случаях, когда равенство производительности на всех операциях отсутствует, полной непрерывности не достигается и такие линии являются **прерывно-поточными**.

Принцип параллельности применительно к поточным линиям проявляется в параллельном виде движения партий, при котором изделия передаются по операциям поштучно либо небольшими партиями. Следовательно, в каждый данный момент на линии обрабатывается несколько единиц данного изделия, находящихся на разных операциях процесса. При строгой пропорциональности достигается полная и равномерная загрузка рабочих мест на линии.

Принцип ритмичности в условиях поточного производства проявляется в ритмичном выпуске продукции с линии и в ритмичном повторении всех операций на каждом ее рабочем месте.

Для сборочного производства количество позиций на потоке зависит от производственной программы и продолжительности технологического цикла.

Существует три вида различных трудоёмкостей: **фактическая, технологическая и проектная**. **Фактическая трудоёмкость** – это та трудоёмкость, которая имеется на существующих предприятиях. Фактические трудоёмкости на различных предприятиях могут отличаться друг от друга. Это зависит от принятой технологии, состава технологического оборудования, уровня механизации и автоматизации производства, мастерства исполнителей.

Технологической трудоёмкостью является самая низкая из фактических трудоёмкостей. Так, например, если на одном предприятии трудоёмкость ремонта вагонов составляет 60,5 чел.-ч, на другом 54,3 чел.-ч, а на третьем – 68,5 чел.-ч, то технологической трудоёмкостью будет 54,3, $Q_t = 54,3$ чел.-ч.

Под **проектной трудоёмкостью** понимается трудоёмкость, закладываемая в проект нового предприятия. Естественно, что **проектная трудоёмкость** должна быть ещё ниже **трудо-**

ёмкости технологической, $Q_n < Q_t$.

Поток в ремонтном производстве имеет свои особенности. Так, например, в вагоноремонтном производстве потоки имеют небольшое количество позиций. Учитывая, что во время технологических перемещений вагонов между позициями потока, ремонтные работы не производятся, то, таким образом, удлиняется продолжительность производственного цикла. В связи с этим, естественно, чтобы количество перемещений было бы как можно меньшим. Поэтому и количество позиций тоже должно быть минимальным.

Обычно каждая позиция связана с технологическим оборудованием, при помощи которого выполняется основная часть ремонтных операций. Это могут быть машины разных типов: вагоноподъемные, моечные, окрасочные, сушильные, диагностическое оборудование, грузоподъемное оборудование, кантователи, конвейеры и т. п. Кроме того, на позиции могут осуществляться дополнительные работы, не требующие громоздкого технологического оборудования, а выполняемые вручную или с применением необходимой оснастки. Связанные, например, со снятием и постановкой автоцепных устройств, поглощающих аппаратов или крышек люков полувагонов и т.п.

Вагоноремонтные потоки, позиции которых не оборудованы специальным оборудованием, а только различаются комплексами операций, выполняемыми вручную, являются, по сути, формальными потоками.

Для вагоноремонтного производства нет нужды в сильной дифференциации технологических операций. Обычно весь технологический процесс дифференцируется на группы операций, имеющих привязку к специальному технологическому оборудованию.

В своё время при проектировании корпусов вагонных депо совершенно не было учтено то обстоятельство, что технологии меняются значительно быстрее, чем здания отслужат свой нормативный срок. В результате чего появились новые технологии, которые никак нельзя втиснуть в имеющиеся планировки уже построенных зданий. Но и строительные технологии тоже не стояли на месте, а развивались. И сейчас корпуса депо могут быть быстро сооружены из лёгких металлических конструкций. К тому следует учесть, что если в бытность Советского Союза на долю технологического оборудования приходилось 30...40 % от стоимости строительно-монтажных работ, то сейчас стоимость технологического оборудования в не-

сколько раз превышает стоимость строительную часть.

При *поточном методе* построения цехов происходит разделение участков на поточные линии. Поточные линии организуют или в виде отдельных поточных участков, специализированных на обработке одного или нескольких изделий, или в виде одной сквозной поточной линии. Поточные методы работы свойственны массовому производству.

Начальным звеном производственной структуры служит рабочее место. Расположение рабочих мест зависит от типа производства. Например, на поточных линиях они расположены по ходу технологического процесса и по времени связаны единым тактом потока. Где нет поточного метода организации производства, рабочие места размещают преимущественно по группам однотипного оборудования.

Компонование линии – это, прежде всего, корректировка технологии, модернизация оборудования, создание средств управления технологическими процессами, связующими их в один большой процесс (технологическую систему), а не простое соединение единиц оборудования в общую цепочку с помощью конвейеров разных типов.

Поточное производство создает предпосылки для сокращения брака и повышения качества продукции. Уже сама по себе прогрессивная технология, базирующаяся на широком применении специального оборудования и совершенных приспособлений, является значительным фактором сокращения брака и повышения качества продукции. Кроме того, большую роль играют устойчивые условия работы на каждом рабочем месте поточной линии. Поток дисциплинирует рабочих и повышает индивидуальную ответственность каждого из них за качество выполняемых работ. В силу сопряженности работы отдельных рабочих здесь чрезвычайно трудно скрыть брак.

В поточном производстве в результате уменьшения длительности технологического цикла и доведения до минимума межоперационного времени резко сокращается длительность производственного цикла.

Высокая экономическая эффективность поточного производства находит свое обобщающее выражение в относительно более низкой себестоимости продукции. Снижение трудоемкости изделий в поточном производстве обуславливает соответствующее уменьшение доли производственной зарплаты в себестоимости единицы продукции. Расходы хотя и возраста-

ют по абсолютной своей величине в связи с повышением технического и организационного уровня производства, но по относительной величине на единицу продукции уменьшаются вследствие значительного увеличения общего выпуска продукции. Сокращаются также затраты на основные материалы в себестоимости единицы продукции, что является результатом уменьшения отходов материалов благодаря более совершенному технологическому процессу. Сокращение потерь от брака приводит также к снижению себестоимости единицы продукции. Таким образом, себестоимость продукции в поточном производстве снижается по главнейшим ее составляющим.

Требования к технологическим процессам, оборудованию и его комплексам обуславливаются целью создания машинной технологии. Эта работа должна основываться на решении ряда принципиальных вопросов: определении оптимального варианта технологического процесса и разделения потока на отдельные участки, подборе технологического оборудования, выборе транспортных устройств, пространственном размещении оборудования потока и т.п. Все эти задачи должны быть решены таким образом, чтобы при соблюдении всех требований к качеству продукции издержки производства были наименьшими и, поток имел бы высокие технико-экономические показатели.

Технологические процессы вагоноремонтного производства характеризуются большим разнообразием, что вызывает определённые трудности в комплексной механизации и автоматизации такого производства.

Прежде чем подбирать и проектировать оборудование поточных линий, необходимо определить не только типоразмеры предполагаемой к выпуску продукции, но и уровень специализации или универсальности линий, от которого, в значительной мере, будут зависеть конструкции машин. На предприятиях небольшой мощности, по-видимому, целесообразно устанавливать универсальные переналаживаемые линии. Крупные предприятия, напротив, желательно оснащать специализированными линиями, на каждой из которых можно будет выпускать изделия определенных типоразмеров. Необходимо принять во внимание, что стоимость переналаживаемой линии значительно выше, чем специализированной.

Для синхронизации работы оборудования поточной линии длительность отдельных технологических операций должна быть одинако-

вая или кратная, а производительность машин должна быть выровнена.

Если машины, входящие в линию, имеют примерно одинаковую производительность, то можно применять сквозную однопоточную компоновку с транспортными устройствами, передающими полуфабрикат от одной машины к другой. Если же машины по производительности существенно отличаются друг от друга, то следует применять многопоточные линии с параллельной работой однотипных малопроизводительных машин в сходящихся или расходящихся потоках. Для этого необходимо применять специальные перегружающие и распределительные устройства и осуществлять специальную компоновку оборудования. В данном случае вследствие технологических причин возникнут независимые участки поточных линий. Каждый из участков должен иметь систему управления, связанную с другими участками, а также независимые системы автоматической транспортировки изделий и их ориентации. Таким образом, линия с различной в отдельных ее участках продолжительностью рабочего цикла, по существу, представляет собой несколько последовательных поточных линий, связанных друг с другом лишь общим для этих линий автоматическим управлением.

Помимо технологических факторов на компоновку линии часто влияет конфигурация цеха или здания, в которой предполагается размещение линий. Возможные повороты потока также вызывают необходимость введения дополнительных сопрягающих устройств и деления всей линии на отдельные участки.

Возможны отдельные случаи, когда разделение поточных линий на участки целесообразно, хотя это и сопряжено с усложнением и не является конструктивной неизбежностью. Так, при жесткой связи между машинами простои одной из них вызовут остановку всей линии; чем больше машин входит в линию, тем больше потерь производительности будет из-за простоев. Поэтому при большом числе взаимосвязанных машин иногда целесообразно создавать линию с нежесткой связью между машинами, разделив ее на независимые участки, и предусмотреть работу этих участков или в виде единого автоматизированного потока, или независимо друг от друга. Поместив между участками бункерные устройства или накопители с запасом полуфабрикатов или изделий, можно частично компенсировать простои участков, так как при простое одного участка остальные могут работать некоторое время за счет изделий,

имеющихся в бункерах. Однако эффективность такого разделения линии на участки уменьшается вследствие усложнения и удорожания ее механизмов. Поэтому деление линий на большое количество участков не всегда целесообразно.

На многих передовых авиаремонтных заводах внедрены пульсирующие конвейеры, обеспечивающие поточный метод ремонта большой номенклатуры агрегатов и приборов. На авиаремонтных заводах созданы доки для ремонта и внеангарные доки для технического обслуживания тяжелых самолетов.

Методы организации поточного производства в промышленности зависят от характера продукции и масштабов ее выпуска. Наиболее благоприятные условия для внедрения поточного метода имеются в массовом и крупносерийном производстве. На тех промышленных предприятиях, на которых изготавливаются изделия большой и разнообразной номенклатуры, нет необходимых организационных предпосылок для его широкого внедрения.

Серийное производство характеризуется изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями. В зависимости от количества изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают мелко-, средне- и крупносерийное производство. Для мелкосерийного типа производства характерно применение универсального оборудования со специальными приспособлениями и инструментом. В условиях универсального мелкосерийного производства поточное требование невыполнимо и приводит к устаревшему методу индивидуального ремонта, при котором технологическая система производства может быть нарушена и организована в любом виде, приемлемом для данной бригады ремонтников. При индивидуальном методе ремонта нарушение увязки отдельных фаз производства и синхронизации работы не приводит к остановке производства в целом, как это имеет место при поточном методе ремонта, а вызывает только удлинение сроков ремонтируемых объектов.

Для средне- и крупносерийного производства свойственно применение поточного метода ремонта. Технологическое оборудование в условиях серийного производства размещается смешанно – по групповому и поточному принципам. Уровень квалификации рабочих колеблется в широких пределах и с возрастанием серийности понижается.

Однако в ремонтном производстве на широкое внедрение этого метода оказывают влияние многочисленные случайные факторы, присущие ремонтной среде. Ремонт не может быть узкоспециализированным.

Автопредприятия, например, ремонтируют кузова автомобилей различных марок с неодинаковой изношенностью их узлов и деталей. Объемы работ на каждом кузове отличаются друг от друга и в большинстве случаев не могут быть определены заранее. Однако, несмотря на различия и особенности в конструкции кузовов, основные условия организации поточного метода ремонта являются общими для всех авторемонтных заводов. К общим условиям организации ремонта относятся все подготовительные работы, оборудование рабочих мест. В США организованы также специализированный ремонт кузовов и окраска автомобилей поточным методом, несмотря на то что многие специалисты за рубежом считают, будто при поточном методе ремонта кузова и окраски автомобиля нельзя обеспечить высокое качество ремонтных работ и, в связи с этим, хорошие заработки.

Успешное освоение во многих локомотивных депо железных дорог агрегатного метода ремонта тепловозов позволило сделать следующий и решающий шаг по пути развития индустриальной системы деповского ремонта тепловозов, а именно – перейти к поточному методу ремонта.

То же самое касается и ремонта вагонов. Вагоноремонтное производство имеет свои нюансы. Самая большая проблема, которая появляется при организации поточного вагоноремонтного производства в депо, – это синхронизация времени выполнения ремонтных работ на позициях поточной линии. Для соблюдения такта необходимо, чтобы выполнение ремонтных операций на всех позициях оканчивалось одновременно. Вместе с тем, из-за стохастического характера времени выполнения ремонтных работ, имеющего разброс в довольно широком диапазоне даже для одного типа вагонов, эта задача не может быть решена в принципе.

Поэтому простое копирование поточных методов из машиностроения и приборостроения для использования их в ремонтном производстве нецелесообразно. Большая перспектива здесь видится в создании асинхронных многопредметных гибких потоков.

Асинхронность потока свидетельствует о том, что вагоны перемещаются с одной позиции на другую не все одновременно, через регламентированные промежутки времени, а по-

очередно – по мере необходимости и возможности.

Все преимущества асинхронных гибких потоков и методы их проектирования представлены в работах [6 – 13]. Для вагоноремонтного производства такие потоки являются наиболее приемлемыми.

Среди факторов, влияющих на эффективность производства, одно из важнейших мест отводится росту производительности труда. Применительно к вагонному хозяйству это хорошо показано в работах [14 – 15].

Суть роста производительности труда заключается в том, что доля живого труда в производстве продукции сокращается, а доля овеществленного труда (материалы, электроэнергия, топливо) увеличивается. При этом общая сумма труда, использованная для производства товара, снижается.

Основная мера функциональной полезности и эффективности потока – его **производительность**, а гарантия достижения высокой эксплуатационной производительности – надежность оборудования и правильная конструкции линии.

Под производительностью технологического потока следует понимать способность его перерабатывать или выпускать то или иное количество продукции за определенный промежуток времени. Как правило, различают три вида производительности: техническую $P_{\text{техн}}$, теоретическую $P_{\text{теор}}$ и эксплуатационную $P_{\text{эксп}}$.

Техническая производительность характеризует технические возможности потока, обусловленные технологическим процессом и конструкцией оборудования. При определении технической производительности принимают в расчет количество переработанной или выпущенной продукции, длительность непосредственной работы оборудования, а также дополнительные затраты рабочего времени, необходимые для успешного функционирования оборудования. Дополнительные затраты зависят от конструктивных особенностей оборудования, они предусмотрены технической документацией и учитывают наличие регламентированных возвратных отходов, дефектной продукции и потерь сырья, а также необходимость дополнительных затрат времени на выполнение вспомогательных операций и обслуживание оборудования.

Техническая производительность – главный технико-экономический показатель технологического оборудования. По значению этого показателя, прежде всего, решают вопрос,

можно ли использовать конкретное технологическое оборудование в составе проектируемого потока. При создании новой потока значение технической производительности устанавливает заказчик, и она указывается в исходных требованиях и техническом задании. По значению этой производительности при проектировании потока необходимо рассчитать **теоретическую производительность** как генерального потока в целом, так и его составных участков.

Теоретическую производительность рассчитывают по количеству выпущенной продукции за период непосредственной работы оборудования без учета дополнительных затрат рабочего времени. **Теоретическая производительность** – важнейшая характеристика любой конструкции. Поэтому в процессе разработки линии важно проанализировать взаимосвязь между заданной технической производительностью и проектируемой, теоретической производительностью.

Эксплуатационная производительность поточной линии определяется эксплуатационной производительностью последнего участка или последнего оборудования, которые помимо собственных простоев могут иметь простои, вызываемые простоями предыдущих участков линии.

В поточных линиях с жесткой связью между позициями продолжительность простоя всей линии равна продолжительности самого длительного простоя одной из позиций.

Для предприятий вагонного хозяйства принято определять производительность по эффективности живого труда, а экономия овеществленного труда проявляется в величине себестоимости продукции.

Развитие производства может осуществляться за счёт следующих направлений: использование достижений научно-технического прогресса в виде более производительного оборудования, инструментов, материалов, инновационных технологических процессов.

Рост производительности труда зависит от целого ряда факторов, которые можно условно разбить на три группы:

- **материально-технические**, зависящие от уровня развития и степени использования средств производства (орудий труда), новых технологий, материалов, сырья и энергоресурсов;

- **организационно-экономические**, регламентирующие научную организацию производства, управления и труда;

- **социально-психологические**, зависящие от квалификации работников, их состава, условий труда, трудовой дисциплины, уровня производственной культуры, оплаты труда, морально-психологического климата в коллективе, состояния условий быта.

Рост производительности труда на вагоноремонтных предприятиях может проявляться в следующих видах:

- увеличение объёма продукции, выпускаемой в единицу времени при неизменном ее качестве;

- повышение качества продукции при неизменном её объёме, создаваемой в единицу времени;

- сокращение затрат труда на единицу выпускаемой продукции;

- уменьшение доли затрат труда в себестоимости продукции;

- сокращение времени производственного цикла.

Производительность гибкого потока представляет собой комплексный показатель, учитывающий технические, технологические, организационные, социальные, экономические показатели. Для гибкого потока следует рассматривать производительность в двух аспектах: в виде производительности труда работников предприятия и оборудования на отдельных позициях и в виде пропускной способности самого потока в целом.

Производительность труда (**ПТ**) – довольно ёмкое экономическое понятие. Согласно [16] основную формулу производительности труда в общем виде можно представить следующим образом:

$$ПТ = \frac{\text{Выпуск}}{\text{Затраты}},$$

где **Выпуск** – объём выпущенной продукции;

Затраты – затраты живого труда, капиталовложения, текущие материальные затраты, услуги со стороны.

Таким образом, производительность труда является интегрированным показателем, зависящим от всевозможных используемых ресурсов.

В зависимости от используемого ресурса может быть получено несколько значений производительности труда. Теоретически число таких показателей равно количеству ресурсов. Как правило, на практике используют три основных показателя:

$$ПТ = \frac{\text{Объём продукции}}{\text{Затраты живого труда}},$$

$$ПТ = \frac{\text{Объём продукции}}{\text{Затраты основного капитала}},$$

$$ПТ = \frac{\text{Объём продукции}}{\text{Текущие материальные затраты}}.$$

Таким образом, величина производительности труда прямо пропорциональна объёму выпускаемой продукции. А объём продукции напрямую зависит от пропускной способности вагоноремонтного потока.

Учитывая, что пропускная способность гибкого асинхронного вагоноремонтного потока примерно на 30...35 % больше пропускной способности потока жёсткого при прочих равных условиях, то можно сделать вывод, что гибкие потоки являются более производительными, а следовательно, и более эффективными.

Одним из возможных методов повышения эффективности вагоноремонтных предприятий может стать интеграция вагоноборочного и вагоноремонтного производства в одно целое. Было бы целесообразно, если бы и ремонт вагонов и их сборкой занималось бы одно и то же предприятие. Тогда бы строители уделяли бы больше внимание конструкции вагонов с точки зрения её ремонтпригодности. Особенно ярко этот синтез мог бы проявить себя именно при гибких многопредметных асинхронных потоках. К тому же это очень актуально в период спада экономики и сокращения объёмов перевозок. В случае временного отсутствия объектов ремонта предприятие могло бы переключаться на сборку новых вагонов на тех же самых площадях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Декарт, Р. Соч. в 2-х тт. [Текст] / Р. Декарт. – Т. 1. – М.: Мысль, 1989. – 654 с.
2. Смит, А. Исследование о природе и причинах богатства народов [Текст] / А. Смит. – М.: Эксмо, 2009. – 960 с.
3. Форд, Г. Моя жизнь, мои достижения [Текст] / Г. Форд. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 206 с.
4. Форд, Г. Сегодня и завтра [Текст] / Г. Форд. – М.: Финансы и статистика, 1992. – 239 с.
5. Кошкин, Л. Н. Роторные и роторно-конвейерные линии завтра [Текст] / Л. Н. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.
6. Мямлин, В. В. Использование ЭВМ для анализа функционирования различных поточных линий для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Ж/д трансп. Серия «Вагоны и вагонное хозяйство». Ремонт вагонов. – Вып. 1. – М.: ОИ /

ЦНИИ ТЭИ МПС, 1989. – С. 1-11.

7. Мямлин, В. В. Совершенствование поточного метода ремонта вагонов за счёт гибкости транспортной системы между технологическими модулями [Текст] / В. В. Мямлин // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 4. – С. 15-17.
8. Мямлин, В. В. Использование теории кусочно-линейных агрегатов для формализации работы ремонтных модулей поточной вагоноремонтной линии с гибкой транспортной системой [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 44-48.
9. Мямлин, В. В. Схема кусочно-линейного агрегата как математическая модель функционирования технологических модулей асинхронного гибкого потока ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 25. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 18-22.
10. Мямлин, В. В. Анализ основных параметров асинхронного гибкого потока ремонта вагонов и методы их расчёта [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 28-33.
11. Мямлин, В. В. Особенности взаимодействия между подсистемами асинхронного гибкого потока ремонта вагонов, формализованного в виде агрегативной системы [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 27. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 36-41.
12. Мямлин, В. В. Компонентные решения организационно-технологических структур перспективных вагоноремонтных депо с асинхронными гибкими потоками ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 31. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 55-62.
13. Мямлин, В. В. Ретроспективный анализ методов организации ремонта грузовых вагонов в депо и пути их дальнейшего развития [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 51-60.
14. Осадчук, Г. И. Научно-технический прогресс и экономика вагонного хозяйства [Текст] / Г. И. Осадчук, Ч. У. Березнякова, С. А. Покровский. – М.: Транспорт, 1984. – 79 с.
15. Скиба, И. Ф. Поточный метод ремонта вагонов на заводах [Текст] / И. Ф. Скиба. – М.: Гос-транжелдориздат, 1950. – 247 с.
16. Зубов, В. М. Как измеряется производительность труда в США [Текст] / В. М. Зубов. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 144 с.

Поступила в редколлегию 15.11.2010.

Принята к печати 17.11.2010.

С. В. МЯМЛІН (ДІПТ), Д. М. БАРАНОВСЬКИЙ (КНУ ім. М. Остроградського, Кременчук)

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ І ВЕЛИЧИНИ ЗНОСУ ТРИБОСИСТЕМ ДИЗЕЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО САМОХІДНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

У роботі наведено результати експериментальних досліджень характеру та величини зносу відповідальних трибосистем циліндропоршневої групи та кривошипно-шатунного механізму дизелів спеціального самохідного рухомого складу залізниць. Показано, що характер зносу гільз циліндрів та шийок колінчастого валу негативно впливають на техніко-експлуатаційні параметри і лімітують ресурс дизелів у цілому. Величина зносу пропорційна напрацюванню дизелів, але спостерігаються випадки значних відхилень значень величини та інтенсивності зносу деталей відповідальних трибосистем, які впливають на встановлений ресурс дизелів до капітального ремонту.

Ключові слова: трибосистема циліндропоршневої групи, кривошипно-шатунний механізм, знос, дизель, спеціальний самохідний рухомий склад залізниць

В работе приведены результаты экспериментальных исследований характера и величины износа ответственных трибосистем цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма дизелей специального самоходного подвижного состава железных дорог. Показано, что характер износа гильз цилиндров и шеек коленчатого вала негативно влияют на технико-эксплуатационные параметры и лимитируют ресурс дизелей в целом. Величина износа пропорциональна наработке дизелей, но наблюдаются случаи значительных отклонений значений величины и интенсивности износа деталей ответственных трибосистем, которые влияют на установленный ресурс дизелей до капитального ремонта.

Ключевые слова: трибосистема цилиндропоршневой группы, кривошипно-шатунный механизм, износ, дизель, специальный самоходный подвижной состав железных дорог

In the paper the results of experimental research of wear character and value of responsible tribosystem of cylinder-and-piston group and crank-and-conrod mechanism of diesels for the special self-propelled railway rolling stock are presented. It is shown that the character of wear of cylinder shells and crankpins affect negatively the technical-operating parameters and limit the resource of diesels as a whole. The wear value is proportional to operating time of diesels, but there are the cases of considerable deviations of value and intensity of wear of parts of responsible tribosystems, which affect the set resource of diesels before a major overhaul.

Keywords: tribosystem of cylinder-and-piston group, crank-and-conrod mechanism, wear, diesel, special self-propelled railway rolling stock

Вступ

Довговічність та безвідмовність дизелів пов'язані між собою та виступають невід'ємними показниками надійності. Накопичення пошкоджень у деталях та вузлах дизелів підвищує ймовірність настання відмов та знижує довговічність. При цьому, поточні відмови дизелів поступово переходять у ресурсні відмови, при яких дизелі досягають граничного стану [1 – 3].

Розгляд впливу чинників поточних та ресурсних відмов дизелів дозволяє обґрунтувати та розробити ефективні заходи та засоби, які будуть сприяти підвищенню рівня довговічності дизелів спеціального самохідного рухомого складу (ССРС) залізниць.

Основний вплив чинників на відмови дизелів здійснюють такі фізико-хімічні процеси: зноси трибосистем (ТС); старіння матеріалів

деталей та їх руйнування при різному, включаючи нестационарне, тепломеханічному навантаженні; кавітація; нагаро- та коксоутворення; а також невід'ємні конструкційні, технологічні та експлуатаційні похибки [4 – 6].

Для кожної поточної та ресурсної відмови можна встановити відповідні критерії та ознаки її прояву.

У міру зростання напрацювання деталей дизелів ССРС залізниць, безперервно відбуваються зміни їх технічного стану, пов'язані із процесами зношування, корозії, накопичення втоми, деформацій, забруднення та ін. Ці процеси мають необоротний характер: знижується або втрачається працездатність ССРС у результаті зносу деталей.

Поточні та ресурсні відмови дизелів ССРС залізниць обумовлюють їх нездатність виконувати задані функції. При цьому відбувається зупинка ССРС для ремонту і регулювання.

Дизелі мають особливе місце в сукупності відмов ССРС залізниць. Дослідження [7 – 10] надійності та довговічності агрегатів сучасного ССРС показує, що в середньому 34...47 % відмов приходить на дизель, 7...19 % – на трансмісію, 6...19 % – на ходову частину, 5...18 % – на електрообладнання, 8...19 % – на гідрообладнання, 5...15 % – на пневмосистеми, 7...24 % – на робоче (навісне) обладнання. Значний діапазон даних по відмовам пояснюється різним призначенням та областю використання ССРС залізниць.

Експлуатація дизелів ССРС залізниць в робочих умовах збільшує знос деталей в 2,0...4,9 рази в порівнянні з їх використанням в інших умовах експлуатації [1].

Реалізація технологічних операцій колійного та енергогосподарств залізниці відбувається при роботі дизелів ССРС на режимах середнього і найбільшого навантаження – в межах від граничної потужності до найбільшого крутного моменту, що створює максимальні механічні та теплові навантаження на їх деталі [11 – 12].

Найбільш значимими факторами, що дозволяють більш повно використати запланований ресурс дизеля, при нормальній його експлуатації є неприпустимість перегрівів, своєчасна заміна масла, справність повітряних, оливних та паливних фільтрів, застосування якісних паливно-мастильних матеріалів та ін.

Головною і постійно діючою причиною зміни технічного стану дизелів є зношування його деталей. Примітною особливістю його деталей при експлуатації є одночасна дія різних видів зношування, співвідношення яких залежать від конструкції дизеля, технології виготовлення деталей, якості вживаних експлуатаційних матеріалів, зовнішніх умов [13 – 17].

На довговічність дизелів основний вплив здійснює зносостійкість їх відповідальних ТС, якими виступають ТС циліндропоршневої групи (ЦПГ) та кривошипно-шатунного механізму (КШМ) [1 – 3, 8].

Аналіз попередніх досліджень

Розглядаючи процес зношування основних деталей дизеля, у першу чергу варто звернути увагу на режим тертя: гідродинамічний, граничний і т.д., оскільки деталі дизеля по різному зношуються при різних режимах тертя.

У процесах тертя, мащення і зношування беруть участь поверхневі шари деталей і масляна плівка різної товщини. Властивості масла й активних поверхневих шарів металу безперервно змінюються [6]. На межі поділу метал-

масло відбуваються складні фізико-хімічні процеси, що впливають на утворення структури поверхневих шарів деталей і їх довговічність.

Розглядаючи роботу деталей ЦПГ, слід зазначити, що ТС «гільза циліндра – компресійне кільце» знаходиться в умовах граничного тертя. У цьому випадку під впливом високої температури, недостатності мащення, підвищеного навантаження і зворотно-поступального руху гідродинамічна масляна плівка стає тонше 2 мкм і закономірності рідинного мащення порушуються. Коефіцієнт тертя в таких умовах залежить не від в'язкості масла, а від наявності в ньому полярно-активних компонентів [10]. Одночасно змінюються властивості поверхонь твердих тіл, що можуть пластифікуватися, окрихчуватися, набувати квазірідкого стану.

Мастильна дія граничних шарів визначається здатністю забезпечувати ковзання, зниження сил молекулярної адгезії і пластифікацію поверхонь. Можуть утворюватися також плівки фізичної адсорбції і хемосорбції [11].

З підвищенням температури хімічні плівки стають товщими і руйнуються тільки при досягненні точки плавлення. Усі плівки здатні до саморегенерації, якщо зберігаються зовнішні умови тертя.

Товщина і міцність граничних плівок залежить від хімічного складу масла і присадок до нього, властивостей поверхні тертя і зовнішніх умов тертя. Щодо товщини граничних шарів єдиної думки не існує. За деякими даними [6, 8 – 10] вона складає від частки мікрометра до декількох його десятків.

Подальший розвиток теорія зносу тонких поверхневих шарів в умовах граничного тертя знайшла у роботах вчених Запорожця В. В., Дмитриченка М. Ф., Райка М. В., Мнацаканова Р. Г. та ін. У роботах [4 – 12] показано, що структурно-енергетичні особливості поверхні визначаються акумулюванням у поверхневих шарах структурних мікростворень з випереджачим, у порівнянні з об'ємним темпом, інтенсивним протіканням комплексу структурних і фазових перетворень відповідно до умов зовнішнього навантаження. Складність керування поверхневою, а в зв'язку з цим і об'ємною міцністю, полягає й у тому, що поверхневі шари, як правило, метастабільні і більш легко, ніж глибинні, переходять у нові структурні стани.

Фрактографічні дослідження [7] показали, що взаємодію поверхонь тіл при граничному терті можна розглядати як взаємодію випадкових коливальних механічних полів. Це приводить до середньо- і високошвидкісного імпуль-

сного пружного і непружного деформування локальних мікрооб'ємів. Зазначимо, що незважаючи на велику гомогенність орієнтовної пластичної деформації тонкого поверхневого шару, його руйнування відбувається негомогенно. Як правило, руйнування так званих вторинних структур (ВС) [5], що утворюються з вихідного матеріалу шляхом його структурної перебудови і взаємодії із середовищем, починається і розвивається на ділянках матричного матеріалу з розвинутими недосконалотями і мікроспотвореннями, які є концентраторами напружень. Характерним є й те, що процес руйнування і відновлення ВС при треті відбувається періодично. При цьому найбільш тривалою є перша стадія – утворення сітки мікротріщин. Наступні стадії – розвиток мікротріщин, початок відшаровування і «скидання» ВС з оголенням матричного матеріалу відбуваються з наростаючим темпом. Це пов'язано з інтенсивною активізацією підповерхневих шарів, на яких починається формуватися нова плівка ВС.

Автор роботи [9] досліджував процеси зносу в умовах несталих режимів тертя, важливих, особливо, для вивчення процесу зносу деталей ЦПГ, що працюють в умовах зворотно-поступального руху, при змінних режимах роботи дизеля й в змінних умовах тертя вздовж твірної гільзи циліндра. Ним виявлено, що під час зрушення з місця відбувається розрив масляної плівки ($t = 0,1$ с) й наявний металевий контакт поверхонь ($t \approx 0,035$ с). Спостерігається різке збільшення інтенсивності зношування в період якісного збігу характеру змін мікротвердості. Виявлено, що хром у мастильному середовищі служить каталізатором створення захисних плівок. Встановлено, також взаємозв'язок між підвищенням мікротвердості поверхневого шару металу і наявністю хімічних сполук, що утворюються під час тертя.

Статистичні дослідження та досвід експлуатації дизелів ССРС залізниць в умовах роботи на ст. Знам'янка Одеської залізниці дав можливість провести розподіл відмов їх систем та елементів (рис. 1).

Як видно з діаграм, для всіх періодів роботи дизелів, їх надійність та довговічність суттєво залежить від технічних характеристик та кількості відмов циліндропоршневої групи (ЦПГ) та кривошипно-шатунного механізму (КШМ).

Деталі ЦПГ відносяться до найбільш навантажених і відповідальних деталей дизелів. Ресурс дизелів, у першу чергу, визначається надійною і довговічною роботою його основних трибосистем (ТС): «гільза циліндра – кільце» та

«вкладиш – колінчастий вал». Ці деталі знаходяться в найбільш важких умовах експлуатації і є найменш довговічними з його основних деталей. На процес зношування гільз циліндрів, поршнів, поршневих кілець, вкладишів та колінчастого валу впливає велика кількість факторів, що залежать від типу дизеля, його конструктивних особливостей, рівня форсування, застосовуваних палива й масла, підготовки обслуговуючого персоналу, кліматичної зони експлуатації та багатьох інших факторів.

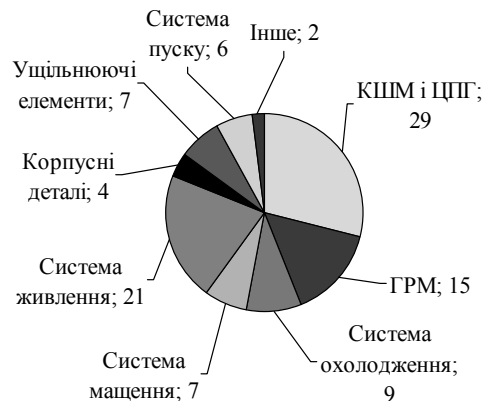


Рис. 1. Розподіл відмов систем дизелів ССРС залізниць у відсотках при експлуатації

Згідно зібраних статистичних даних, встановлено, що кількість відмов у 25...40 випадках зі 100 вибракувань гільз циліндрів дизелів відбувається через тріщини в галтелях під посадочним буртом і ресурсний знос внутрішньої поверхні, так званого «дзеркала».

Це пов'язано із цілим рядом обставин: форсуванням дизелів; відсталою технологією виготовлення і ремонту окремих деталей, зборки вузлів і дизеля в цілому; підсиленням умов експлуатації; погіршенням якості палива і масла; відсутністю високоефективних присадок до охолоджуючої рідини; низькою корозійною і кавітаційно-ерозійною стійкістю матеріалів, що використовуються; відсутністю ясності в питаннях про механізми руйнування матеріалів і покриттів.

З літературних джерел відомо, що визначення ресурсу дизелів є складним процесом. Однак, відповідальними ТС дизелів ССРС залізниць для прогнозування та визначення їх ресурсу можна вважати ТС ЦПГ та КШМ. Таке твердження справедливе, оскільки більш як 85 % ресурсних відмов припадає саме на ці системи.

Метою роботи є дослідження характеру і величини зносу ТС ЦПГ та КШМ дизелів ССРС залізниць.

Результати досліджень

На протязі 2005-2009 рр. були проведені математико-статистичні дослідження величин

зносу деталей відповідальних ТС дизелів ССРС, які показали наступні результати (рис. 2).

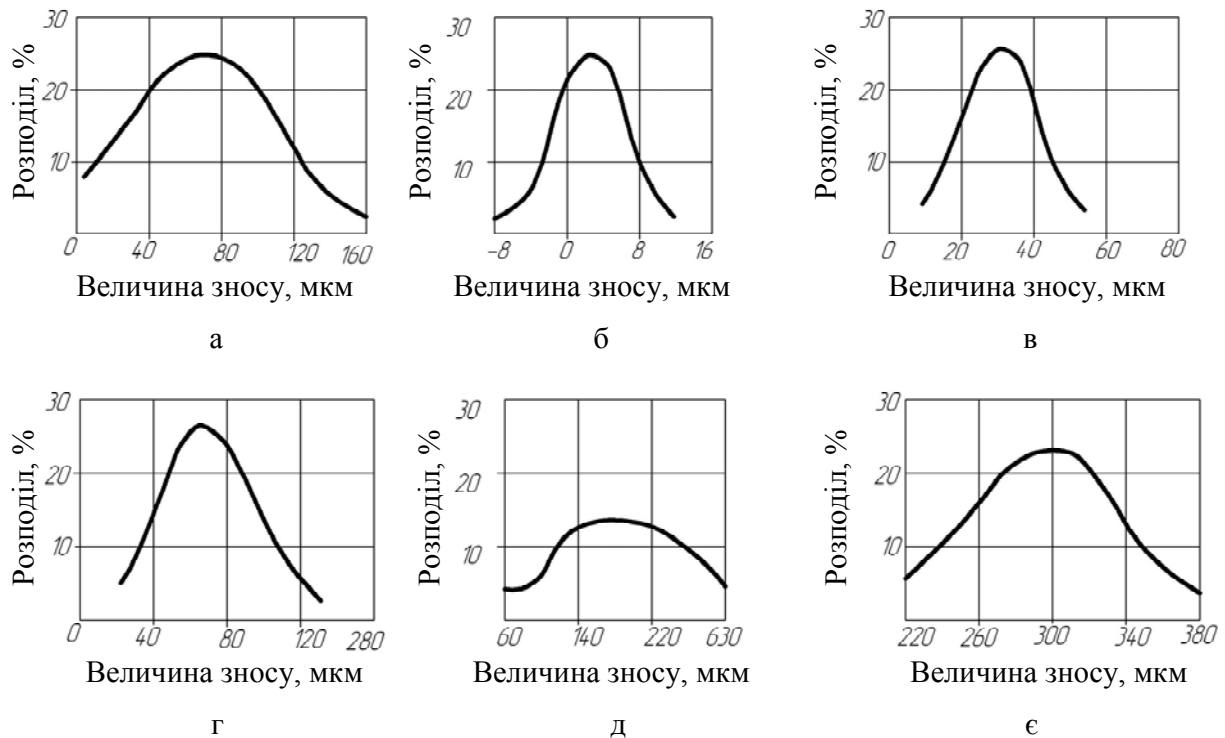


Рис. 2. Розподіл величин зносу деталей відповідальних ТС дизелів ССРС залізниць:
а – гільз циліндрів; б – маслоснімних кілець; в – корінних шийок колінчастого валу; г – шатунних шийок колінчастого валу; д – другого компресійного кільця; е – першого компресійного кільця

Дотепер немає єдиної думки серед дослідників про природу зношування гільз циліндрів дизелів. Багато авторів схильні до того, що гільза циліндра одночасно піддається молекулярно-механічному, корозійно-механічному й абразивному видам зношування. Як зазначає автор роботи, процес молекулярно-механічного зношування відбувається у верхній частині гільзи циліндра, де внаслідок недостатнього змащування, малої швидкості поршня, високих температур і тисків порушується безперервність масляної плівки, і в окремих точках виникає схоплювання поверхонь ТС. З іншого боку, високі температури поверхні гільзи циліндрів, розрив масляної плівки і теплове випромінювання процесу згоряння палива сприяє інтенсивному утворенню окисних і лакових плівок. Наявність цих плівок на поверхні тертя перешкоджає появі ювенільних поверхонь і тим самим усуває ймовірність схоплювання поверхонь ТС.

Максимальний знос має місце у верхній частині гільзи циліндрів, сильно зношується верхнє компресійне кільце і канавка під нього в поршні.

Закономірності зносу гільз циліндрів дизелів вивчені недостатньо, немає єдиного погляду про вплив теплових, кінематичних та індикаторних показників роботи дизеля на знос гільз циліндрів.

Майже всі дослідники стверджують, що гільза циліндрів є однією з напружених і відповідальних деталей дизеля, яка лімітує його напруження до КР.

В процесі експлуатації гільза зношується нерівномірно по довжині твірної, аналогічно зношуються шийки колінчастих валів. Дослідження величини середнього зносу компресійних кілець та гільз циліндрів, вкладишів та шийок колінчастих валів дизелів, що експлуатувалися на автомотрисах та дрезинах були проведені на ст. Знам'янка Одеської залізниці на протязі 2005-2009 рр., які підтвердили, що КР виконують за технічним станом останніх.

Також були проведені дослідження зносів гільз циліндрів дизелів сімейства ЯМЗ, що встановлені на ССРС залізниць різних господарств, які надали можливість встановити середню величину та інтенсивність зносу в залежності від напруження (табл. 1).

У дизелях серії ЯМЗ, що мають великий граничний знос, відбувається значна зміна макрогеометрії гільзи циліндрів в процесі експлуатації. Велика різниця в діаметрі гільзи циліндрів по своїй висоті негативно впливає на показники роботи дизеля. Зазор у замку 1-го компресійного кільця може становити декілька міліметрів. Кільце тисне на стінку гільзи циліндра нерівномірно по колу. Поблизу замку тиск кільця на стінку гільзи циліндра може бути від-

сутнім. При цьому витрати палива збільшується на 11...15 %, а витрата масла у 2,0...2,5 рази.

У момент знаходження поршня у ВМТ поршневі кільця (як верхнє, так й інші) перебувають в зоні максимального зносу і займають граничне положення, за якого зазор у замку найбільший. Епюри зносу гільз циліндрів дизелів ССРС залізниць у місці зупинки першого компресійного кільця наведено на рис. 3.

Таблиця 1

Середні величина та інтенсивність зносу гільз циліндрів дизелів ССРС

Марка дизелів	ССРС	Напрацювання, мото-год			
		1600	3200	4800	6400
ЯМЗ-236	ВІР	$\frac{0,13^*}{1,15}$	$\frac{0,29}{1,16}$	$\frac{0,44}{1,15}$	$\frac{0,72}{1,15}$
	ДГКу	$\frac{0,10}{1,11}$	$\frac{0,26}{1,12}$	$\frac{0,39}{1,11}$	$\frac{0,64}{1,12}$
ЯМЗ-238Б	АДМ	$\frac{0,05}{1,02}$	$\frac{0,12}{1,02}$	$\frac{0,18}{1,03}$	$\frac{0,28}{1,03}$
	ДГКу	$\frac{0,08}{1,07}$	$\frac{0,14}{1,09}$	$\frac{0,19}{1,08}$	$\frac{0,35}{1,09}$
ЯМЗ-238М	МІТ	$\frac{0,09}{1,08}$	$\frac{0,18}{1,09}$	$\frac{0,25}{1,10}$	$\frac{0,39}{1,09}$
	АДМ	$\frac{0,08}{1,08}$	$\frac{0,16}{1,09}$	$\frac{0,21}{1,10}$	$\frac{0,33}{1,09}$

* у чисельнику – величина зносу, мм; у знаменнику – інтенсивність зносу, мкм/1000 км.

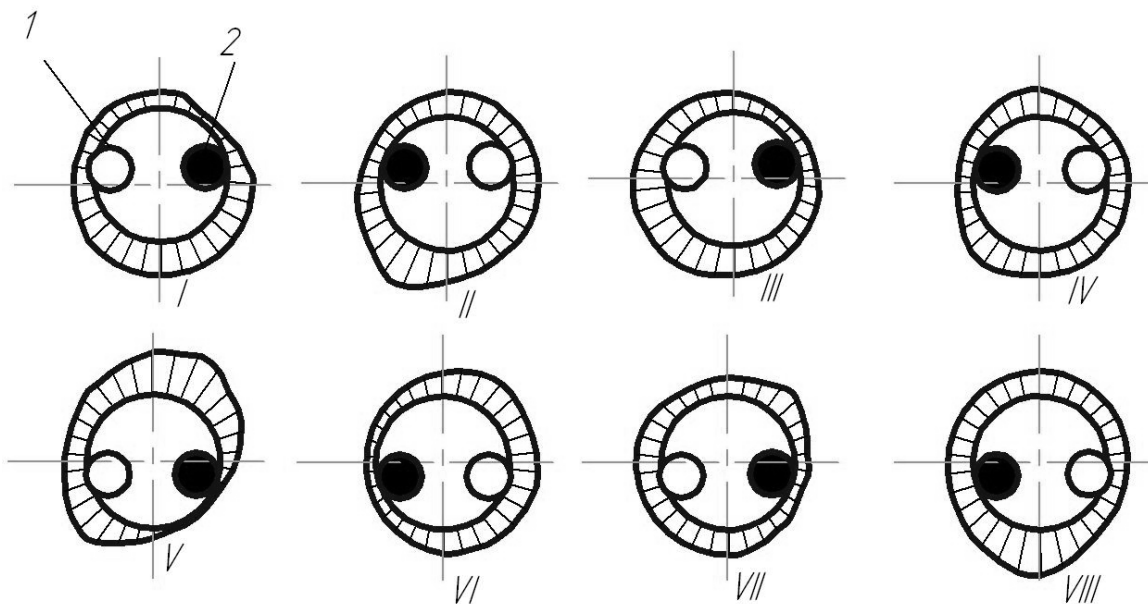


Рис. 3. Радіальний знос стінок гільз циліндрів дизелів ЯМЗ-238, що встановлені на ДГКу в місці зупинки першого компресійного кільця:
I-VIII – номери циліндрів; 1, 2 – розташування випускних та впускних клапанів

Під час руху поршня вниз поршневе кільце переміщується в зону гільзи з меншим зносом і має радіальне переміщення зі швидкістю v .

Зменшення діаметра гільзи циліндра і кривизни зовнішньої поверхні кільця викликає зменшення зазору в замку.

Тертя, що виникає між кільцем і поршнем, внаслідок тиску газів, перешкоджає коловому та радіальному рухам кільця в поршневій канавці і викликає додаткове притиснення його до гільзи, що інтенсифікує її знос та знос канавок під кільця в поршні.

Нерівномірний знос гільзи призводить до того, що робоча поверхня у верхній зоні має конічну форму і поршневе кільце або контактує тільки гранню, або перекошується і розбиває поршкову канавку. Контактуювання гранню при

лінійному контакті деталей викликає високий питомий тиск у зоні тертя, що обумовлює заїдання і захоплювання деталей.

Нерівномірний знос гільзи циліндра та шийок колінчастих валів (рис. 4, 5) викликає підвищене зношування всіх деталей ЦПГ та КШМ і різке зменшення надійності та довговічності їхньої роботи. Усунення такого характеру зносу значно покращить умови роботи деталей і підвищить надійність та довговічність дизелів ССРС у цілому.

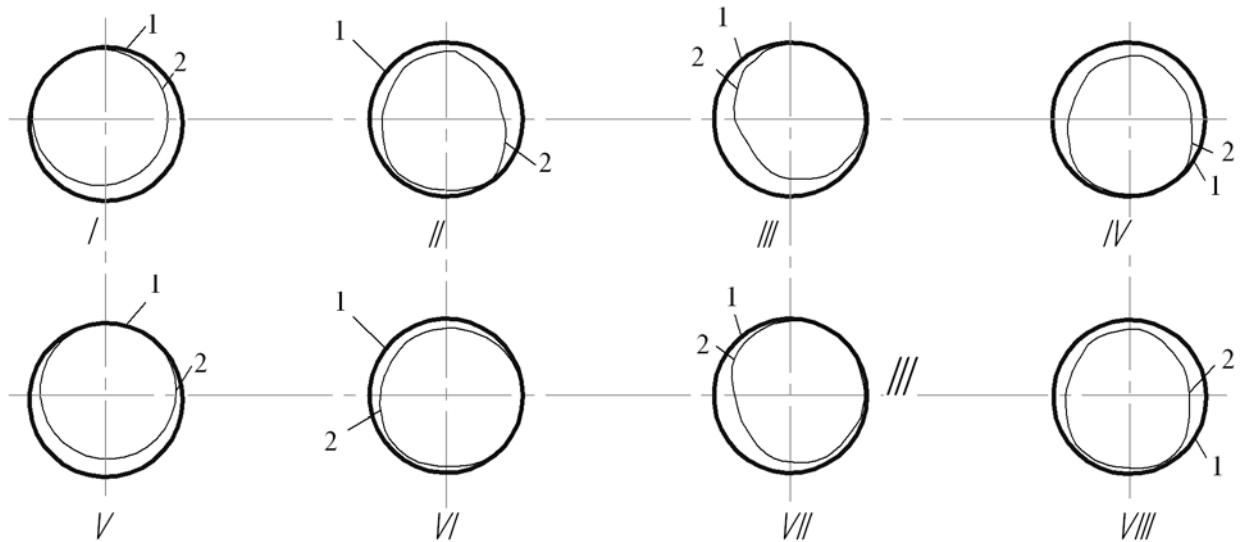


Рис. 4. Характер зносу шатунних шийок колінчастих валів дизелів ЯМЗ-238 ССРС енергогосподарств залізниць:
1 – початковий контур; 2 – при середньому напрацюванні 8400 мото-год

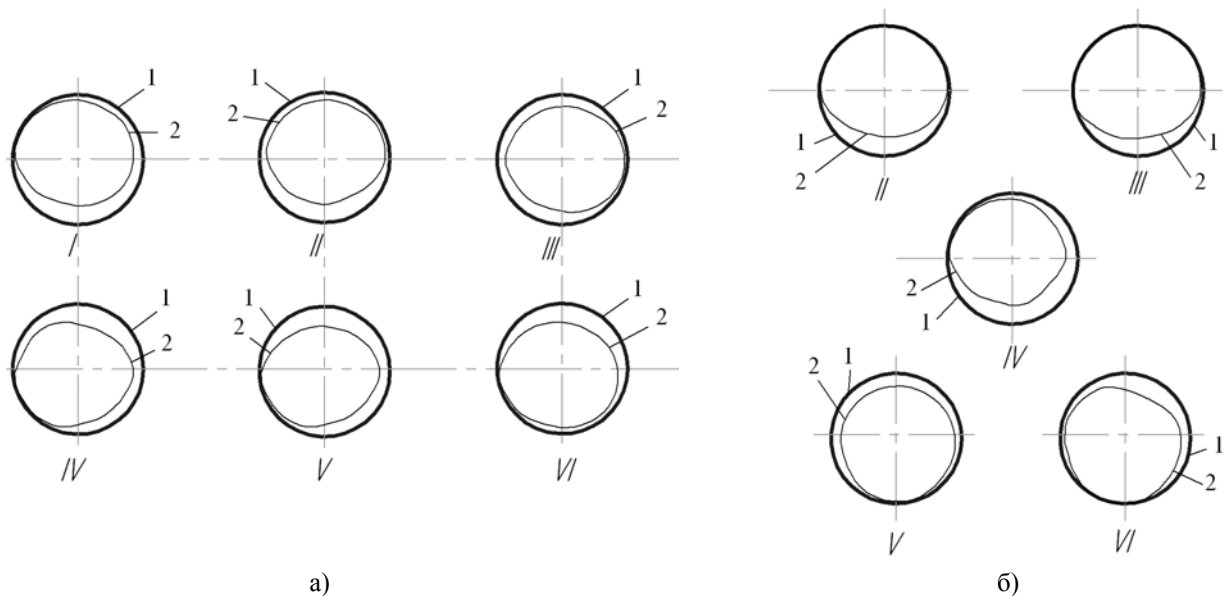


Рис. 5. Характер зносу шатунних (а) та корінних (б) шийок колінчастих валів дизелів ЯМЗ-236 ССРС енергогосподарств залізниць:
1 – початковий контур; 2 – при середньому напрацюванні 6400 мото-год

Серед факторів, що суттєво впливають на знос ТС «гільза циліндра – компресійне кільце» та «вкладиш – шийка колінчастого валу», мож-

на виділити три основні: тиск, швидкість руху і температура в кожній точці поверхні тертя. Ці фактори змінні вдовж твірної циліндра та ший-

ки валу і здійснюють відповідний вплив на їх знос. Крім того, на довговічність дизелів впливає правильна організація процесів мащення і підбір оптимального сорту масла. Сучасні масла складні за вмістом: до 30 % містять різні присадки, що забезпечують поліпшення протизносних, протизадирних, протипінних, протикорозійних, протіокислювальних та інших властивостей.

Висновки

Проведені експериментальні дослідження характеру та величини зносу відповідальних ТС ЦПГ та КШМ дизелів на діючому ССРС залізниць вказують на наступне. Характер зносу гільз циліндрів та шийок колінчастого валу негативно впливають на техніко-експлуатаційні параметри і лімітують ресурс дизелів у цілому. Величина зносу пропорційна напрацюванню дизелів, але спостерігаються випадки значних відхилень значень величини та інтенсивності зносу деталей відповідальних ТС, які впливають на встановлений ресурс дизелів до КР.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Барановський, Д. М. Проблема довговічності дизелів засобів транспорту [Текст] / Д. М. Барановський // Вісник Кременчуцького держ. політехн. ун-ту ім. М. Остроградського. – 2009. – Вип. 5/2009 (58). – Ч. 1. – С. 96-99.
2. Барановський, Д. М. Загальний підхід до оцінки та прогнозування ресурсу дизелів засобів транспорту [Текст] / Д. М. Барановський // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 4/10 (40). – С. 49-52.
3. Анілович, В. Я. Надійність машин в завданнях та прикладах [Текст] : навч. посібник / В. Я. Анілович, А. С. Грінченко, В. Л. Литвиненко; за ред. В. Я. Аніловича. – Х.: Око, 2001. – 320 с.
4. Биргер, И. А. Техническая диагностика [Текст] / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
5. Болотин, В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций [Текст] / В. В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
6. Болотин, В. В. Ресурс машин и конструкций [Текст] / В. В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1980. – 448 с.
7. Большаков, В. В. Конструкция элементов ЦПГ и расход масла на угар [Текст] / В. В. Большаков, М. А. Григорьев, С. Н. Фёдоров // Автомобильная промышленность. – 1999. – № 12. – С. 16-20.
8. Вентцель, С. В. Применение смазочных масел в ДВС [Текст] / С. В. Вентцель, Е. С. Вентцель. – М.: Химия, 1979. – 238 с.
9. Гаркунов, Д. Н. Долговечность трущихся деталей машин [Текст] / Д. Н. Гаркунов. – М., 1987. – 424 с.
10. Жулай, О. Ю. Технічний стан матеріалу гільз циліндрів ЗТ [Текст] / О. Ю. Жулай, Д. М. Барановський // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2009. – № 3/8 (39). – С. 31-34.
11. Канарчук, В. Е. Долговечность и износ двигателей при динамических режимах работы [Текст] / В. Е. Канарчук. – К.: Наук. думка, 1978. – 256 с.
12. Асташкевич, Б. М. Исследование изнашивания цилиндровых втулок и поршневых колец тепловозных дизелей [Текст] / Б. М. Асташкевич // Вестник ВНИИЖТ. – 1974. – № 3. – С. 32-37.
13. Волошкин, Н. П. Капитальный ремонт быстроходных дизелей [Текст] / Н. П. Волошкин, В. Я. Попов, И. Б. Тартаковский. – М.: Машиностроение, 1971. – 479 с.
14. Гурвич, И. Б. Износ и долговечность двигателей [Текст] / И. Б. Гурвич. – Горький: Волговятское изд-во, 1970. – 176 с.
15. Иванов, В. П. Повышение надежности и срока службы цилиндровых гильз тепловозных дизелей типа Д100 [Текст] / В. П. Иванов, В. С. Антропов, Н. М. Савин // Повышение надежности тепловозов. Тр. ЦНИИ МПС. – Вып. 504. – М.: Транспорт, 1973. – С. 22-37.
16. Ивашенко, Н. И. Влияние износа деталей цилиндропоршневой группы на внешние характеристики автотракторных двигателей [Текст] / Н. И. Ивашенко, И. М. Гульченко // Проблемы трения и изнашивания. – Вып. 6. – К.: Техника, 1974. – С. 35-40.
17. Почтенный, Е. К. Прогнозирование долговечности и диагностика усталости деталей машин [Текст] / Е. К. Почтенный. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 246 с.

Надійшла до редколегії 15.12.2010.

Прийнята до друку 20.12.2010.

О. А. НИКИФОРОВА, Ю. В. СОЛОВЬОВА (ДПТ)

ЗАСТОСУВАННЯ ФІЗІОЛОГО-ГІГІЄНИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРАЦІ ОПЕРАТОРІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Вивчено взаємозв'язок між характером і умовами роботи операторів залізничного транспорту. Встановлено, що існуючі методи професійного добору не можуть в повній мірі досягнути оцінки ступеня придатності або непридатності спеціаліста. На основі отриманих даних основних психофізіологічних характеристик функціонального стану працівників Придніпровської залізниці рекомендовано застосування комплексу фізіолого-гігієнічних досліджень, що сприятиме підвищенню безпеки руху та збереженню здоров'я людей.

Ключові слова: професійний добір, фізіолого-гігієнічні дослідження, функціональний стан, оператор

Изучена взаимосвязь между характером и условиями работы операторов железнодорожного транспорта. Установлено, что существующие методы профессионального отбора не могут в полной мере оценить степень пригодности и непригодности специалиста. На основе анализа существующих данных основных психофизиологических характеристик функционального состояния операторов рекомендовано использование комплекса физиолого-гигиенических исследований, что будет способствовать повышению безопасности и сохранению здоровья людей.

Ключевые слова: профессиональный отбор, физиолого-гигиенические исследования, функциональное состояние, оператор

The correlation between character and conditions of dispatchers' labour is studied. It is determined that existing professional selection methods can not completely estimate the degree of specialist's emotional stress. The use of physiological and hygienic investigation complex is recommended on the basis of data obtained on the main psychophysiological characteristics of railway employees' functional state. It will stipulate improving the traffic safety and health preservation. The necessity of differentiated approach to the estimation of investigation results and the use of processing the data obtained is emphasized.

Keywords: professional selection, physiological and hygienic investigations, functional state, railway dispatcher

Вступ

Провідними особливостями праці операторів є нерівномірний розподіл у перебігу зміни, тижня, місяця інформаційного навантаження та виконання роботи у нав'язаному ритмі, що викликає напруження професійно значущих фізіологічних функцій – швидкості та часу перероблення інформації, концентрації та перемикання уваги, короткочасної зорової пам'яті та передчасне, з 5...6 години зміни зниження працездатності.

Основне навантаження під час виконання операторської роботи на залізничному транспорті пов'язане з розв'язанням складних проблем та своєчасної та адекватної реакції на них. Диспетчер працює на тлі підвищеного напруження і великої особистої відповідальності за якість і безпеку руху. Він контролює значну кількість об'єктів і водночас керує ними, його професійна діяльність пов'язана з великою відповідальністю за вибір оптимального рішення в різноманітних ситуаціях, з додатковим впливом стресових чинників у разі відмови обладнання чи аварії, а організм в цей час зазнає несприятливого впливу комплексу чинників [1, 5].

Особливості розумової праці операторів можуть негативно впливати на їх стан здоров'я, зумовлюючи хронічний перебіг невротичних реакцій, високу частоту серцево-судинних скорочень і нервових захворювань, знижуючи загальну працездатність. Професійно значущими є психічні, фізіологічні та фізичні якості людини, тож потрібно брати до уваги цілісність організму й принципи його саморегуляції у зв'язку із сукупною дією абіотичних, біотичних та соціальних чинників.

Удосконалити підходи до оцінки умов праці операторів можна за рахунок уточнення принципів професійного добору і введення ймовірної оцінки ступеня придатності/непридатності до професійної діяльності лише з врахуванням специфіки роботи та впливу умов праці на конкретну людину. Щоб оцінити їх вплив потрібно проводити комплексні дослідження, зокрема із застосуванням фізіолого-гігієнічних методів.

Матеріал і методи досліджень

Дослідження проводилися на працівниках операторського типу роботи (диспетчери, чергові по станціях) ($n = 61$) Придніпровської залі-

зниці. Для оцінки стану серцево-судинної системи вивчали показники артеріального тиску (АТ) та частоти серцевих скорочень (ЧСС) [4].

Розумова працездатність та стан формування психофізіологічних функцій працівників оцінювалися із використанням автоматизованої методики «Інтест», розробленої Козак Л. М. і Єлізаровим В. А. [3] Основним завданням цієї системи є визначення характеристик психічних функцій: сприйняття, уваги, пам'яті і мислення.

Результати та їх обговорення

Експертні питання щодо професійної придатності є особливо складними у зв'язку з проблемою керування надійності людини за рахунок вибору і визначення всіх впливів на об'єкт. Саме для дослідження працездатності використовують показники функціонального стану (ФС) організму, характеризуючи потенційні можливості людини виконувати той чи інший вид професійної діяльності. Реакції поведінки мотивуються потребами організму, при цьому формуються функціональні системи, що як динамічний комплекс різних органів і систем призначені для досягнення пристосувального, тобто корисного, результату. Функціональні зміни, що відбуваються в організмі, відбиваються не тільки в змінах вегетативних процесів, а й у динаміці змін характеристик центральної нервової системи (ЦНС) [8].

Умови професійної діяльності диспетчерів вимагають наявності важливих психофізіологічних якостей: швидкості реакції, уваги, пам'яті, емоційної та стресової стійкості, здатності підтримувати працездатність в умовах нервово-емоційного напруження, – а отже проведення професійного добору, що дає змогу підвищити безпеку руху та прогнозувати успішність подальшої професійної діяльності. Вхідна психофізіологічна експертиза проводиться на основі оцінки неспецифічних професійно важливих якостей людини, які допомагають праці за професією. Засоби і методи оцінювання мають бути достатніми для того, щоб констатувати профпридатність. Наприклад, хоча швидкість переключення й розподілу уваги можна тренувати на 7...18 % [3, 5], на роботу диспетчерами й черговими по станції, для кого ці якості є умовою успішної і безпечної професійної діяльності, слід добирати осіб з високим базовим рівнем цих функцій. Одним з перших задач фізіолого-гігієнічних досліджень є раціоналізація роботи диспетчера та чергових по станціях біля пультів керування. Досліджуючи ФС, вивчають

ті фізіологічні характеристики діяльності відділів ЦНС та ВНС, серцево-судинної, рухової та інших систем організму, які можна реєструвати. Основні вимоги дослідження ФС працівника – достатня інформативність і адекватність до тих змін, виникнення яких можна очікувати під час роботи, простота виконання та мінімальне відволікання робітника від роботи.

Методи оцінювання фізіологічних зрушень в організмі працівників залізниці обрано відповідно до мети дослідження, а також того, що керування рухом потягів йде безперервно і без заданого алгоритму. Тобто підхід, за якого про розвиток втомі свідчить зниження продуктивності та якості виконання роботи, а працездатність оцінюють за якістю розв'язаних за певний час завдань (кількісний показник) і за кількістю помилок (якісний показник), не міг бути застосований впродовж зміни [2, 4]. Для визначення важкості і напруженості праці фізіологічні показники оцінювали за зміною сенсомоторних реакцій наприкінці робочої зміни, порівнюючи їх з вихідним рівнем на початку роботи.

Але до поняття норми у працівників операторського типу входять не тільки середні значення, які характеризують певну їх фізіологічну функцію і закономірно змінюються у процесі трудової діяльності. Зміни працездатності супроводжуються не лише зниженням певних функцій організму, а й можливості довгий час підтримувати їх на оптимальному рівні. Виходячи з цього, результати динамічних спостережень за розумовою працездатністю диспетчерів та чергових по станціях, на початку і наприкінці зміни, порівнювали з даними про ФС серцево-судинної системи, що дало змогу одержати повніше уявлення про розвиток втомі і визначити напрямки її уповільнення. Те, що розумову працездатність досліджували безпосередньо на робочому місці з найбільшим навантаженням, у динаміці та в однакових умовах виробничого середовища, дало змогу порівняти й узагальнити одержані дані. В результаті досліджень за методикою «Інтест» у працівників зі стажем більше 5 років не виявили прямих кореляційних зв'язків між віком/стажем та розумовою працездатністю. Можливо це пов'язано з тим, що досвід роботи, відпрацювання індивідуального стилю діяльності диспетчерів та чергових по станціях дають їм змогу досить ефективно компенсувати вікові зміни психофізіологічних показників уваги, оперативної пам'яті, рухливості нервових процесів [9]. У робітників зі стажем до 5 років показники концентрації та перемикання уваги достовірно знижувались (на

10...18 % при $p < 0,05$) на фоні стабільності інших досліджуваних характеристик, які визначають розумову діяльність операторів. Це, скоріш за все, пов'язано з станом тривалої втоми та емоційного перевантаження.

У дослідженнях брали також до уваги те, що успішне виконання операторської діяльності залежить не тільки від стану здоров'я працівників, а й від стосунків у колективі, сприйняття умов зовнішнього середовища, організації трудового процесу. З метою їхнього дослідження застосували анкетування за методом Л. Г. Горшеніна [6]. Аналіз анкет виявив, що у диспетчерів наявні підвищення напруженості та емоційне навантаження під час роботи (49% опитаних), а також окремі прояви невротичних розладів (табл. 1).

Таблиця 1

Прояви психоневрологічних станів у опитаних диспетчерів Придніпровської залізниці

Тип реакції	Питома вага, %
Почуття головного болю	$54,34 \pm 0,02^*$
Порушення сну	$18,11 \pm 0,9$
Агресивність	$14,47 \pm 0,05^*$
Депресія	$10,13 \pm 0,06^*$
Плаксивість	$2,95 \pm 0,11$

Примітка: * – $p < 0,05$.

Така картина підтвердила актуальність проблеми стресу, що зумовлене його великим значенням у виникненні як психічної так і психосоматичної патології.

Система кровообігу з її нейрогуморальним апаратом керування і саморегуляції реагує на найменші зміни потреб органів і систем та забезпечує узгодження кровообігу в них з необхідними параметрами на рівні організму. Усе це дає підстави розглядати інтегральні показники гемодинаміки як універсальні показники адаптаційно-приспосувальної діяльності організму і за напрямком їх змін прогнозувати параметри ФС.

Водночас упродовж доби артеріальний тиск значно змінюється як у здорових людей, так і у хворих з артеріальною гіпертензією з багатьох причин (фізична активність, психоемоційні чинники тощо). Певною мірою на АТ впливає спадковість, що моделює добові ритми й в здорових. Але АТ змінюється протягом доби не тільки повільно й плавно у два періоди (циркадний ритм), а й за короткі проміжки часу випадково (від кількох хвилин до годин). Ці випад-

кові зміни визначають варіабельність АТ (ВАТ).

ВАТ визначається як стандартне відхилення від середнього значення за певний проміжок часу (доба, день, ніч). Загальноприйнятих нормативів для середніх значень АТ, його індексів у разі моніторингу немає. Їх розробляють нині в багатьох країнах. Дослідники користуються тимчасовими орієнтовними значеннями параметрів добового моніторованого АТ, котрі встановлено на підставі аналізу великої кількості досліджень в осіб різного віку з нормотензією.

Сьогодні критичним рівнем АТ, згідно з рекомендаціями більшості європейських дослідників [2, 5], вважають значення 140/90 мм рт. ст. вдень і 120/70 мм рт. ст. вночі.

Важливість вивчення цих показників зумовлена тим, що в операторів простежується чітка залежність патології серцево-судинної системи (ССС) від впливу виробничих чинників. У працівників розумової праці конкретними видами патології, що відбивають вплив перенапруження, можуть бути гіпертонія, ішемічна хвороба серця, атеросклероз різних стадій. Захворювання нервової та СССР не є специфічними для напруженої розумової праці: вони можуть розвинути і під впливом інших чинників, не пов'язаних з роботою. Але оскільки напружена праця збільшує частоту і виразність цих захворювань, їх потрібно вважати зумовленими виробничою діяльністю за наявності високого ступеня напруженості в процесі роботи, тривалого стажу [5].

Досліджуючи АТ працівників Придніпровської залізниці із використанням тимчасових орієнтовних значень параметрів добового моніторованого АТ, виявили, що в динаміці робочої зміни відзначалося статистично достовірне збільшення систолічного АТ на 4...7 мм рт. ст. (при $p < 0,05$), діастолічного АТ на 4...18 мм рт. ст. (при $p < 0,05$) і виразну тенденцію до зниження частоти серцевих скорочень на 5...13 уд. за 1 хвилину порівняно з показниками на першій годині роботи. Нехарактерне підвищення АТ вночі, зниження ЧСС наприкінці роботи можуть бути наслідком поєднання впливу розумової втоми на тлі психоемоційного напруження і гіпокінезії (робота у вимушеній позі до 90 % тривалості зміни), що узгоджується з даними про те, що у нічних 12-годинних змінах підтримання розумової працездатності на супроводжується відповідним підвищенням рівня психофізіологічних показників [7]. Така картина

свідчить, на нашу думку, про суттєве емоційно-розумове перевантаження організму в цілому.

Отже розв'язання задач стосовно профпридатності під час виконання службових обов'язків стає особливо складним і актуальним, що частково пов'язане з потребою перегляду нормативних актів, які визначають критерії професійного добору на залізничному транспорті. Більш того, є природним, що при 12-годинних змінних графіках зміни ФС працівників операторського типу будуть значно вираженими, ніж при 8-годинних змінах. Тож удосконалення фізіолого-гігієнічного нормування, особливо змінної та нічної праці, вимагає комплексних досліджень, що охоплювали б якомога більшу кількість чинників впливу на організм працівників, з урахуванням індивідуальних відмінностей.

Висновки

Профілактична спрямованість розв'язання проблеми розвитку різноманітних функціональних порушень в організмі операторів передбачає запобігання впливові несприятливих чинників середовища, використання науково – обґрунтованої нормативної бази і принципу гігієнічного нормування потенційних небезпек виробничого середовища, зважаючи на те, що повної відсутності ризику не буває. Основними шляхами реалізації цього напрямку є підхід, який передбачає засоби індивідуального і колективного захисту, спеціальні тренування і навчання, розвиток професійно важливих якостей, а також використання методів підвищення стійкості до несприятливих чинників, корекції, відновлення та реабілітації. Основною ідеєю підтримання працездатності та продовження трудового процесу є переорієнтація від діагностики переходу здорової людини у хвору – до контролю психофізіологічних резервів організму й професійного здоров'я. Основою підтримання оптимального ФС людини повинен стати цикл «напруження – втома – відновлення», який є універсальним механізмом саморегуляції, зумовлюючи стабільний рівень працездатності та ступінь професійної стійкості. При цьому критерієм оцінки ФС повинні стати фізіолого-гігієнічні дослідження.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Буров, А. Ю. Автоматизированный предметный контроль работоспособности операторов предприятий [Текст] / А. Ю. Буров // Механизация и автоматизация управления. – 1999. – № 2. – С. 36-38.

2. Кальниш, В. П. Психологические-социальные и экономические аспекты профессионального отбора [Текст] / В. П. Кальниш, А. Л. Ена // Охрана труда. – 2002. – № 11. – С. 7-9.
3. Козак, Л. М. Автоматизированная система определения характеристик интеллектуальной и эмоциональной составляющих психического статуса здоровья человека [Текст] / Л. М. Козак, В. А. Елизаров // Укр. журн. мед. техніки і технології. – 1995. – № 3. – С. 59-66.
4. Ляшенко, В. П. Вегетативна нервова система [Текст] : навч. посібник / В. П. Ляшенко, І. В. Дрегваль. – Д.: Вид-во ДНУ, 2005. – 132 с.
5. Псядло, Э. М. Психофизиологический отбор лиц операторских профессий на транспорте [Текст] / Э. М. Псядло // Информационно-управляющие системы на транспорте. – 1998. – № 3. – С. 26-31.
6. Горшенин, Л. Г. Современные тенденции в теории и практике гигиенического регламентирования [Текст] / Л. Г. Горшенин // Матеріали XII з'їзду гігієністів України (Дніпропетровськ, 19-21 трав. 2004 р.). – К., 2004. – Т. 2. – С. 50-54.
7. Чернюк, В. И. Проблемы физиолого-гигиенического нормирования при сменном и ночном труде / В. И. Чернюк, О. М. Бобко [Текст] // Матеріали XII з'їзду гігієністів України (Дніпропетровськ, 19-21 трав. 2004 р.). – К., 2004. – Т. 2. – С. 168-170.
8. Chetvernya, Y., 2007 Accident Prevention in the Electricity Power Industry: Psychophysiological Approach [Text] / Y. Chetvernya // «From Experience to Innovation – IEA'97» : proc. of the 13th Triennial Congress of the Int'l Ergonomics Association (Tampere, Finland, June 29 - July 4, 2007); ed. P. Seppala [et al.]. – Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki. – Vol. 3. – P. 135-137.
9. Kravchuk, V. V. Psychophysiological Aspects of a Macroergonomic Approach to the Design of Complex Technological Systems (an Example of the Power Industry) [Text] / V. V. Kravchuk // «Ergonomics for the New Millennium» : proc. of the XIVth Triennial Congress of the Int'l Ergonomics Association and 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society (San Diego, California, USA, July 29 - August 4, 2000). – Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, California, USA. – 2000. – Vol. 2. – P. 735-738.

Надійшла до редколегії 18.01.2011.

Прийнята до друку 24.01.2011.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ

Розглянуто теоретичні основи моделювання технології доставки вантажу на основі визначення залежності затрат від часу доставки вантажів.

Ключові слова: математичне моделювання, доставка вантажу, залізничний транспорт, векторна оптимізація

В статье предложены теоретические основы моделирования технологии доставки груза на основе определения зависимости затрат от времени доставки грузов.

Ключевые слова: математическое моделирование, доставка груза, железнодорожный транспорт, векторная оптимизация

In the article the theoretical bases of modeling a technology of cargo transportation on the basis of determining the dependence of expenses on cargo transportation time are suggested.

Keywords: mathematical modeling, cargo transportation, railway transport, vector optimization

Вступление

Транспорт является одной из важнейших отраслей народного хозяйства, которая обеспечивает потребности населения во всех видах перевозок.

Железнодорожный транспорт Украины имеет важное значение в реализации социально-значимых услуг по перевозке. На долю железнодорожного транспорта приходится наибольшие объемы перевозок в связи с бесперебойной работой на протяжении всего года, а также возможностью отправить большую массу груза.

Качество транспортного обслуживания является одним из факторов, что определяет результативность рыночной деятельности предприятий. К показателям качества на железнодорожном транспорте относятся безопасность движения, регулярность и своевременность перевозок, сохранность количества и качества продукции, которая перевозится, скорость перевозки и сроки доставки. Последний, в условиях рыночной экономики, рассматривается как один из важнейших показателей, определяющий качество работы отрасли.

На железнодорожном транспорте нормативный срок доставки груза устанавливается требованиями Правил перевозок грузов, при этом реальные нормативные сроки не учитывают особенности технологии перевозок, что заранее не позволяет железным дорогам придерживаться этих сроков. В тоже время согласно Уставу железнодорожного транспорта грузополучателям выплачиваются штрафы за несвоевременную доставку. Среднее время просрочки за по-

следнее время превышает 8 суток. Это означает, что из отправок, не доставленных в срок, примерно половина перевезена железной дорогой бесплатно. Исследования оптимизация срока доставки груза были описаны в работе [1], которые показали, что для обеспечения высокого уровня надежности перевозок с учетом интересов железных дорог нормативные сроки доставки необходимо увеличить.

В последнее время на рынке перевозок усиливается конкуренция железнодорожного транспорта с автомобильным транспортом, т.к. автотранспорт имеет ряд преимуществ:

- доставка груза производится от «двери до двери», что технически невозможно на железнодорожном транспорте;

- используется гибкая система тарифов, на железнодорожном транспорте же есть привязка к тарифам, которые установлены на государственном уровне;

- может обеспечить доставку точно в срок, что не может сделать железнодорожный транспорт, поскольку перевозки выполняются согласно плану формирования грузовых поездов.

Анализ грузовых перевозок показал, что объемы, перевозимые автотранспортом, растут, также как и дальность перевозки. Железнодорожный транспорт теряет объемы перевозки грузов на короткие расстояния, на его долю остаются перевозки массовых грузов на большие расстояния [2].

В современных условиях, когда железнодорожному транспорту приходится конкурировать с другими видами транспорта, скорость доставки грузов является определяющим кри-

териум качества обслуживания. В работе [3] было разработано математическую модель ускорения доставки грузов с векторным показателем эффективности, решена задача относительно расчета дополнительной платы за ускоренную доставку с помощью метода векторной оптимизации.

Для завоевания наиболее выгодных позиций на транспортном рынке железной дороге необходимо отказаться от месячного планирования и перейти на непрерывный прием заявок на перевозку, а также повысить качество транспортного обслуживания клиентов.

Постановка задачи

Автоматизированные системы управления на транспорте создают принципиально новые возможности для управления перевозками, с учетом фактической дислокации вагонов и условий их подвода к станции. Высокий уровень точности вагонных моделей железных дорог позволяет прогнозировать варианты передвижения подвижного состава и спрогнозировать время доставки груза. На основании этих прогнозов грузоотправителю может быть предоставлена возможность «заказа» скорости доставки и маршрута пропуска вагона с грузом. План формирования должен гибко реагировать на спрос, что позволит существенно повысить доходы.

Очевидно, что задача определения зависимости затрат от времени доставки является актуальной, поэтому для рассмотрения предлагается теоретические основы моделирования процесса доставки грузов.

Основной материал

Пусть весь процесс доставки груза заданного объема разбит на несколько подпроцессов, которые будем называть фазами и обозначать ω . Для каждого объема перевозок количество фаз считаем заданным. Рассматривая некоторую фазу ω_i , $i = \overline{1, M}$, можем указать вполне определенный набор операций в данной фазе $\sigma_{i\vartheta}$, $\vartheta = \overline{1, \dots, m_i}$, причем реализация операции $\sigma_{i\vartheta}$ характеризуется затратами времени $t_{i\vartheta}$ и средств $c_{i\vartheta}$.

Естественно, возникает задача выбора операций в каждой фазе, так чтобы суммарные затраты времени и средств были бы как можно меньше.

Пусть $\gamma = [\sigma_{1\vartheta_1}, \sigma_{2\vartheta_2}, \dots, \sigma_{i\vartheta_i}, \dots, \sigma_{k\vartheta_M}]$, перечень операций, которые выполняются при доставке груза, такой перечень будем называть траекторией доставки.

В общем случае таких траекторий будет

$$n = \prod_{i=1}^M m_i.$$

А набор всех траекторий обозначим символом Γ , тогда если $\gamma \in \Gamma$, то можно сопоставить траектории γ два числа $t(\gamma)$ – время доставки и $c(\gamma)$ – затраты средств. И задаче выбора операций в каждой фазе можно придать формулировку

$$\begin{pmatrix} t(\gamma) \\ c(\gamma) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (1)$$

при условии $\gamma \in \Gamma$.

Данная задача представляет собой задачу векторной оптимизации [4].

Остановимся более подробно над тем, что будем понимать под решением задачи векторной оптимизации (1).

Определение 1. Траекторию $\gamma \in \Gamma$ будем называть эффективной, если любое отклонение от нее приводит к ухудшению одного показателя и улучшению другого.

В нашем случае последнее означает, что может увеличиться время доставки, но зато уменьшается затраты средств.

Определение 2. Две траектории γ_1 и $\gamma_2 \in \Gamma$ называются несравнимыми, если имеет место

$$\begin{pmatrix} t(\gamma_1) \leq t(\gamma_2) \\ c(\gamma_1) \geq c(\gamma_2) \end{pmatrix} \text{ или } \begin{pmatrix} t(\gamma_1) \geq t(\gamma_2) \\ c(\gamma_1) \leq c(\gamma_2) \end{pmatrix}.$$

Причем, среди неравенств обязательно хотя бы одно должно быть строгим неравенством.

Определение 3. Множество траекторий $\Gamma_* \subseteq \Gamma$ будем называть решением задачи векторной оптимизации (1), если любая траектория $\gamma_* \in \Gamma_*$ является эффективной, а любая пара траекторий из Γ_* являются несравнимыми.

Таким образом, зная множество Γ_* , можно построить зависимость затрат от времени доставки, как показано на рис. 1.

Данная зависимость позволяет принимать решения в тех или иных обстоятельствах.

Так, например, если зададимся временем доставки t_* , то получим соответствующие за-

траты средств. Если таких средств нет, а располагаем $c_1 < c_*$, то получим $t_1 > t_*$.

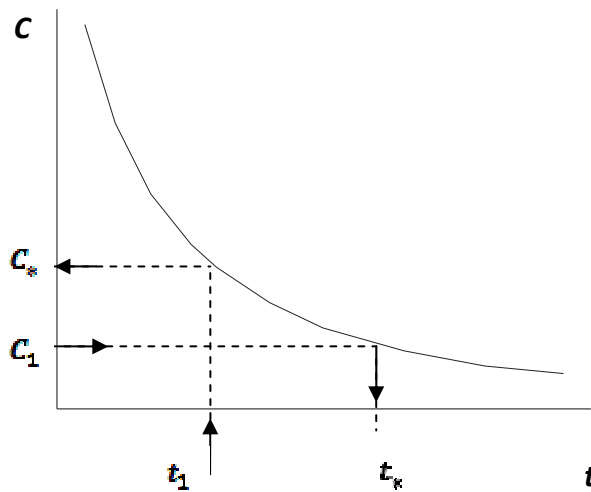


Рис. 1. Качественный характер зависимости затрат от времени доставки

Для примера рассматривается процесс из 5 фаз. В каждой фазе операций различное число $m_1 = 3; m_2 = 2; m_3 = 5; m_4 = 1; m_5 = 4$. Данную информацию определили как вектор вариантов операций по фазам в виде $N := [3, 2, 5, 1, 4]$.

Затраты средств отразим в виде следующей матрицы:

$$c := \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 0 & 0 \\ 4 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 8 & 10 & 20 & 50 \\ 17 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 5 & 9 & 15 & 0 \end{pmatrix},$$

а затраты времени покажем следующим образом:

$$t := \begin{pmatrix} 10 & 6 & 5 & 0 & 0 \\ 4 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 5 & 4 & 3 & 2,5 \\ 1,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 2,5 & 2,1 & 1,5 & 0 \end{pmatrix}.$$

Решив задачу (1) для выписанных исходных данных, получим следующие траектории работ:

$$\gamma_1 = [\omega_{11}, \omega_{21}, \omega_{31}, \omega_{41}, \omega_{51}]$$

$$\gamma_2 = [\omega_{12}, \omega_{21}, \omega_{31}, \omega_{41}, \omega_{51}]$$

$$\gamma_3 = [\omega_{12}, \omega_{22}, \omega_{31}, \omega_{41}, \omega_{51}]$$

$$\gamma_4 = [\omega_{13}, \omega_{22}, \omega_{33}, \omega_{41}, \omega_{51}]$$

$$\gamma_5 = [\omega_{13}, \omega_{22}, \omega_{33}, \omega_{41}, \omega_{52}]$$

$$\gamma_6 = [\omega_{13}, \omega_{22}, \omega_{34}, \omega_{41}, \omega_{54}]$$

$$\gamma_7 = [\omega_{13}, \omega_{22}, \omega_{35}, \omega_{41}, \omega_{54}]$$

Эти траектории составляют множество Γ_* , а отображение множества Γ_* в пространство функционалов $[c(\gamma), t(\gamma)]$ представлено на рис. 2.

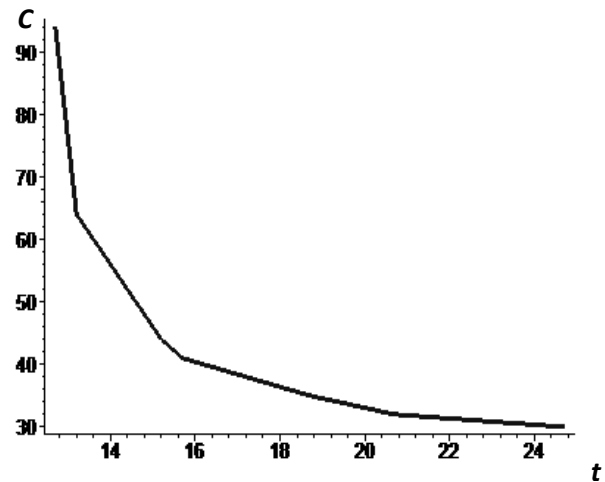


Рис. 2. Зависимость затрат средств от времени доставки

Зависимость, показанная на рис. 2, отображает прямые затраты, т.е. затраты, связанные с производством определенного вида продукции и прямо относимые на ее себестоимость. Прямые затраты на железнодорожном транспорте являются эксплуатационные расходы, так как железнодорожный транспорт представляет собой особую отрасль материального производства, продукция которой не имеет новой вещественной формы. Проще говоря, продукцией транспорта являются перевозки, плата за которые берется согласно тарифу на железнодорожные перевозки. На сегодняшний день они устанавливаются в порядке, который определяет государственные органы власти. В качестве базового тарифа была принята средняя для всех железных дорог себестоимость перевозок. Хотя затраты по перевозке грузов различаются по участкам дорог и зависят от профиля пути, вида используемых локомотивов, грузонапряженности участка и от многих других факторов.

Поэтому предлагается, определив прямые расходы, связанные с грузовыми перевозками для отдельных участков и установив зависимость этих расходов от времени доставки, составлять тариф, который можно определить следующим образом:

$$T = C \cdot (1 + \alpha).$$

Величина α должна быть определена для каждой пары пунктов доставки, так чтобы кривая зависимости тарифов от времени доставки была бы не более чем у конкурентного вида транспорта.

Выводы

Существующая система нормирования сроков доставки грузов несовершенна. Если не принять срочные меры к прекращению нарушений договоров на перевозку грузов, то железнодорожный транспорт будет перевозить грузы бесплатно.

Данная методика предоставляет возможность грузоотправителю заказать срок доставки согласно своим финансовым возможностям, что приведет к повышению рентабельности железнодорожных перевозок и снижению количества несвоевременных доставок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яновський, П. О. Дослідження оптимізації терміну доставки вантажів [Текст] / П. О. Янов-

- ський // Заліз. трансп. України. – 2003. – № 4. – С. 17-19.
2. Ейтутіс, Д. Г. Вплив науково-технічного прогресу на ринок вантажних перевезень [Текст] / Д. Г. Ейтутіс // Заліз. трансп. України. – 2007. – № 4. – С. 92-93.
3. Левицький, І. Ю. Удосконалення технології прискорення доставки вантажів на залізницях України в умовах транспортних послуг [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / І. Ю. Левицький; Дніпропетр. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2004. – 20 с.
4. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход [Текст] / В. Д. Ногин. – М.: Физматлит, 2002. – 144 с.
5. Матросов, А. В. Решение задач высшей математики и механики [Текст] / А. В. Матросов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 528 с.
6. Анненков, А. В. Информационные технологии перевозок грузов [Текст] / А. В. Анненков, В. А. Шаров // Ж/д трансп. – 1998. – № 4. – С. 27-29.

Поступила в редколлегию 10.12.2010.

Принята к печати 14.12.2010.

Д. С. БІЛУХІН (ДПТ)

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ КІЛ ЕЛЕКТРОВОЗА

Пропонується математична модель для дослідження системи автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електровоза з генераторним джерелом живлення.

Ключові слова: математична модель, автоматичне регулювання напруги, автоколивання

Предлагается математическая модель для исследования системы автоматического регулирования напряжения низковольтных цепей электровоза с генераторным источником питания.

Ключевые слова: математическая модель, автоматическое регулирование напряжения, автоколебания

A mathematical model for research of the system of automatic voltage control of low-voltage circuits of electric locomotive with the generator power source supply is offered.

Keywords: mathematical model, automatic voltage control, natural vibrations

Вступ

На цей час на залізницях України гострою залишається проблема критичного стану електрорухомого складу, термін служби 70 % якого складає 30 років та більше. Утримання такого рухомого складу приводить до перевищення нормативних ремонтних витрат більш ніж в два рази і негативно позначається на рентабельності залізничних перевезень. Критичний стан склався з вантажним парком електровозів постійного струму, основою якого є електровози ВЛ8 в кількості 515 одиниць з 759. Для рішення проблеми тягового забезпечення підприємства Укрзалізниці виконують капітально-відновлювальні ремонти електрорухомого складу для продовження їх терміну служби до 15...20 років. Щоб отримати найбільший ефект від витрат на капітально-відновні ремонти, до них доцільно приурочити модернізацію деталей і вузлів електрорухомого складу, перш за все таких, модернізація яких не вимагає великих капітальних вкладень, але дозволяє знизити експлуатаційні витрати на утримання електрорухомого складу. Одним з таких вузлів є морально і фізично застаріла система автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл електрорухомого складу (ЕРС) постійного струму, зокрема електровозів ВЛ8.

Проведені дослідження [1] показали, що реальний діапазон можливих середніх значень напруги живлення кіл управління при номінальному значенні 50 В знаходиться в межах від 35 до 80 В, що значно перевищує нормовані допуски параметрів. Цей фактор змушує розроблювачів блоків живлення для електронних вузлів вводити апаратну надмірність, напри-

клад за допомогою використання громіздких та матеріалоємних фільтрів, найчастіше неоптимальних за параметрами, доповнювати схеми складними стабілізаторами напруги, захистами та ін. Вказане виправдано при одиничних модернізаціях. При масштабних впровадженнях нової апаратури на основі сучасної напівпровідникової бази більш надійний шлях – створення стабільного й надійного джерела живлення низьковольтних кіл.

Система живлення електровозів постійного струму складається із трьох основних вузлів: генератор постійного струму, акумуляторна батарея, вузол управління на основі регулятора напруги того або іншого типу. За підтримкою стабільного значення напруги стежить вузол управління, що на даний момент є й менш надійним з перерахованих вузлів. Сучасна елементна база дозволяє виконати розробку нових вузлів управління з високими експлуатаційними показниками. При цьому принцип роботи зберігається. Тобто, після запуску генератора на його затисках встановлюються автоколивання в області заданого середнього значення напруги живлення.

Мета роботи

Розробити математичну модель системи автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл ЕРС для дослідження можливості одержання автоколивань в системі автоматичного регулювання напруги (САРН) кіл управління ЕРС постійного струму при використанні регуляторів на основі сучасних напівпровідникових елементів.

Матеріали дослідів

На цей час, у промислових установках набули широкого застосування силові ключові елементи на основі біполярних і польових транзисторів з ізольованим затвором (IGBT й MOSFET). Повна керованість цих приладів дозволяє виключити із силових схем перетворювачів пристрої з примусовою комутацією, кола виводу приладу в робочий режим і повернутися до схем перетворення в їх найпростішому класичному вигляді. Високі динамічні характеристики таких приладів дозволяють їх розглядати як ідеальні керовані ключові прилади. Достоїнства таких ключових приладів у сполученні із сучасними мікроконтролерами можна використати для заміни застарілих моделей регуляторів напруги.

Для оцінки можливості застосування сучасних напівпровідникових приладів пропонується схема регулювання напруги кіл управління, яка показана на рис. 1. Складається з наступних функціональних вузлів: вузол керування на основі мікроконтролера й силового ключа. На пристрій порівняння поступає сигнал зворотного зв'язку – напруги на навантаженні $u_n(t)$ та опорна напруга $U_{оп}$ та формується сигнал розузгодження $u_p(t)$. Формувач керуючого впливу в виробляє імпульсну напругу $u_3(t)$ на обмотку збудження генератора по одній з типових релейних характеристик. Як було показано в [2], навантаження має активно-індуктивний характер та для низьковольтних кіл динамічні параметри знаходяться в широких межах.

Подача керуючого впливу на обмотку збудження залежить від обраного способу управління. Всі відомі способи управління ключовими перетворювачами діляться на три основних групи: способи із запрограмованою заздалегідь послідовністю перемикавання, синхронізовані способи зі зворотними зв'язками, асинхронні способи. Програмний спосіб не дозволяє одержати стабільну напругу на виході. Синхронізовані способи, основою яких служить широтно-імпульсна модуляція, вимагають ускладнення алгоритмів програм і введення додаткових зв'язків. При асинхронних способах управління сигнал, пропорційний вихідній напрузі віднімається з заданого й при перевищенні по модулю заданого рівня здійснюється перемикавання силового ключа. При цьому спостерігається достатньо прискорений перехідний процес на відміну від широтно-імпульсних систем, де для

цього потрібно декілька тактів. Асинхронний принцип здійснюється релейними системами, які перебувають в автоколивальному режимі.

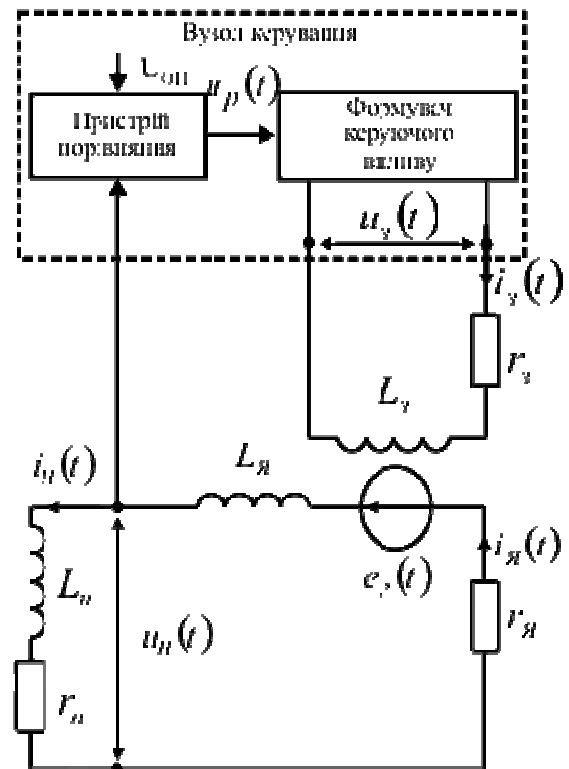


Рис. 1. Схема регулювання напруги

Для дослідження динамічних процесів в системі автоматичного регулювання напруги розроблено математичну модель функціонування системи у вигляді диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} u_p(t) = U_{оп} - u_n(t); \\ u_3(u_p) = \begin{cases} 0, & u_p(t) < 0, \\ U, & u_p(t) > 0; \end{cases} \\ u_3(t) = r_3 \cdot i_3(t) + L_3 \frac{di_3}{dt}; \\ e_я(t) = r_я \cdot i_я(t) + L_я \frac{di_я}{dt} + u_n(t) = K_e \cdot i_3(t); \\ u_n(t) = r_n \cdot i_n(t) + L_n \frac{di_n}{dt} = e_я(t) - \Delta u_я(t); \\ \Delta u_я(t) = r_я \cdot i_я(t) + L_я \frac{di_я}{dt}; \\ i_я(t) = i_n(t), \end{cases} \quad (1)$$

де U – середнє значення напруги кіл керування ЕРС;

$u_p(t)$ – напруга розузгодження;

$U_{оп}$ – опорна напруга;

$u_3(t)$, $i_3(t)$ – напруга та струм в колі обмот-

ки збудження;

L_3, r_3 – індуктивність та активний опір обмотки збудження;

$e_g(t)$ та $i_g(t)$ – відповідно е.р.с. генератора та струм кола якоря;

L_j, r_j – індуктивність та активний опір кола якоря;

K_g – коефіцієнт передачі, який визначається по характеристиці холостого ходу генератора;

L_n та r_n – індуктивність та активний опір кола навантаження;

$i_n(t)$ – струм кола навантаження;

$\Delta u_j(t)$ – падіння напруги в колі якоря.

При розробці математичної моделі не враховувався вплив коливань напруги в контактній мережі на частоту обертання генераторів керування, оскільки на більшості ЕРС в якості приводу генераторів керування використовуються мотор-вентилятори, які, як відомо, пом'якшують вплив коливань напруги контактної мережі на частоту обертів двигуна. На електропоїздах постійного струму використовується двигун постійного струму для приводу генераторів, в якому вплив коливань напруги контактної мережі на частоту обертання зменшує обмотка паралельного збудження. Тому основним чинником, який визначає динамічні властивості системи, є зміна параметрів кіл навантаження.

Запропонована математична модель у вигляді структурної схеми системи автоматичного регулювання напруги низьковольтних кіл ЕРС показана на рис. 2. Вона подана у прийнятому в теорії автоматичного керування вигляді, коли основні динамічні ланки відображаються як передаточні функції. Це дозволяє відомими з теорії автоматичного керування методами виконати дослідження динамічних режимів, які виникають в системі. Відповідно до початкового завдання необхідно виявити наявність стійких автоколивань в системі.

На рис. 2 в блоках структурної схеми подано: K_g – коефіцієнт передачі обмотки збудження генератора; T_g – стала часу обмотки збудження; K_j – коефіцієнт передачі обмотки якоря; T_j – стала часу кола обмотки якоря; $U_{оп}$ – опорна напруга; U_p – напруга розузгодження; U_z – напруга збудження; I_z – струм збудження; U_n – напруга на навантаженні; E – е.р.с. генератора; I_j – струм якоря; ΔU_j – падіння напруги в обмотках якоря.

Тепер визначимося з типом нелінійності в САРН. Істотно нелінійним елементом у системі є релейна характеристика регулятора [3]. Регулятор на основі мікроконтролера й силового ключа дозволяє, не змінюючи схемних рішень одержати три типи релейних характеристик: ідеальну релейну, з гістерезисною петлею постійної ширини й гістерезисною петлею змінної ширини.

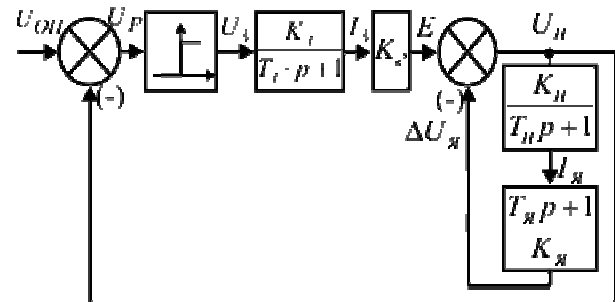


Рис. 2. Структурна схема САРН

Для розв'язання задачі по виявленню режиму стійких автоколивань, застосовано графо-аналітичний метод Гольдфарба з використанням гармонічної лінеаризації нелінійних елементів, в якості яких використано релейні елементи, які подають сигнал керування на лінійну частину системи.

Висновок

Дослідженням годографів Гольдфарба встановлено, що в разі ідеальної релейної характеристики вузла керування САРН реалізація автоколивань в системі не можлива. Автоколивання можливі в системі при використанні релейного елемента з гістерезисом змінної ширини. При цьому основними факторами які впливають на це є параметри низьковольтних кіл T_n та K_n . Частота автоколивань обчислюється як

$$\omega(K_n, T_n) = \sqrt{\frac{K_j + K_n}{K_n [T_g T_j - T_n (T_g + T_j)] - T_n^2 K_j}} \quad (2)$$

Останній вираз дає можливість отримати співвідношення

$$K_n = \frac{T_n^2 K_j}{T_g T_j - T_n (T_g + T_j)}, \quad (3)$$

що визначає межу здійснення стійких автоколивань при використанні вказаної релейної характеристики.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Сергеев, Б. С. Источники электропитания электронной аппаратуры железнодорожного транспорта [Текст] / Б. С. Сергеев, А. Н. Чечулина. – М.: Транспорт, 1998. – 280 с.
2. Білухін, Д. С. Структурна схема системи автоматичного регулювання напруги електрорухомого складу залізниць з генераторами постійного струму [Текст] / Д. С. Білухін // Наук.-техн.

збірник «Гірничі електромеханіка та автоматика». – Д., 2007. – № 78. – С. 63-68.

3. Попов, Е. П. Приближенные методы исследования автоматических систем [Текст] / Е. П. Попов, И. П. Пальтов. – М.: Физматгиз, 1960. – 792 с.

Надійшла до редколегії 21.12.2010.

Прийнята до друку 26.12.2010.

АНАЛІЗ АНАЛІТИЧНИХ ФУНКЦІЙ ДЛЯ АПРОКСИМАЦІЇ УНІВЕРСАЛЬНОЇ МАГНІТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО ТА ПУЛЬСУЮЧОГО СТРУМУ

Розглянуто ряд функцій для апроксимації універсальної магнітної характеристики та її похідної, оцінено їх точність та відповідність висунутим вимогам.

Ключові слова: універсальна магнітна характеристика, тягові двигуни постійного та пульсуючого струму, похідна, апроксимація

Рассмотрен ряд функций для аппроксимации универсальной магнитной характеристики и ее производной, оценена их точность и соответствие выдвинутым требованиям.

Ключевые слова: универсальная магнитная характеристика, тяговые двигатели постоянного и пульсирующего тока, производная, аппроксимация

A number of functions for approximating the universal magnetic curve and its derivatives, their accuracy and conformity to the requirements put forward by the authors have been studied.

Keywords: universal magnetic curve, traction DC and AC motors, derivative, approximation

Універсальну магнітну характеристику, запропоновану М. Д. Находкіним та В. С. Хвостовим [1] використовують для розрахунку електромеханічних характеристик тягових двигунів постійного та пульсуючого струму. Вона являє собою залежність магнітного потоку головних полюсів від магніторушійної (намагнічуючої) сили $\Phi^*(F^*)$, виражених у відносних одиницях. Далі в тексті під позначенням $\Phi^*(F^*)$ будемо розуміти реальну універсальну характеристику, а під $\Phi(F)$ – функцію для її апроксимації.

Універсальна магнітна характеристика вра-

ховує розмагнічуючу дію реакції якоря, оскільки вона створена шляхом обробки експериментально визначених внутрішніх навантажувальних характеристик реальних тягових двигунів. Тому при використанні цієї характеристики не потрібно враховувати розмагнічуючу дію реакції якоря. Параметри універсальної магнітної характеристики наведено згідно [2] в табл. 1 та на рис. 1, де K_n – коефіцієнт насичення; Φ^* та F^* – відповідно значення магнітного потоку та магніторушійної сили.

Таблиця 1

Універсальна магнітна характеристика

№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K_n	0	1	1,01	1,015	1,02	1,027	1,03	1,035	1,044	1,052	1,061	1,068	1,076
F^*	0	0,145	0,15	0,155	0,16	0,165	0,17	0,175	0,18	0,185	0,19	0,195	0,2
Φ^*	0	0,426	0,44	0,452	0,464	0,475	0,488	0,5	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55
№ з/п	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
K_n	1,085	1,091	1,1	1,11	1,125	1,131	1,142	1,156	1,168	1,172	1,18	1,198	1,205
F^*	0,205	0,21	0,215	0,22	0,225	0,23	0,235	0,24	0,245	0,25	0,255	0,26	0,265
Φ^*	0,56	0,57	0,578	0,585	0,592	0,6	0,608	0,615	0,622	0,63	0,639	0,641	0,65
№ з/п	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
K_n	1,22	1,235	1,24	1,255	1,265	1,28	1,285	1,415	1,543	1,67	1,79	1,91	2,04
F^*	0,27	0,275	0,28	0,285	0,29	0,295	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
Φ^*	0,655	0,66	0,668	0,672	0,679	0,682	0,69	0,73	0,764	0,795	0,823	0,849	0,87
№ з/п	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49			
K_n	2,15	2,27	2,38	2,49	2,61	2,74	2,84	2,95	3,06	3,16			
F^*	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1			
Φ^*	0,89	0,91	0,928	0,945	0,96	0,971	0,988	1	1,014	1,026			

Інколи, при проведенні розрахунків виникає необхідність визначення похідної універсальної магнітної характеристики. Її можна визначити як:

$$\frac{d\Phi^*}{dF^*} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta F} = \frac{\Phi_{i+1}^* - \Phi_i^*}{F_{i+1}^* - F_i^*}, \quad (1)$$

де індексами i та $i+1$ позначено значення магнітного потоку Φ^* та магніторушійної сили F^* на початку та в кінці відповідних інтервалів магніторушійної сили.

Похідну універсальної магнітної характеристики, у вигляді кусочно - постійної функції, зображено на рис. 1.

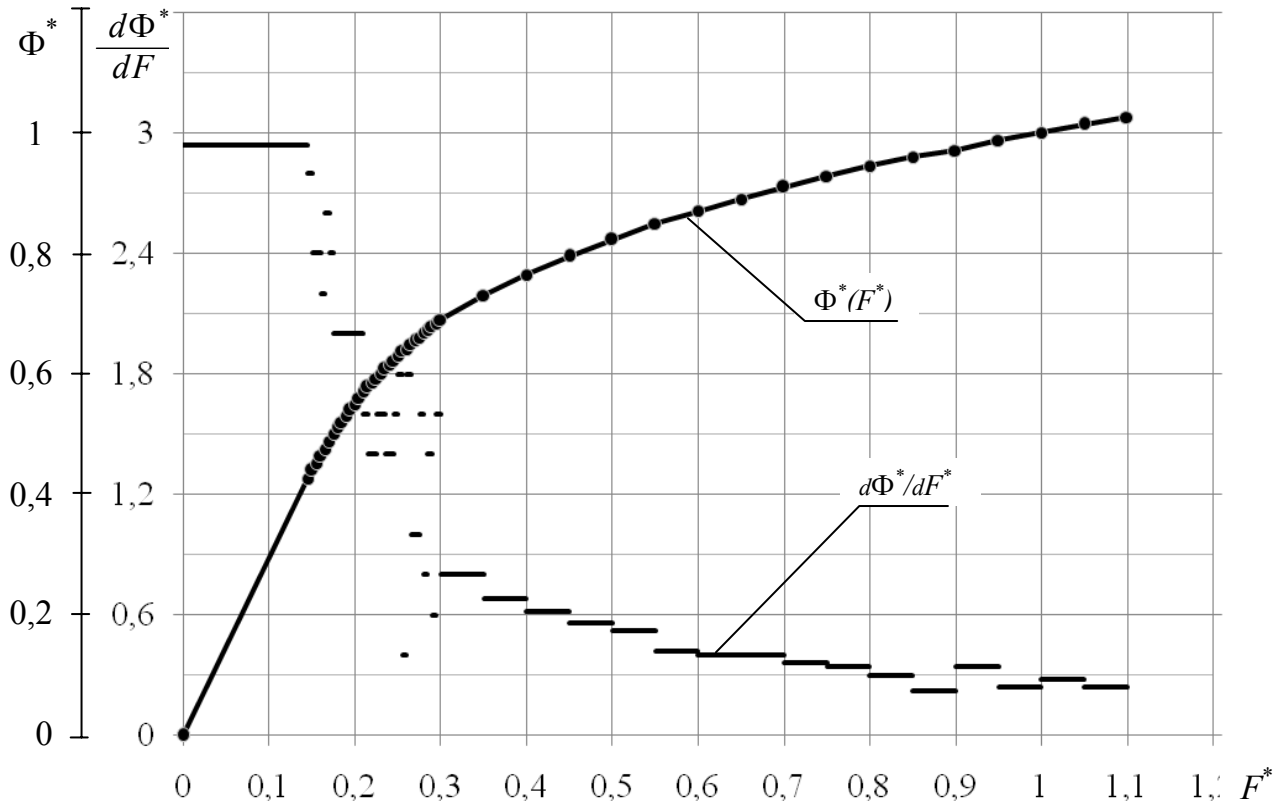


Рис. 1. Універсальна магнітна характеристика та її похідна

З наведеного рисунка видно, що користуватися універсальною магнітною характеристикою та її похідною не досить зручно, оскільки не встановлено чіткого взаємозв'язку між їхніми параметрами. Це призводить до того, що при проведенні розрахунків, основним способом визначення значень магнітного потоку Φ^* та похідної $d\Phi^*/dF^*$ є графічний спосіб, який вимагає значних затрат часу.

Питання аналітичного представлення як кривих намагнічування феромагнітних матеріалів, так і магнітних характеристик електричних машин досить повно висвітлене в технічній літературі. Що стосується апроксимації універсальної магнітної характеристики тягових двигунів, то на даний час існують лише дві відомі авторам пропозиції, викладені в [3, 4].

Приведені вище обставини, а також важливість цього питання для практичних розрахунків тягових електричних машин, спонукало авторів вивчити можливість представлення маг-

нітної характеристики та її похідної за допомогою ряду відомих аналітичних виразів.

Аналітичні вирази магнітної характеристики тягового двигуна можуть використовуватися при моделюванні як стаціонарних, так і перехідних електромеханічних процесів. Тому бажано, щоб вони задовольняли наступним вимогам:

- 1) апроксимуюча функція повинна якомога точно відображати універсальну характеристику;
- 2) похідна функції повинна відображати якомога близько похідну магнітної характеристики;
- 3) функція не повинна мати точок перегину;
- 4) похідна аналітичної функції повинна бути неперервною.
- 5) аналітична функція повинна бути однозначною непарною функцією, для якої:

$$\Phi(-F) \equiv -\Phi(F). \quad (2)$$

- 6) похідна функції $\Phi(F)$ повинна бути позитивною парною функцією, для якої:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Phi}{dF}(F) &\equiv \frac{d\Phi}{dF}(-F); \\ \frac{d\Phi}{dF} &\geq 0 \text{ при } -\infty < F < +\infty. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Останні дві вимоги відносяться лише до тягових двигунів послідовного збудження, які набули найбільшого розповсюдження на залізничному транспорті.

В якості аналітичних виразів для апроксимації універсальної магнітної характеристики розглянемо функції, наведені в табл. 2. Вирази 1...9 (див. табл. 2) взято з [5]; вираз 9' – з [6]; вираз 10 отримано на основі наведених у [4] виразів взаємозв'язку між магнітним потоком, магніторушійною силою та коефіцієнтом насичення:

$$\begin{aligned} \Phi^*(K_n) &= 0,94 + 0,14717(K_n - 2,5) - \\ &- 0,03417(K_n - 0,25)^2 - 0,035(K_n - 2,5)^3 - \\ &- 0,02333(K_n - 2,5)^4 + 0,02533(K_n - 0,25)^5; \quad (4) \end{aligned}$$

$$F^*(K_n) = 0,42K_n - 0,27. \quad (5)$$

При підстановці виразу (5) в (4) отримаємо формулу для апроксимації універсальної магнітної характеристики у вигляді поліному 5-ї степені, яка має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \Phi &= -0,0063 + 0,24 \cdot F^5 - 2,87 \cdot F^4 + \\ &+ 7,3 \cdot F^3 - 7,62 \cdot F^2 + 4,04 \cdot F. \end{aligned} \quad (6)$$

В табл. 3 наведено вирази для апроксимації похідної функції $\Phi^*(F^*)$. Їх отримано шляхом диференціювання функцій 1...10 табл. 2.

Точність апроксимації універсальної магнітної характеристики та її похідної за допомогою аналітичних виразів, приведених в табл. 2 та 3, оцінено на проміжку $0 \leq F^* \leq 1,1$.

З метою зменшення похибки апроксимації функції $d\Phi^*/dF^*$ не враховано проміжок $0 \leq F^* < 0,145$, оскільки його проміжні точки нам не відомі. У випадку необхідності розрахунку похідної при $0 \leq F^* < 0,145$ рекомендуємо приймати її рівною похідній у точці $F^* = 0,145$.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз аналітичних виразів для апроксимації універсальної магнітної характеристики

№	Вираз	Коефіцієнти			Максимальне відхилення	Середня відносна похибка апроксимації	Коефіцієнт детермінації
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	%	%	<i>R</i> ²
1	$\Phi = a\sqrt{F}$	1,129403	–	–	15,85	7,6	0,8963
2	$\Phi = a\sqrt[3]{F}$	0,990962	–	–	9,46	4,9	0,9664
3	$\Phi = a\sqrt[4]{F}$	1,030286	2,642764	–	7,02	4,1	0,9777
4	$\Phi = a\sqrt{F} - bF$	1,443911	0,430729	–	6,14	3,1	0,9866
5	$\Phi = \frac{F}{a + bF}$	0,204252	0,796878	–	2,74	1,4	0,9973
6	$\Phi = \frac{1+a}{1+aF} F$	3,886580	–	–	2,72	1,4	0,9973
7	$\Phi = a \cdot (1 - e^{-bF})$	0,994567	3,938335	–	4,45	1,4	0,9940
8	$\Phi = a \operatorname{th}(bF)$	0,956957	3,152187	–	7,09	2,9	0,9817
9	$\Phi = a \operatorname{arctg}(bF)$	0,722791	4,699688	–	2,88	0,9	0,9975
9'	$\Phi = a \operatorname{arctg}(bF) + cF$	0,634174	5,451962	0,116353	1,51	0,8	0,9991
10	$\Phi = \sum_{i=0}^5 a_i F^i$	–	–	–	1,26	0,6	0,9997

Коефіцієнти аналітичних виразів 1...10 (див. табл. 2 та 3), розраховано згідно методу найменших квадратів, з використанням програмного забезпечення «STATISTICA 6.0». Їх

розраховано окремо, для функції, апроксимуючої магнітну характеристику, і окремо для функції, апроксимуючої її похідну. Оскільки, при спільних коефіцієнтах, знайдених для функції

$\Phi(F)$, аналітичні вирази для апроксимації похідної мали досить низьку точність.

Наочне уявлення про якість апроксимації універсальної магнітної характеристики та її

похідної виразами 1...10 (див. табл. 2 та 3), дають графіки, наведені на рис. 2 та 3.

Таблиця 3

Порівняльний аналіз аналітичних виразів для апроксимації похідної магнітної характеристики

№	Вираз	Коефіцієнти			Середня відносна похибка апроксимації	Коефіцієнт детермінації
		a	b	c	%	R^2
1	$\Phi' = \frac{a}{2F^{1/2}}$	1,514351	–	–	66,6	0,6391
2	$\Phi' = \frac{a}{3F^{2/3}}$	1,813531	–	–	52,6	0,7521
3	$\Phi' = \frac{aF^{1/b}}{bF}$	284323	768293	–	28,9	0,8744
4	$\Phi' = \frac{a}{2F^{1/2}} - b$	0,573434	0,572998	–	27,4	0,8895
5	$\Phi' = \frac{1}{a + bF} - \frac{bF}{(a + bF)^2}$	0,072422	0,614944	–	23,0	0,8999
6	$\Phi' = \frac{1 + a}{1 + aF} - \frac{F \cdot (1 + a)}{(1 + aF)^2}$	1,795216	–	–	61,6	0,6485
7	$\Phi' = abe^{-bF}$	1,056059	5,509757	–	35,6	0,8722
8	$\Phi' = ab \cdot (1 - (\tanh(bF))^2)$	0,879387	4,060004	–	40,5	0,8531
9	$\Phi' = \frac{ab}{1 + (bF)^2}$	0,793926	6,488805	–	26,4	0,8949
9'	$\Phi' = \frac{ab}{1 + (bF)^2} + c$	0,778187	8,515138	0,188524	17,1	0,9046
10	$\Phi' = 5bF^4 - 4cF^3 + 3dF^2 - 2eF + k$	–	–	–	19,0	0,9019

Критеріями точності апроксимації, були обрані: максимальне відхилення, середня відносна похибка апроксимації та коефіцієнт детермінації. Результати оцінок зведено до табл. 2 та 3 відповідно.

Максимальне відхилення розраховано за наступною формулою:

$$\Delta_{\max} = \max \left| \Phi_i - \hat{\Phi}_i \right| \cdot 100\%, \quad i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

де Φ_i – табличне значення функції;

$\hat{\Phi}_i$ – значення функції згідно аналітичного виразу.

Середню відносну похибку апроксимації та коефіцієнт детермінації розраховано згідно з [7] за наступними формулами:

– Середня відносна похибка апроксимації:

$$\bar{e}_{\text{відн.}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\Phi_i - \hat{\Phi}_i}{\Phi_i} \right| \cdot 100\%, \quad (8)$$

де n – загальна кількість досліджуваних точок.

– Коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 1 - \phi^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\Phi_i - \hat{\Phi}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\Phi_i - \bar{\Phi}_i)^2}, \quad (9)$$

де $\bar{\Phi}_i$ – середнє арифметичне значення функції

$$(\bar{\Phi}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Phi_i).$$

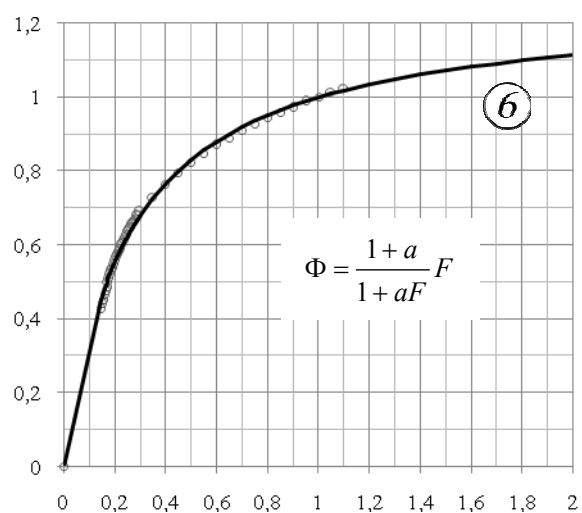
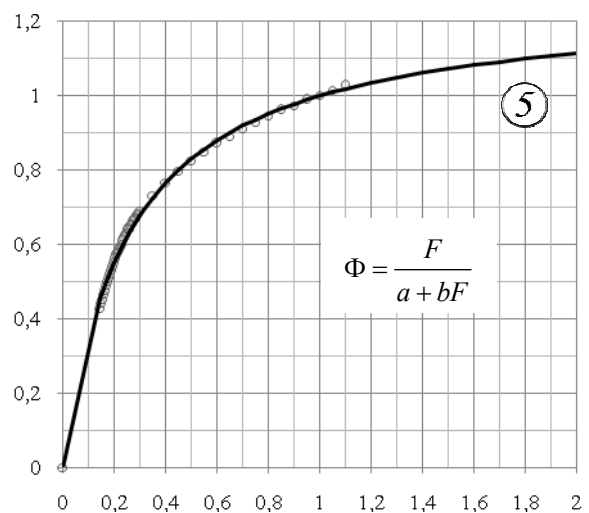
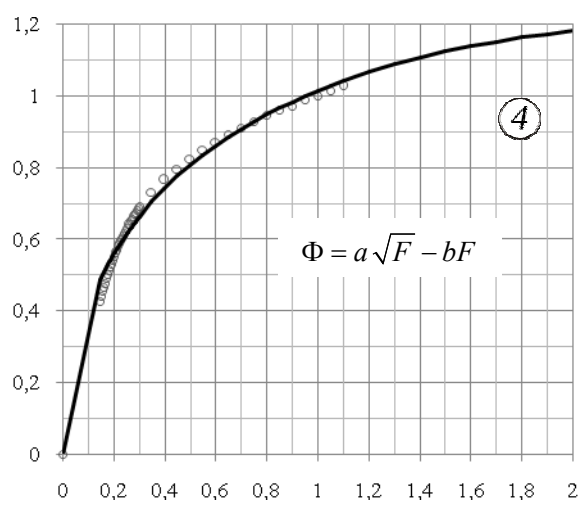
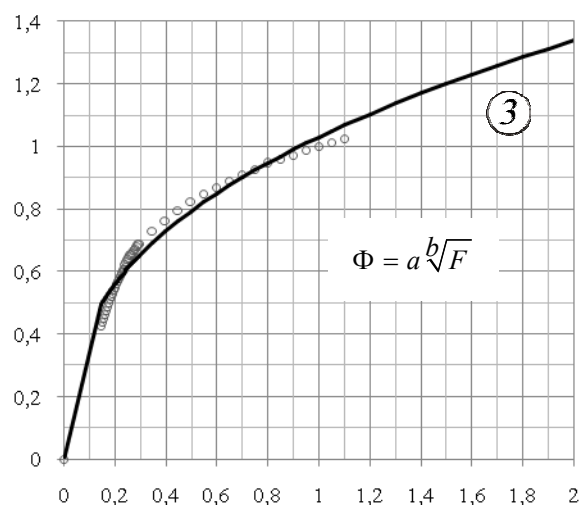
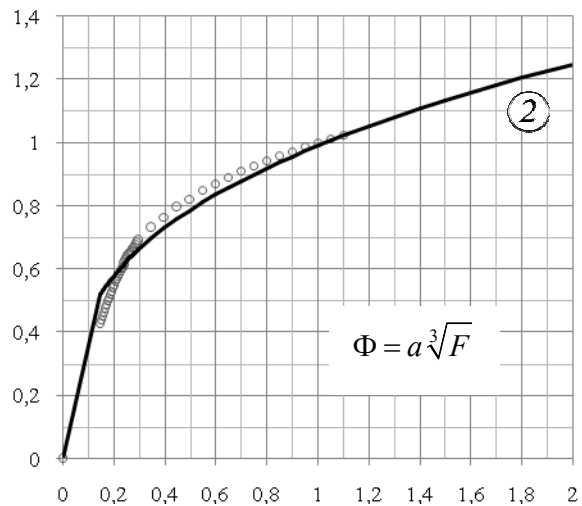
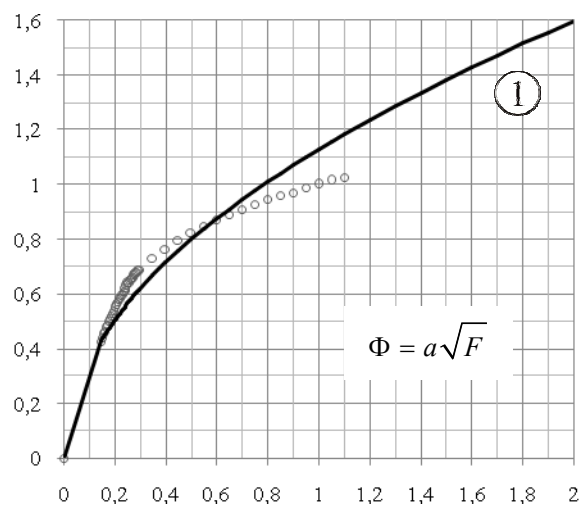


Рис. 2. Апроксимація універсальної магнітної характеристики аналітичними виразами,
де \circ – координати універсальної магнітної характеристики (табл. 1);
— – графіки апроксимуючих функцій (табл. 2)

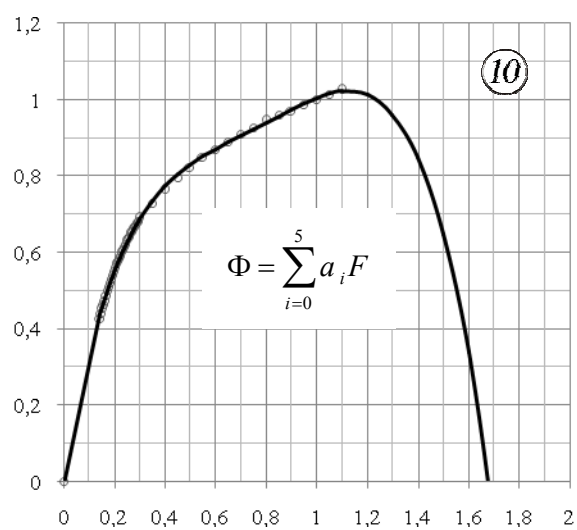
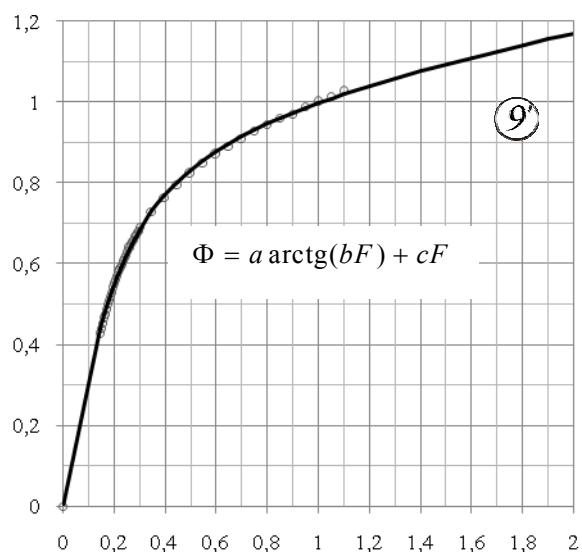
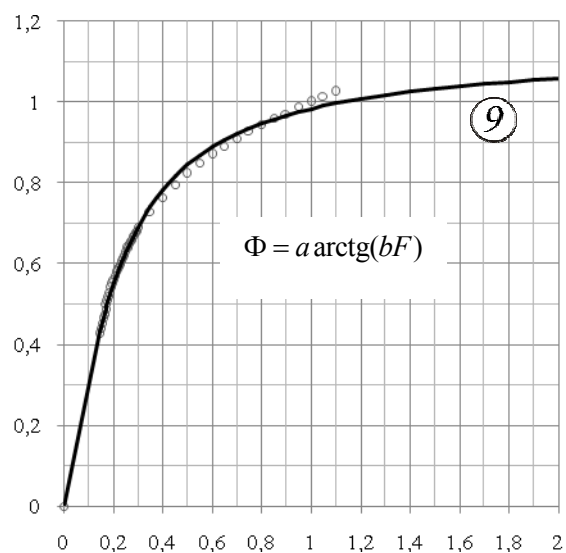
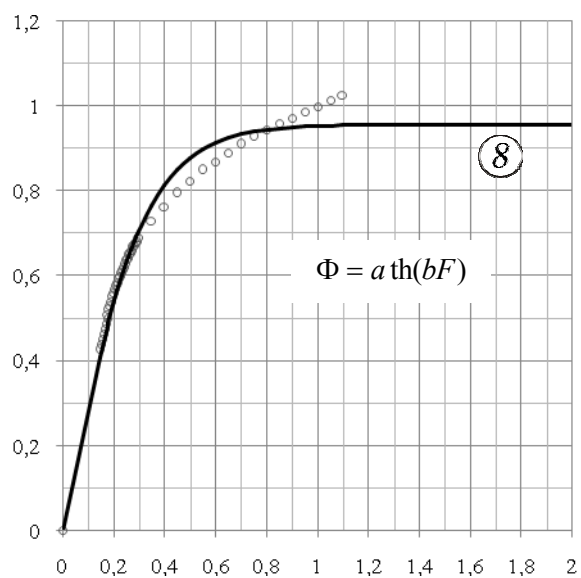
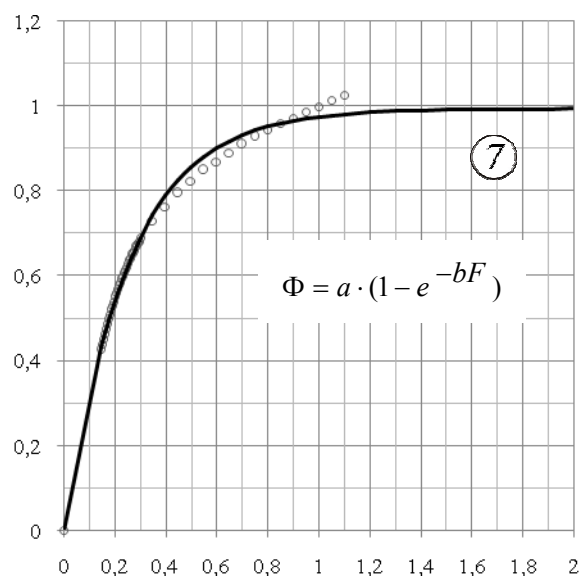


Рис. 2 (закінчення)

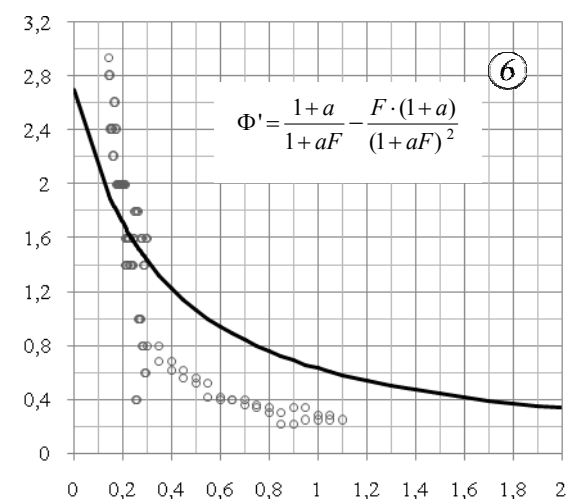
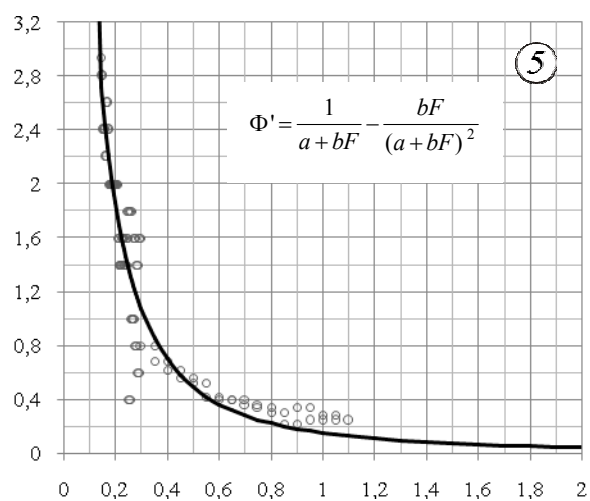
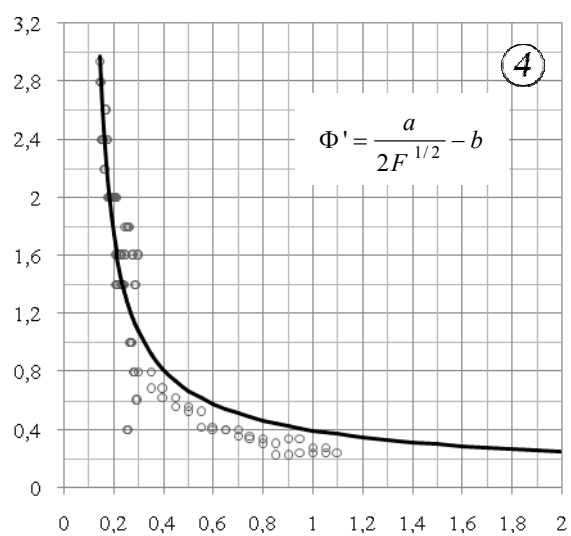
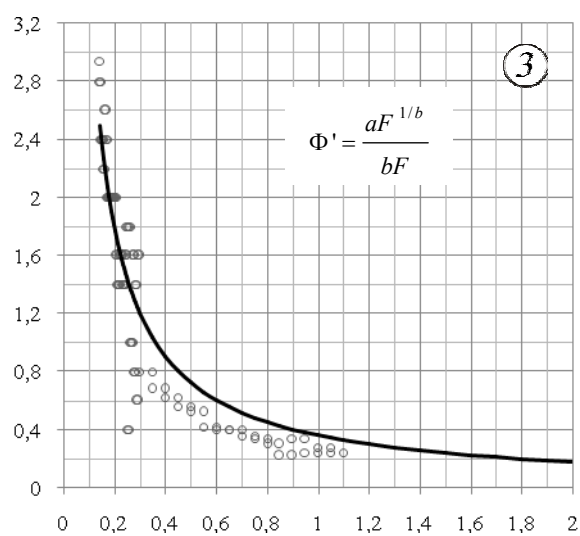
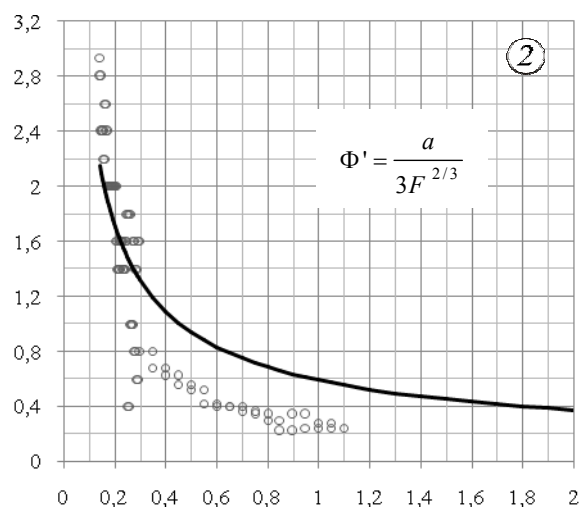
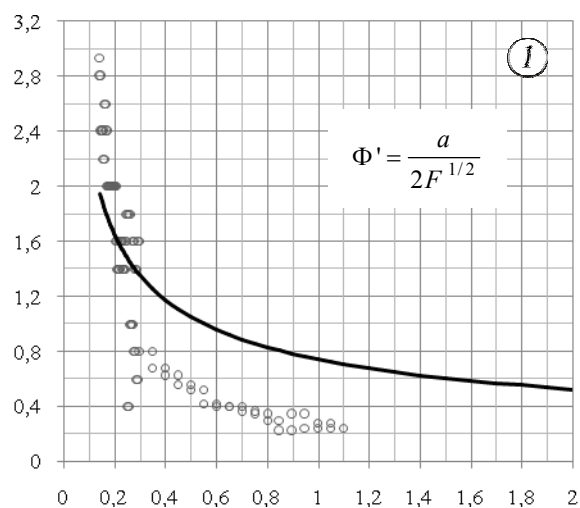


Рис. 3. Апроксимація похідної універсальної магнітної характеристики за допомогою аналітичних виразів,
де \circ – координати похідної універсальної магнітної характеристики (рис. 1);
— – графіки апроксимуючих функцій (табл. 3)

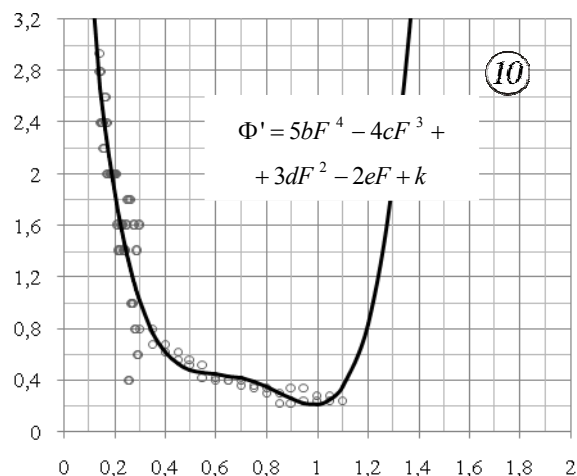
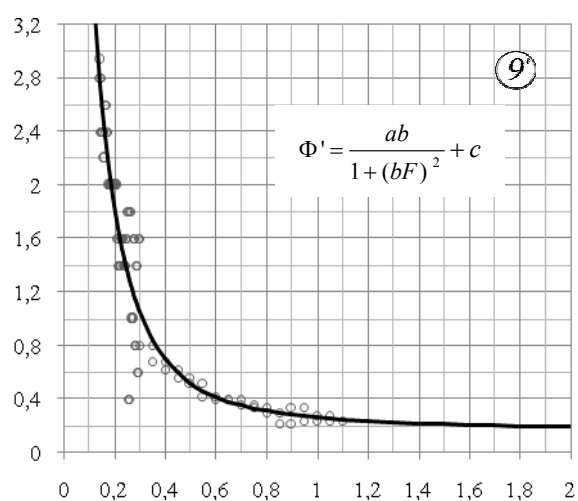
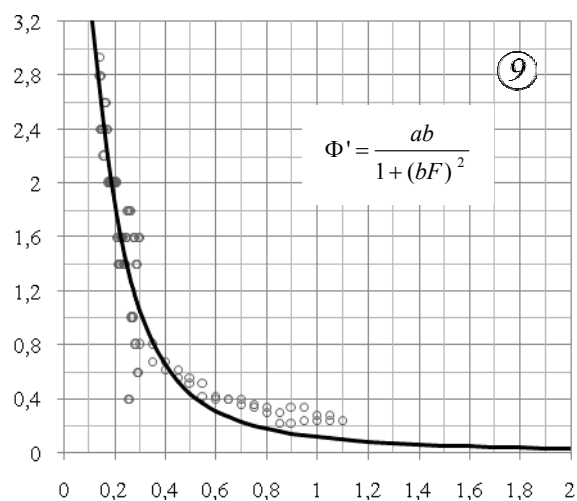
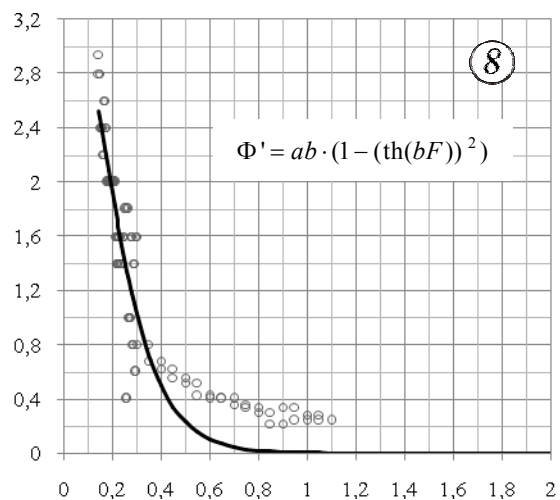
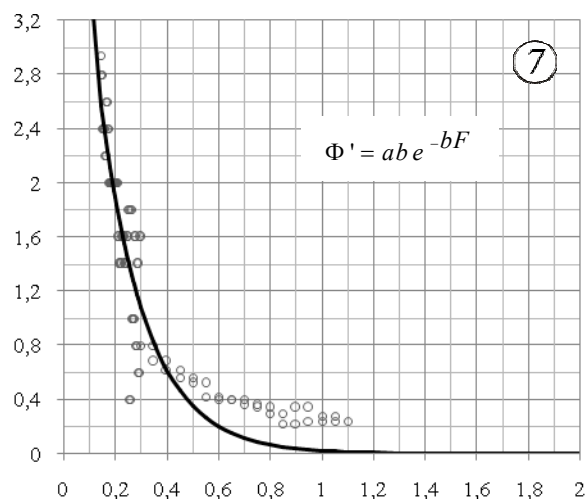


Рис. 3 (закінчення)

З виконаного аналізу видно, що всі з розглянутих аналітичних виразів, по точності апроксимації, умовно можна поділити на три групи:

- I група – вирази, котрі дають середню відносну похибку апроксимації в межах 1 %. До них відносяться вирази 9, 9' та 10 (див. табл. 2).

Криві цієї групи найбільш точно описують універсальну магнітну характеристику.

- II група – вирази, котрі дають середню відносну похибку апроксимації в межах 3 %. До них відносяться вирази 5, 6, 7 та 8 (див. табл. 2).

- III група – вирази, котрі дають середню відносну похибку апроксимації більше 3 %. До них відносяться вирази 1, 2, 3 та 4 (див. табл. 2).

Порівняльний аналіз відповідності похідних аналітичних виразів похідній універсальної магнітної характеристики (див. табл. 3) показує, що найбільш точно відповідає другій вимозі вираз 9' (середня відносна похибка апроксимації складає 17,1 %), менш точні вирази 5, 9 та 10.

Іншим вимогам, котрим повинні відповідати аналітичні вирази апроксимуючих функцій, найбільш повно відповідають вирази 9 та 9'. Вираз 10 даним вимогам не відповідає взагалі.

Висновки

В даній роботі викладено результати порівняльного аналізу різних аналітичних виразів для апроксимації універсальної магнітної характеристики та її похідної.

В якості показників точності апроксимуючих виразів використано максимальне відхилення, середня відносна похибка апроксимації та коефіцієнт детермінації.

Як показали дослідження, практично всі аналітичні вирази в більшій чи меншій мірі, описують реальну магнітну характеристику. Найбільш точними з них є 5, 6, 9, 9' та 10. Але крім точності до апроксимуючих виразів були висунуті певні вимоги, яким найбільш повно відповідають вирази 9 та 9'.

Таким чином, для апроксимації універсальної магнітної характеристики та її похідної можна рекомендувати використовувати вирази 9 та 9'.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Находкин, М. Д. Универсальная магнитная характеристика тяговых электродвигателей постоянного тока [Текст] / М. Д. Находкин, В. С. Хвостов // Вестник электропромышленности. – 1958. – № 1. – С. 44-48.
2. Магистральные электровозы. Тяговые электрические машины [Текст] / В. И. Бочаров [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 464 с.
3. Гетьман, Г. К. Об использовании универсальной магнитной характеристики для расчета электромеханических характеристик тяговых двигателей [Текст] / Г. К. Гетьман, С. Н. Голик // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007 – С. 21-25.
4. Безрученко, В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу [Текст] / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2003. – 252 с.
5. Архангельский, Б. И. Аналитическое выражение кривой намагничивания электрических машин [Текст] / Б. И. Архангельский // Электричество. – 1950. – № 3. – С. 30-32.
6. Макаров, А. В. Разработка и исследование системы управления межсистемной несинхронной связи на основе ферромагнитных элементов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / А. В. Макаров. – ЛПИ, 1985. – 217 с.
7. Присенко, Г. В. Прогнозування соціально-економічних процесів [Текст] : навч. посібник / Г. В. Присенко, Є. І. Равікович. – К.: КНЕУ, 2005. – 378 с.

Надійшла до редколегії 12.01.2011.

Прийнята до друку 18.01.2011.

ЗАХИСТ ВІД ПЕРЕНАПРУГ ЕЛЕКТРОТЯГОВИХ МЕРЕЖ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ: МЕТОДОЛОГІЯ ВИБОРУ ОПН

В статті розглядається методологія вибору обмежувачів перенапруг для тягової мережі постійного струму.

Ключові слова: контактна мережа, перенапруга, обмежувач перенапруг

В статье рассмотрена методология выбора ограничителей перенапряжений для тяговой сети постоянного тока.

Ключевые слова: контактная сеть, перенапряжение, ограничитель перенапряжений

The article is dealt with the selecting methodology of overvoltage arresters for DC traction line.

Keywords: contact line, overvoltage, overvoltage arrester

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Підтримка нормального функціонування тягової мережі в умовах негативних впливів є запорукою забезпечення безперебійного перевізного процесу. Одним з негативних факторів, що впливає на працездатність електрифікованої ділянки, є перенапруги, що виникають в результаті атмосферних явищ та комутаційних процесів. Згідно з аналізом роботи господарства електрифікації та електропостачання Укрзалізниці, за останні роки вплив цих явищ у вигляді пробіїв та перекриття ізоляторів складає від 5 до 17 % у загальній кількості порушень нормальної роботи ізоляторів контактної мережі (КМ) постійного струму. Найбільш важкими пошкодженнями є перекриття з наступним руйнуванням врізних та ізоляторів анкеровок, що призводить до значних затримок руху поїздів.

Типовими причинами комутаційних перенапруг є планові й аварійні відключення і включення ліній, трансформаторів та інших елементів мережі, а також розмикання ушкоджених фаз. До комутаційних перенапруг можна віднести високовольтні коливання в ланцюзі при природному гасінні дуги, що виникає при перекритті зовнішньої ізоляції або іскрових проміжків. Тривалість перенапруг визначається швидкістю релейного захисту або оперативністю обслуговуючого персоналу. Незначне, але довготривале стаціонарне перевищення напруги над робочою може підтримуватися за технологічної необхідності, за необхідності передачі понаднормованої потужності, для забезпечення необхідного рівня напруги у віддалених точках мережі при неномінальних навантаженнях.

Найбільший рівень внутрішніх перенапруг звичайно перебуває в межах 2,5...3,5-кратної величини найбільшої робочої напруги. Тривалість таких перенапруг може досягати 0,05...0,1 с і більше. Рівні ізоляції контактної мережі значно вище величин комутаційних перенапруг, тому останні не можуть викликати відмови роботи лінії. Однак через велику тривалість їхнього існування комутаційні перенапруги є серйозною загрозою для ізоляції підстанційного електроустаткування, електричних апаратів і електричних машин рухомого складу [1].

Перекриття ізоляції в контактній мережі, які спричиняють її відключення, викликають атмосферні перенапруги. Джерелом атмосферних перенапруг є розряди блискавки в елементи мережі: прямі удари блискавки в мережу, її опори або поблизу їх, за яких у мережі виникають індуковані перенапруги. Струми блискавки мають малу тривалість (1...100 мкс), але їхня амплітуда може досягати і навіть перевищувати 100 кА. Частота струмів блискавки з різною амплітудою і крутістю представлена в табл. 1 і 2.

Число атмосферних перенапруг визначається грозовою активністю в розглядуваному регіоні, тобто кількістю грозових годин t , або грозових днів T , протягом року або загальною річною тривалістю гроз у годинах. Ці параметри співвідносяться як:

$$t = 0,72T^{1,3}. \quad (1)$$

Для оцінки кількості прямих ударів блискавки у контактну мережу запропоновано два близькі у своїй основі співвідношення:

Таблиця 1

Розподіл амплітуди струмів блискавки

I_6 , кА	10	20	30	40	50	60	80	120	150	180	200
Імовірність	0,95	0,7	0,5	0,35	0,25	0,18	0,09	0,028	0,015	0,008	0,005

Таблиця 2

Розподіл крутості фронту струму блискавки

$K_{i,6}$, кА/мкс	9,0	15	25	40	65
Імовірність	0,95	0,75	0,50	0,20	0,05

$$N_{пуб} = nblT; \quad (2) \quad \text{ступними співвідношеннями:}$$

$$N_{пуб} = (4 \div 6) hlt \times 10^{-4}, \quad (3)$$

$$N_{инд} = \frac{562k_0h}{U_i} \exp\left(-\frac{U_i}{360k_0}\right); \quad (4)$$

$$N_{инд} = \frac{9,36th}{U_i} \exp\left(-\frac{U_i}{260}\right), \quad (5)$$

де: n – середнє число розрядів блискавки в землю на 1 км^2 її поверхні, віднесенє до одного грозового дня, для $T = 20$ і $l = 100$ км приймається $n = 0,07 \dots 0,09$;

$b = (8 \dots 10)h$ – розрахункова ширина смуги землі під контактною мережею, м;

h – середня висота підвіски проводів, прийнята рівною 7,5 м;

l – довжина мережі, км.

В Україні середнє число грозових годин протягом року становить 60...80. У Луганській, Харківській областях, північній частині Донецької, східній частині Дніпропетровської області ця величина дорівнює 80...100 годин, в Івано-Франківській і Київській областях кількість грозових годин у році найбільша і може перевищувати 100 годин у рік. У Львівській, Хмельницькій і Вінницькій областях число грозових годин досягає також 80...100 одиниць.

На графіках рис. 1 наведено число прогнозованих прямих ударів блискавки в елементи контактної мережі залежно від інтенсивності гроз, характерної для території України.

Приблизне число індукованих перенапруг в рік, $N_{инд}$, на 100 км лінії можна одержати за на-

де: $k_0 = 0,4 \dots 1$ – коефіцієнт, що залежить від швидкості зворотного розряду блискавки;

U_i – амплітуда індукованої напруги, кВ;

Графічне представлення прогнозованого числа індукованих при грозах перенапруг з різною амплітудою наведено на рис. 2.

З огляду на статистичний розкид інтенсивності грозової діяльності можна говорити про порівнянність прогнозованої кількості атмосферних перенапруг у контактній мережі, обчисленої за різними формулами. Слід зазначити, що в контактній мережі число індукованих перенапруг істотно більше, ніж кількість прямих ударів блискавки для малих $U_i \leq 35$ кВ. Остання обставина має істотне значення для мережі постійного струму.

У табл. 3 виділено кількість індукованих перенапруг для амплітуд напруг, що представляють практичний інтерес. Там же наведено кількість можливих прямих ударів блискавки.

Таблиця 3

Питомє число розрахункових грозових перенапруг у контактній мережі.

Амплітуда U_i , кВ	Формули (2) і (4)	Формули (3) і (5)			
	Інтенсивність грозової діяльності, гр. год				
	35,4 (20 гр. днів)	35,4	60	80	100
Прямий удар блискавки	15,4...34,4	16,8	28,5	38	47,5
240	4,6...11	5,2	8,8	12	15
100	16...40	21	36	48	61
75	23...58	31	53	71	89
35	55...138	79	133	178	222
20	101...253	146	247	329	412
10	208...519	303	513	684	856

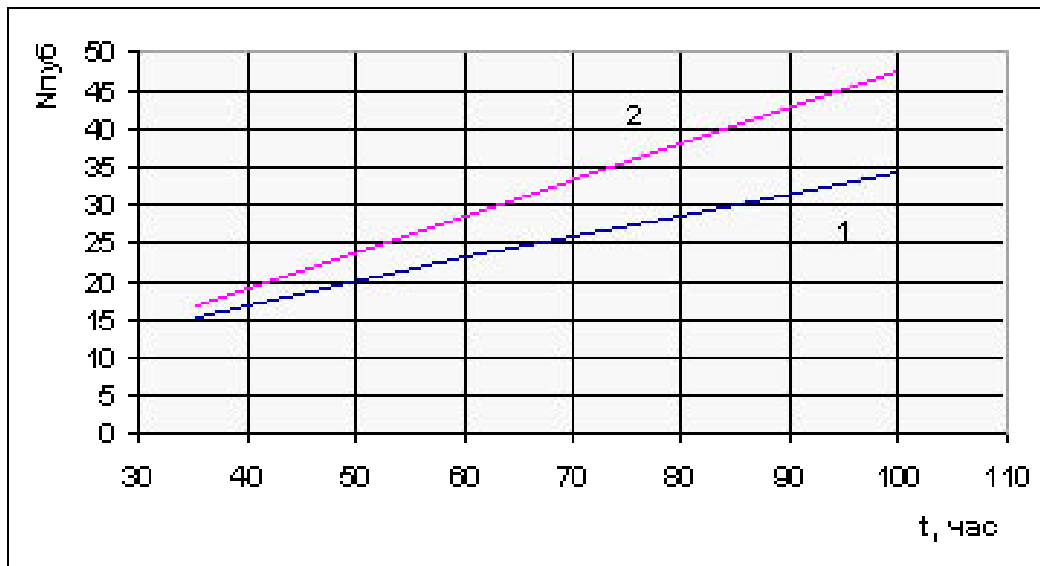


Рис. 1. Число прямих ударів блискавки в році на 100 км лінії залежно від інтенсивності грозової діяльності, що відповідає формулам: 1 – (2); 2 – (3)

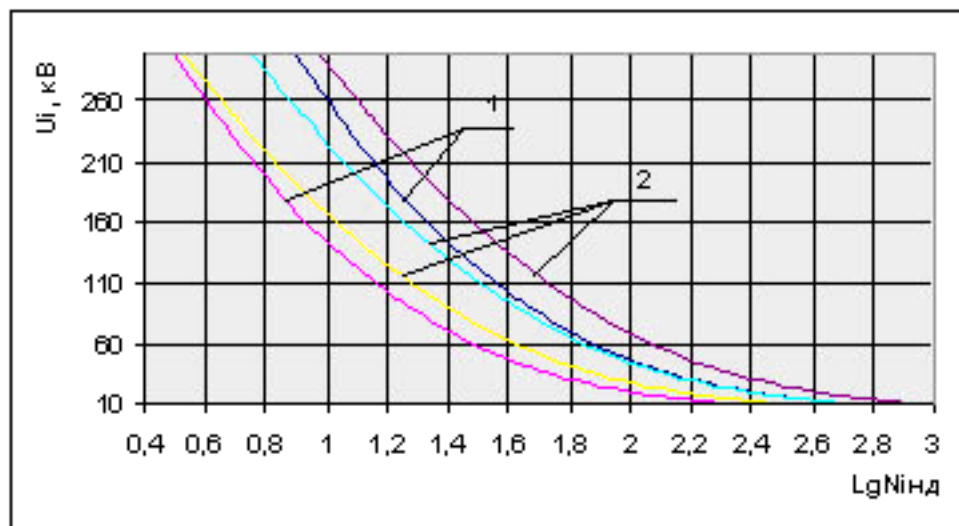


Рис. 2. Питоме число індукованих перенапруг з різною амплітудою залежно від інтенсивності гроз, за формулами: 1 – (4); 2 – (5)

Імпульсна міцність ізоляції в контактній мережі постійного струму перебуває на рівні 100 кВ, у мережі змінного струму – 210...240 кВ. Тому при прямих ударах блискавки уникнути перекриття ізоляторів практично не вдається. Очевидно, що в мережах постійного струму перекриття ізоляторів відбуваються значно частіше внаслідок впливу індукованих перенапруг (див. табл. 3). Підвищення грозостійкості за рахунок використання грозозахисних тросів або частого встановлення блискавковідводів уздовж лінії в контактних мережах не застосовується через економічну недоцільність. Такі заходи передбачені на тягових підстанціях і на підходах до них, а на лініях вважається виправданим забезпечення системою автоматичного

повторного включення (АПВ) мережі після перекриття ізоляції.

У мережі постійного струму, у якій кількість перекриттів від грозових впливів істотно вища, напруга уставки рогових розрядників складає близько 35 кВ, тобто нижче імпульсної міцності ізоляторів, тому вони захищають ізолятори від перекриття і наступних теплових впливів силових дуг. Відповідно, система АПВ налаштовується з урахуванням роботи захисних пристроїв на лінії. Згідно вимог [2], для захисту КМ від перенапруг повинні застосовуватись рогові розрядники і обмежувачі перенапруг (ОПН), які встановлюються:

- біля анкеровок проводів контактної мережі;

- на неізолюючих спраженнях і нормально замкнених ізолюючих спраженнях – на одній вітці спраження, а на ізолюючих нормально розімкнених спраженнях – на обох вітках спраження, що анкеруються;

- біля штучних споруд на анкерівках контактної мережі з двох сторін споруди, при довжині 80 м і більше та з однієї сторони споруди при довжині менше 80 м;

- на живлячих лініях біля місць приєднання до контактної мережі або до пунктів групування перемикачів, а також на відстані не більше 100 м від тягової підстанції при довжині цих ліній більше 150 м і через кожні 1...1,5 км на протяжних лініях.

МЕТА РОБОТИ

Найбільш дієвим засобом захисту від перенапруг на сьогодні є застосування ОПН [3]. В той же час механізм здійснення захисних функцій ОПН на сьогодні недостатньо досліджений, що вимагає додаткового аналізу причин пошкоджень ізолюючих конструкцій при прямому ударі блискавки (ПУБ) в КМ [3, 4]. В цьому сенсі дуже важливим фактором є методологія правильного вибору ОПН, яка розглядається нижче.

КРИТЕРІЙ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ ОПН

На відміну від розрядників старого типу для ОПН регламентована набагато більша кількість характеристик, які характеризують умови експлуатації і функціональність їхнього призначення. До них відносяться довготривалі і короткочасно допустимі напруги, припустимі струми з різною тривалістю і залишкові напруги при номінальних грозових струмах і струмах із крутим фронтом хвилі, при струмах комутаційних імпульсів.

МЕК рекомендує в маркуванні розрядника ввести наступні параметри:

- довгостроково допустиме напруження;
- нормована напруга;
- номінальний розрядний струм;
- нормований витримуваний (допустимий) короткого замикання.

Також слід зазначати:

- найменування виробника або його товарний знак;
- рік виготовлення;
- серійний номер виробу.

Перелік параметрів, регламентованих МЕК 60099-4 [5] характеристик ОПН, наведено нижче:

Довготривала допустима напруга (діюче значення), U_d , кВ	
Нормована напруга (діюче значення), $U_{нор}$, кВ	
Номінальний розрядний струм грозового імпульсу з хвилею 8/20мкс, I_n , кА	
Залишкова напруга при струмі грозового імпульсу, $U_{зал.г}$, кВ	500 А
	5 000 А
	10 000 А
	20 000 А
Залишкова напруга при номінальному струмі із крутим фронтом хвилі 1/4мкс, $U_{зал.кр}$, кВ	
Залишкова напруга при струмі комутаційного імпульсу з хвилею 30/60мкс, $U_{зал.к}$, кВ	125
	250
	500
Тривалий (2000 мкс) струм, А	
Пропускна здатність (кількість нормованих імпульсів струму)	
Питома енергоємність, $W_{пит}$, кДж/кВ	
Кваліфікаційна напруга (при 2 мА), кВ	
Характеристики корпусу ОПН відповідно до вимог, встановлених до лінійних і підстанційних ізоляторів, у тому числі:	
- нормований витримуваний струм короткого замикання;	
- нормована механічна міцність;	
- довжина шляху витоку, $L_{вит}$, мм	
Маса, кг	

Вибір необхідного обмежувача перенапруг у загальному випадку зводиться до пошуку компромісного рішення між умовами забезпечення надійної і довгострокової роботи самого захисного апарату і виконання ним захисних функцій при перенапругах.

Діаграма ітераційного вибору параметрів характеристик ОПН, що відповідає рекомендації МЕК 60099-5 [6], наведена на рис. 4.

Вибір ОПН здійснюється встановленням їхніх характеристик у наступній послідовності:

- **Стійкість до довготривалої впливаючої напруги.** Довгостроково припустима робоча напруга, $U_{\text{д}}$, визначається величиною робочої напруги мережі і можливим коливанням напруги. Як правило, на практиці за довгостроково допустиму напругу ОПН приймається напруга, рівна або більша найбільшої робочої напруги мережі:

$$U_{\text{д}} \geq U_{\text{н.р}} . \quad (5)$$

- **Стійкість до короткочасного перевищення робочої напруги.** У мережі завжди мають місце короткочасні перевищення напруги вище найбільшої робочої напруги. Підвищена напруга в мережах із заземленою нейтраллю може тривати при замиканні фази на землю від частки секунд до 10 с: при заземленій нейтралі через індуктивність – до декількох годин залежно від оперативності усунення неполадок. Короткочасне підвищення напруги виникає у випадку відключення навантаженого об'єкта, при цьому амплітуда напруги може досягати залежно від тривалості до 1,5 крат робочої напруги і навіть вище, якщо скидання навантаження супроводжувалось резонансними явищами. По суті, короткочасні підвищення напруги відносяться до комутаційних перенапруг, які характеризуються невисоким рівнем і при яких струми через нелінійні елементи ще не перевищують одиниць амперів.

Експериментальними дослідженнями встановлено [6], що короткочасні перенапруги в мережі, як функція від їхньої тривалості, в інтервалі від 0,1 до 100 с можна апроксимувати наступним виразом:

$$U_{\text{т.с}} = U_{\text{Ек}} \times \left(\frac{T_{\text{т}}}{10} \right)^{-m} , \quad (6)$$

де $U_{\text{т.с}}$ – амплітуда короткочасної перенапруги в мережі;

$U_{\text{Ек}}$ – амплітуда короткочасної перенапруги, що відповідає тривалості 10 с;

$T_{\text{т}}$ – тривалість короткочасної перенапруги;
 m – показник ступеня, що приймається рівним 0,02.

Здатність ОПН витримувати короткочасні перевищення напруги визначає нормована напруга, $U_{\text{нор}}$. Цей параметр повинен задовольняти умові:

$$U_{\text{нор}} \geq U_{\text{т.м}}(T_{\text{т}} = 10 \text{ с}) = U_{\text{Ек}} . \quad (7)$$

У випадку зі змінною напругою в співвідношенні (7) під величиною нормованої напруги $U_{\text{нор}}$ розуміється її амплітудне значення.

Крім вимоги (7), вольт-часові характеристики ОПН у вигляді залежності короткочасно витримуваної напруги розрядником, $U_{\text{т.р}}$ від тривалості впливу, повинні погоджуватися з короткочасними коливаннями напруги в мережі, що представляють у вигляді співвідношення (8):

$$U_{\text{т.р}} \geq U_{\text{т.м}} . \quad (8)$$

На практиці прийнято зіставляти між собою відносні величини: кратності короткочасних перенапруг щодо найбільшої робочої ($U_{\text{н.р}} = U_{\text{д}}$) або еквівалентної напруги $U_{\text{Ек}}$ (7), як це показано на рис. 5.

- **Номінальний струм.** Встановлення нормованого розрядного струму, $I_{\text{н}}$, має важливе значення, оскільки захисний рівень розрядника від перенапруг оцінюється параметром $I_{\text{н}}$. Крім того, здатність ОПН абсорбувати енергію без виходу з теплової стійкості прямо зв'язана також з нормованим розрядним струмом.

Згідно [5] для лінії з найбільшою робочою напругою від 1 кВ до 245 кВ очікувані розрядні струми приймаються: 5 кА і 10 кА. Для лінії від 1 кВ до 72,5 кВ із низьким опором заземлюючих пристроїв і з помірною грозовою активністю, у випадку розташування розрядників не далі 5 км один від одного, приймається ефективним використання ОПН із номінальним розрядним струмом 5 кА. А розрядники з $I_{\text{н}} = 10$ кА рекомендується встановлювати на відповідальних ділянках мережі.

Для контактної мережі України, де грозова активність відносно висока, виправдано прийняти:

$$I_{\text{н}} = 10 \text{ кА} . \quad (9)$$

- **Пропускна здатність.** Через ОПН у «відкритому» стані протікають супровідні струми мережі, відповідно стійкість розрядників до струмів перехідного стану визначається припустимою енергією абсорбції, $W_{\text{аб}}$.

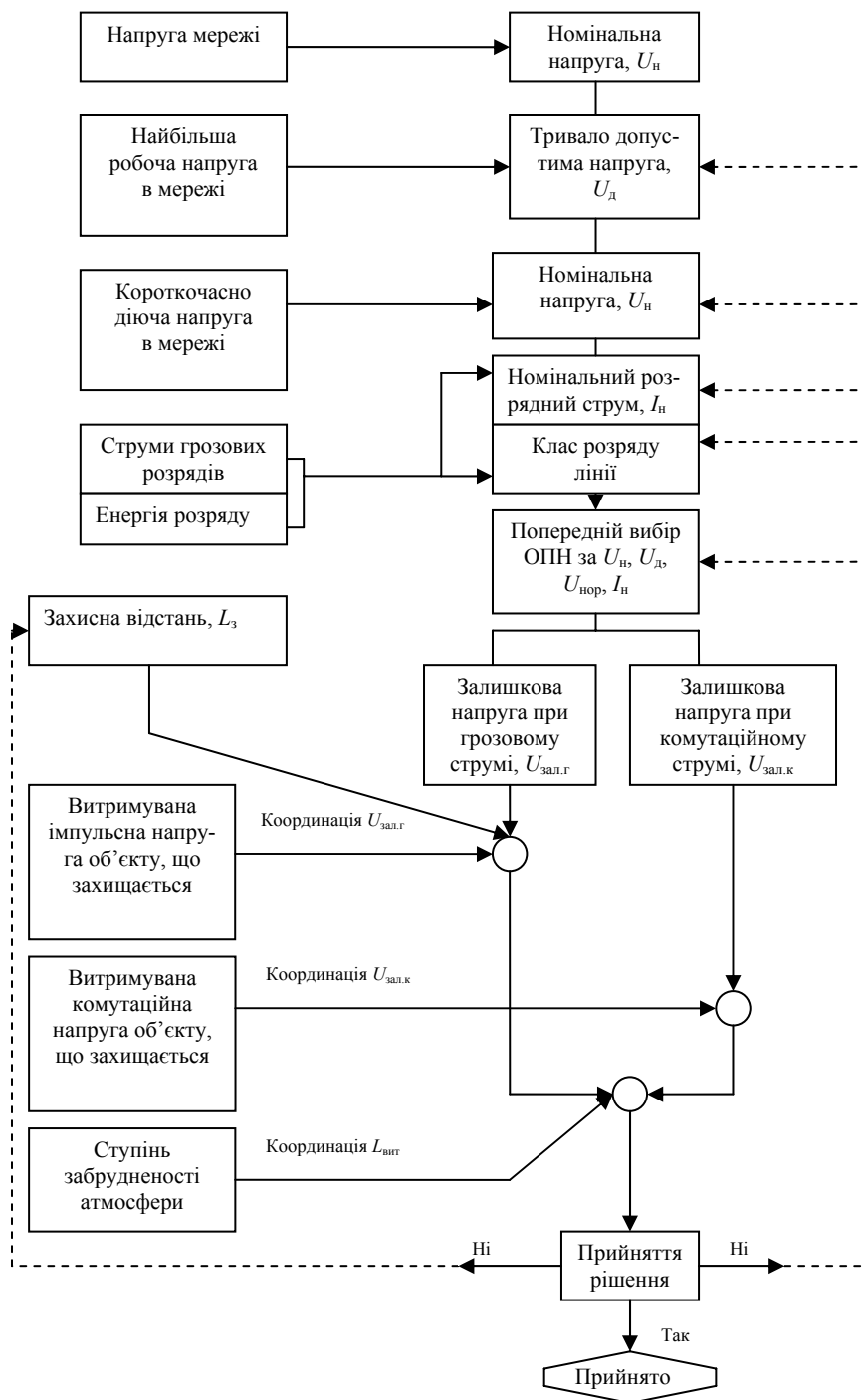


Рис. 4. Схема вибору ОПН

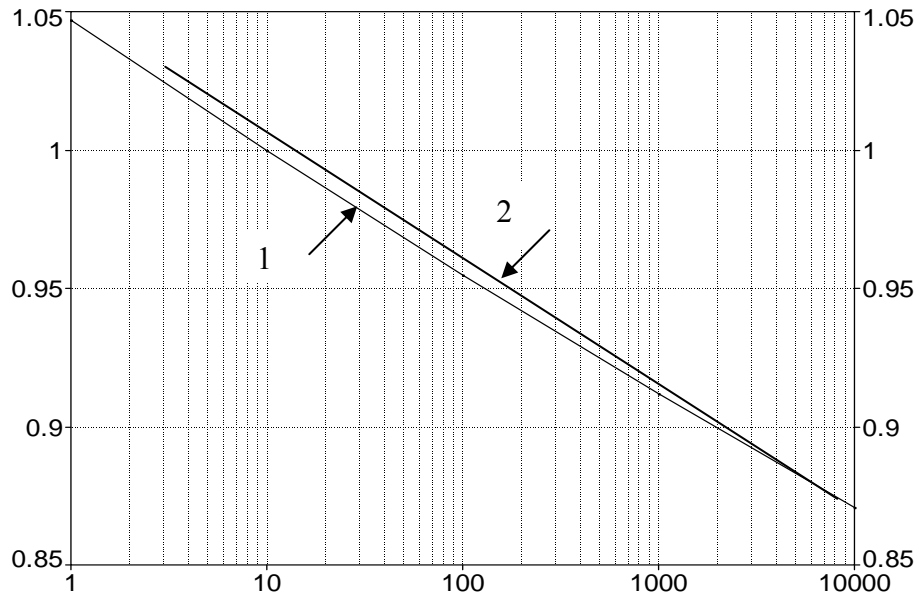


Рис. 5. Графічне подання співвідношень (7) і (8): 1 - $U_{т.м}/U_{ЕК}$; 2 - $U_{т.р}/U_{ЕК}$

Стійкість ОПН до енергії, що виділяється в них, характеризує їхні класи розряду лінії; вони, у свою чергу, визначаються величинами

номінальних, комутаційних і сильних струмів (табл. 4).

Таблиця 4

Клас лінійних розрядних струмів ОПН

Кваліфікація ОПН		Пікове значення струму комутаційної хвилі, I_k , А	Сильний струм, $I_{н.с.}$, кА
Клас лінійного розрядного струму	Номінальний струм, I_n , А		
1 і 2	10 000	125 і 500	1кл - 65; 2кл - 100
3	10 000	250 і 1 000	100
4 і 5	20 000	500 і 2 000	100

При відомих номінальних струмах (див. табл. 4) і робочих параметрах ОПН, що обираються, контрольні рівні енергії W_k , з якими зв'язується припустима енергія абсорбції, $W_{аб}$:

$$W_{аб} > W_k \{W_{кл}, W_{кс}\}, \quad (10)$$

обчислюються за наступними формулами:

- у випадку комутації лінії:

$$W_{кл} = 2U_{зал.к} (U_e - U_{зал.к}) \frac{T_b}{Z_l}, \quad (11)$$

де U_e – амплітуда перенапруги при замиканні фази на землю (МЕК60071-2);

$U_{зал.к}$ – залишкова напруга комутаційного імпульсу струму;

T_b – час пробігу хвилі;

Z_l – хвильовий опір лінії;

- у випадку включених ємнісних об'єктів:

$$W_{кс} = 0,5C \left[(3U_{м.р})^2 - (\sqrt{2}U_{нор})^2 \right], \quad (12)$$

де C – еквівалентна ємність об'єкта;

$U_{м.р} = \sqrt{2}U_n$ – пікове значення робочої напруги;

$U_{нор}$ – нормована напруга ОПН.

В енергосистемах Росії [3] прийнята більш деталізована градація ОПН за пропускною здатністю, тому вона зручніша для користування.

Відповідно до табл. 5 приймаємо:

$$W_{аб} = W_{пит} \times U_{н.р}.$$

Для ізоляції контактної мережі загрозу представляють практично тільки грозові перенапруги. Із цієї причини вибір захисного рівня розрядника полягає в координації між витримуваною напругою об'єкта, що захищається – ізоляторів, $U_{в.імп}$, і залишковою напругою ОПН при номінальних розрядних струмах грозових імпульсів з крутизною фронту в діапазоні від 1 мкс до 8 мкс, $U_{зал.г}$.

Класи ОПН за пропускну здатністю

Клас	Номинальний струм, I_n , А	Пікове значення струму комутаційної хвилі (2000мкс), $I_{пр}$, А	Питома до робочої напруги енергія поглинання, $W_{пит}$, кДж/кВ	Сильний струм, $I_{н.с.}$, кА
1	5 000...10 000	250...400	1...2	65
2	10 000	401...750	2,1...3,2	100
3	10 000	751...1 100	3,3...4,5	100
4	10 000...20 000	1 101...1 600	4,6...6,0	100
5	20 000	1 601...21 000	6,1...7,0	100

Коефіцієнт координації приймається рівним 1,15, тобто:

$$U_{зал.г} \leq U_{в.імп} / 1,15. \quad (13)$$

При координації ОПН з ізоляцією електроустаткування, окрім вимоги (13), необхідно оптимізувати і місце установки захисного розрядника. За можливості рекомендується максимально наблизити ОПН до введення устаткування, однак з різних причин, у тому числі, з економічних міркувань – бажанням одним ОПН охопити більшу кількість об'єктів, не завжди доцільно встановлювати їх у безпосередній близькості до одного об'єкта. Координація в цьому випадку здійснюється з урахуванням лінійних розмірів лінії і місця підключення розрядника за емпіричною формулою МЕК 60071-2 [7]:

$$U_{к.імп} = U_{зал.г} + \frac{Q}{N} \times \frac{L_c}{L_n + L_d}, \quad (14)$$

де $U_{к.імп} = U_{в.імп} / 1,15$ – координована захисна імпульсна напруга;

$U_{зал.г}$ – захисний рівень імпульсної напруги ОПН;

Q – напруга, що залежить від конфігурації лінії підходу до підстанції (табл. 6);

N – кількість ліній, приєднаних до підстанції;

$L_c = d + d_1 + d_p + d_2$ – сумарна довжина приєднання ОПН із об'єктом (рис. 6);

L_n – довжина прольоту лінії;

$L_d = H_o / H_n$ – довжина ділянки лінії з нормованим рівнем відмови;

H_o – нормоване число відмов устаткування, що захищається;

H_n – нормоване число простою підходящої до підстанції лінії на одиницю довжини і часу. МЕК 60071-2 дає значення H_o в діапазоні 0,1...0,4 % у рік. У розподільних мережах питома число простою лінії істотно більше, ніж нормоване число відмов устаткування, тому параметром L_d можна зневажити.

Якщо нормований захисний рівень устаткування (див. (13)) відомий, то з (14) одержуємо довжину захисної зони $L_3 = L_c$:

$$L_3 = \frac{N}{Q} \left(\frac{U_{в.імп}}{1,15} - U_{зал.г} \right) (L_n + L_d). \quad (15)$$

Відомий виробник сучасних ОПН – фірма АВВ – дає аналогічну формулу розрахунку довжини захисної зони:

$$L_3 = \frac{v}{2S} \left(\frac{U_{в.імп}}{1,2} - U_{зал.г} \right), \quad (15^1)$$

Таблиця 6

Напруга Q у формулі (14) для різних випадків на лінії

Розподільна лінія	Магістральна лінія	Q , кВ
Заземлена траверса		900
Лінія на дерев'яній опорі		2 700
	Однопровідна фаза	4 500
	Двухпровідна фаза	7 000
	У чотири розщеплені фази	11 000
	У 6 і 8 розщеплені фази	17 000

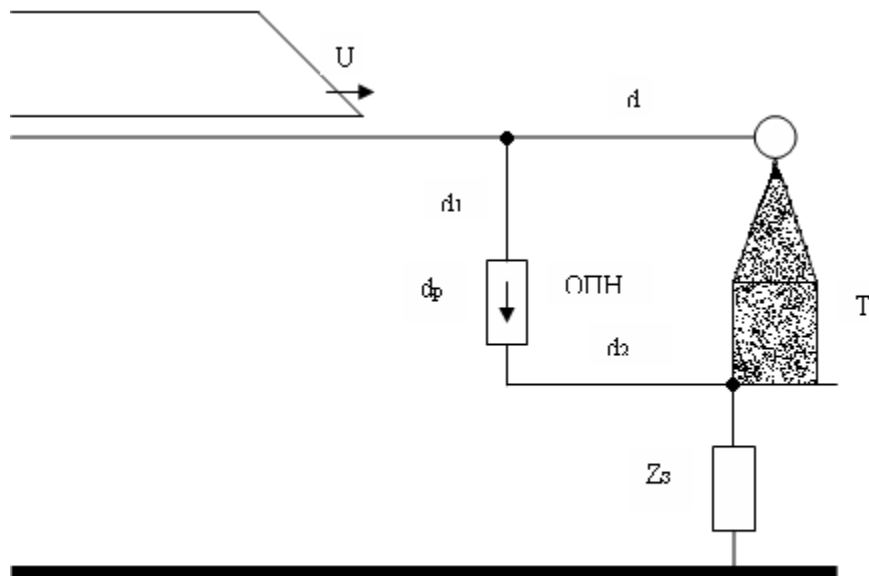


Рис. 6. Схема установки ОПН

де v – швидкість набігання хвилі (300 м/мкс);

S – крутість фронту хвилі перенапруги, що набігає.

Для оцінки захисної відстані рекомендується прийняти крутість фронту, рівною: 1550 кВ/мкс – при дерев'яних опорах; 800 кВ/мкс – при заземлених траверсах.

Наведені величини по грозовій активності відповідають даним для середньоевропейських регіонів, де середньорічне число прямих ударів блискавки на 100 км лінії становить 25 (див. рис. 1). При цьому прориви блискавки з наведеною крутістю на підстанцію прогноуються можливими один раз за 400 років.

ОПН без іскрових проміжків мають істотні переваги перед вентиляними розрядниками в обмеженні комутаційних перенапруг, що є дуже важливою характеристикою при захисті електроустаткування. При виборі захисного рівня комутаційних перенапруг необхідно враховувати статистичний розкид перенапруг. Зі зниженням припустимої для об'єкта перенапруги, що впливає, збільшується ризик ушкодження ізоляції при незначному перевищенні напруги. Для нівелювання такого ефекту запропоновано ввести коригувальний коефіцієнт, $K_{к.к.}$, що залежить від співвідношення між захисним рівнем, $U_{з.к.}$, і перенапругою, очікуваною з 2 % частотою, U_{32} :

$$K_{к.к.} = 1,24 - 0,2 \frac{U_{з.к.}}{U_{32}}, \quad 0,7 < \frac{U_{з.к.}}{U_{32}} \leq 1,2. \quad (16)$$

Відповідно, маємо наступну координацію між витримуваною для устаткування комутаційною перенапругою, $U_{в.к.}$, і захисною напругою ОПН, $U_{з.к.} = U_{з.к.}$:

$$U_{в.к.} \geq K_{к.к.} \times U_{з.к.}, \quad 1,0 < K_{к.к.} \leq 1,1. \quad (17)$$

На практиці, якщо частота виникнення комутаційних перенапруг мала, то коригувальний коефіцієнт приймається рівним 1, при великій частоті, що має місце в контактній мережі – 1,1.

ЗАГАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ ВИБОРУ ОПН

Вибір ОПН починається з визначення основних параметрів розрядника: U_d , $U_{нор}$ – з умови забезпечення надійної роботи при нормальному режимі експлуатації; номінальних розрядних струмів, I_n – по номінальній напрузі мережі і інтенсивності грозової діяльності. Для встановлених параметрів U_d , $U_{нор}$ та I_n проводиться перевірка стійкості розрядника до абсорбції енергії починаючи для ОПН з мінімально припустимою $W_{аб}$ (табл. 4 або 5). У випадку невідповідності даному критерію береться ОПН із більшою величиною $W_{аб}$, що відповідає переходу на більш високий клас за розрядом лінії або за пропускну здатністю. Якщо в характеристиках обраного ОПН не наведено нормованої енергії абсорбції, то її можна обчислити за співвідношенням:

$$W_{аб} = U_{з.л.} (U_{з.к.} - U_{з.л.}) \frac{T_n}{Z}, \quad (18)$$

де значення $U_{з.л.}$, T_n і Z надані в табл. 7.

Параметри для оцінки енергії абсорбції

Номинальний струм ОПН, I_n , А	Клас лінійного розряду	Хвильовий опір лінії, Z , Ом	Тривалість прямокутного імпульсу, T_n , мкс	Зарядна напруга лінії, $U_{з.л.}$, кВ
10 000	1	$4,9U_{нор}$	2 000	$3,2U_{нор}$
10 000	2	$2,4U_{нор}$	2 000	$3,2U_{нор}$
10 000	3	$1,3U_{нор}$	2 400	$2,8U_{нор}$
20 000	4	$0,8U_{нор}$	2 800	$2,6U_{нор}$
20 000	5	$0,5U_{нор}$	3 200	$2,4U_{нор}$

$U_{нор}$ – нормована напруга ОПН, кВ

Після виконаного коригування для прийнятих параметрів U_d , $U_{нор}$ та I_n встановлюються нормовані захисні характеристики ОПН: $U_{зал.г}$ і $U_{зал.к}$, які координуються з витримуваними перенапругами або з випробувальними напругами об'єкта, що захищається. Змінними коригування захисних характеристик ОПН можуть бути робочі параметри U_d , $U_{нор}$, а для імпульсних перенапруг також і довжина захисної зони. Коригування може йти як у бік зниження, так і підвищення раніше обраних як робочих, так і захисних параметрів розрядника. Відповідно, умови роботи ОПН у нормальному режимі можуть трохи погіршитися або покращитися, а захисна зона – зменшитися або збільшитися. Можливо, виявиться доцільним застосування більш дорогого розрядника зі свідомо підвищеними експлуатаційними і захисними параметрами.

Корпус ОПН за своїми електричними характеристиками повинен відповідати вимогам до лінійних і підстанційних ізоляторів з урахуванням особливості матеріалу діелектрика. Не рекомендується встановлювати розрядники в зоні

забруднення вище IV ступеня забруднення (С3) атмосфери, тому що сильні забруднення на поверхні ОПН можуть привести до небажаного збільшення нерівномірності розподілу потенціалу уздовж нелінійних елементів і, відповідно, передчасному виходу їх з ладу. У випадку значних забруднень доцільно проводити профілактичне очищення зовнішньої поверхні корпусу.

При виборі розрядників по зовнішній ізоляції, якщо немає особливих вимог, можна орієнтуватися по ефективній питомій довжині шляху витоку, λ_e , нормованій у «Правилах улаштування електроустановок» (ПУЕ). У табл. 8 надано еквівалентні ступені забруднення атмосфери, прийняті в ПУЕ і в «Правилах улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць» (ЦЕ-0023).

ОПН повинні мати також свідоцтво про випробування на вибухобезпеку. ОПН у полімерних корпусах відносяться до вибухобезпечних об'єктів.

Таблиця 8

Питома ефективна довжина шляху витоку зовнішньої ізоляції

Ступінь забруднення по кваліфікації		Питома поверхнева провідність, χ , мкСм	Питома ефективна довжина шляху витоку, λ_e , см/кВ	
ПУЕ	ЦЕ-0023		До 35 кВ включно	110-750 кВ
1	III	5	1,90	1,60
2	IV	10	2,35	2,00
3	V	20	3,00	2,50
4	VI	30	3,50	3,10
5	VII	50	4,20	3,70

ПРИКЛАД ВИБОРУ ОПН ДЛЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Вихідні дані лінії:

- $U_m = 3,3$ кВ – номінальна напруга мережі;
- $U_{н.р} = 4$ кВ – найбільша робоча напруга;
- $U_{в.імп} = 100$ кВ – імпульсна витримувана напруга ізоляторів;
- $C_{л} \leq 0,014$ мкФ/км – погонна ємність лінії;
- $L_{л} \approx (0,8 \dots 1,25)$ мГн/км – погонна індуктивність лінії;
- $Z_w = (225 \dots 300)$ Ом – хвильовий опір лінії;
- $t \approx (60 \dots 100)$ – число грозових годин у році;
- забруднення – помірне, IV СЗ;
- найбільше поперечне зусилля – не більше 300 Н.

Вихідні дані схеми заміщення тягової підстанції:

- $C_{е.п} \approx (0,03 \dots 0,05)$ мкФ – еквівалентна вхідна ємність при відсутності згладжуючих фільтрів;
- $C_{е.ф} \approx (125 \dots 165)$ мкФ – еквівалентна вхідна ємність при наявності згладжуючих фільтрів, визначається еквівалентною ємністю фільтра;
- $U_{в.імп} = 12$ кВ – витримувана перенапруга грозового імпульсу вентильного агрегату;
- $U_{в.ком} \leq 8$ кВ комутаційна витримувана перенапруга вентильного агрегату;
- $L_{е.ф} \approx (5,0 \dots 7,5)$ мГн – еквівалентна індуктивність при наявності згладжуючих фільтрів, визначається як сума індуктивностей фільтра і згладжуючого реактора;
- забруднення – помірне, IV СЗ;
- найбільше поперечне зусилля – не більше 300 Н.

Вихідні дані тягового трансформатора на 35 кВ типу ТМРУ-5600(6200)/35 на підстанції:

- $L_T \approx (1,7 \dots 2,0)$ мГн – еквівалентна індуктивність тягового трансформатора, віднесена до вторинної обмотки;
- $C_T \approx (0,0015 \dots 0,002)$ мкФ – еквівалентна ємність тягового трансформатора;
- $U_{в.імп} = 180$ кВ – допустима перенапруга грозового імпульсу;
- $U_{в.ком} = 80 \times \sqrt{2} = 113$ кВ – допустима перенапруга комутаційного імпульсу, прийнята як амплітудне значення однохвилинної випробувальної напруги робочої частоти;
- забруднення – помірне, IV СЗ;
- найбільше поперечне зусилля – не більше 300 Н.

Встановлення границь допустимих параметрів ОПН

Наведені дані лінії і підстанції дозволяють встановити припустимі граничні значення характеристик ОПН для захисту мережі і її підходів до підстанції згідно критеріїв, викладених вище. Результати розрахунків представлені в табл. 9.

ВИСНОВКИ

На основі існуючих нормативних матеріалів розроблено робочий алгоритм розрахунку параметрів ОПН і рекомендацій щодо вибору відповідних розрядників, що забезпечують оптимальний захист електроенергетичних об'єктів електрифікованих залізниць постійного струму від грозових і комутаційних перенапру. Наведено приклад використання даної методології при виборі ОПН для захисту обладнання контактної мережі постійного струму.

Таблиця 9

Результати розрахунків

Вихідні дані об'єкта, що захищається			Допустимі параметри ОПН	
№ з/п	Найменування характеристик	Значення	Найменування характеристик	Значення
1	2	3	4	5
Лінія контактної мережі				
1	Номінальна напруга мережі	3,3 кВ	Номінальна напруга, U_m	3,3 кВ
2	Найбільша робоча напруга мережі	4,0 кВ	Довгостроково допустима напруга, U_d	Не менше 4 кВ
3	Короткочасні перенапруги мережі, до 10 с	4,2...4,5 кВ*	Нормована напруга, $U_{нор}$	Не менше** 4,2...4,5 кВ
4	Гроза активність	80...100 грозогодин	Номінальний розрядний струм, $I_{нз}$, 8/20 мкс	10 кА

Таблиця 9 (закінчення)

1	2	3	4	5
5	Імпульсна витримувана напруга ізоляції мережі	100 кВ	Залишкова напруга при I_n , $U_{зал.г}$	Не більше $100/1,15 = 87$ кВ
6	Енергія заряду мережі з погонною ємністю 0,014 мкФ і при розрахунковій довжині 100 км ***	0,11 кДж	Питома енергія абсорбції ОПН для захисту лінії, $W_{пит}$	Достатньо 1 кДж/кВ, ОПН класу 1, $I_{снл} = 65$ кА
Тягова підстанція з боку контактної мережі 3,3 кВ				
7	Гранично припустима перенапруга випрямного агрегату	$U_{в.імп} = 12$ кВ $U_{в.ком} = 9,0$ кВ	Захисні рівні ОПН:	$U_{зал.г} \leq 12$ кВ $U_{зал.к} \leq 9,0$ кВ
8	Енергія заряду вхідної ємності тягової підстанції зі згладжуючим фільтром, 165 мкФ	12,8 кДж	Питома енергія абсорбції ОПН на вході тягової підстанції, $W_{пит}$	Не менше $12,8/3,3 \leq 4$ кДж/кВ, ОПН класу 3
Тяговий трансформатор ТМРУ-5600(6200)/35 з боку живильної лінії 35 кВ				
9	Найбільша робоча напруга	35 кВ	Довгостроково допустима напруга, U_d	Не менше 35 кВ
10	Короткочасні перенапруги мережі, до 10 с	40,5 кВ*	Нормована напруга, $U_{нор}$	Не менше ** 40,5 кВ
11	Гроза активність	80...100 грозовогодин	Номинальний розрядний струм, I_n , 8/20 мкс	10 кА
12	Випробувальна (припустима) перенапруга живильного устаткування тягової підстанції	$U_{в.імп} = 180$ кВ $U_{в.ком} = 113$ кВ	Захисні рівні ОПН:	$U_{зал.г} \leq 156,5$ кВ $U_{ост. до} \leq 102,7$ кВ
13	Енергія заряду еквівалентної ємності тягового трансформатора, $C_{е.тр} = 0,002$ мкФ; + енергія заряду фази ВЛ 35кВ із $C_d = 0,005$ мкФ/км із розрахунковою довжиною 100 км***	5,2 кДж	Питома енергія абсорбції ОПН, $W_{пит}$	Достить 1 кДж/кВ, ОПН класу 1, $I_{снл} = 65$ кА

Примітки по табл. 9:

* – підлягає уточненню в кожному окремому випадку;

** – рекомендується звертати стійкість ОПН до короткочасних перенапруг на всьому часовому діапазоні, для чого зажадати від постачальника вольт/часові характеристики ОПН (див. співвідношення (8) і рис. 5);

*** – довжина лінії береться реальна.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Радченко, В. Д. Техника высоких напряжений устройств электрической тяги [Текст] / В. Д. Радченко. – М.: Транспорт, 1975. – 360 с.
2. ЦЕ-0023. Правила улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць [Текст]. – К., 2008. – 208 с.
3. Халилов, Ф. Х. Техника высоких напряжений [Текст] / Ф. Х. Халилов, В. В. Егоров, А. А. Смирнов. – СПб.: ИПК «Бионт», 2007. – 540 с.
4. Карякин, Р. Н. Форма волны тока молнии в контактной сети [Текст] / Р. Н. Карякин, В. Г. Лосев // Электричество. – 2008. – № 11. – С. 12-22.
5. Косарев, А. Б. Импульсные перенапряжения в системе тягового электроснабжения в грозовой период [Текст] / А. Б. Косарев, А. В. Симаков // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – № 3. – С. 13-18.
6. IEC60099-4:2006. Surge Arresters. Part 4: Metal-Oxide Arresters without Gaps for A.C. Systems [Text].
7. IEC60099-5:2000. Surge Arresters. Part 5: Selection and Application Recommendations [Text].
8. IEC60071-2:1996. Insulator Co-ordination. Part 2: Application Guide [Text].

Надійшла до редколегії 22.12.2010.

Прийнята до друку 29.12.2010.

РЕЛЕЙНИЙ МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЗАХИСТ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ОСНОВАНИЙ НА НОВІЙ ОЗНАЦІ.

1. ТЕОРІЯ РОБОТИ

У статті запропоновано нову ознаку визначення аварійного режиму системи тягового електропостачання постійного струму, а саме, швидкість спадання наруги фідера тягової підстанції. Дана ознака дозволяє визначати вид короткого замикання. Крім того, запропоновано схемні рішення реалізації системи захисту, основані на цій ознаці.

Ключові слова: коротке замикання, напруга фідера, швидкість зміни напруги

В статье предложен новый признак определения аварийного режима системы тягового электроснабжения постоянного тока, а именно, скорость уменьшения напряжения фидера тяговой подстанции. Рассмотренный признак позволяет определять вид короткого замыкания. Кроме того, предложены схемные решения реализации системы защиты, основанные на этом признаке.

Ключевые слова: короткое замыкание, напряжение фидера; скорость изменения напряжения

In the article a new indication of emergency conditions detection for the traction DC power supply system, namely the rate of decreasing the traction substation feeder voltage is suggested. The indication considered allows determining a kind of short circuit. In addition, the circuit design decisions for realization of the protection system based on this indication are proposed.

Keywords: short circuit, feeder voltage, rate of changing voltage

Як відомо [1 – 4], всі існуючі види захисту електротехнічних пристроїв системи електричної тяги ґрунтуються на певних ознаках, а саме на порівнянні значень цих ознак при нормальному та аварійному режимах роботи пристроїв чи систем. В системах релейного захисту тягового електропостачання такими ознаками є: максимальний струм фідера; кидки струмів; крутизна

фронту зростання струму фідера $\left(\frac{di_{\Phi}}{dt} \Big|_{t=0} \right)$; рі-

вень напруги в різних точках тягової мережі, стала часу тощо [1 – 4]. Це й обумовило наявність струмових видів захисту (максимальної струмової, струмової відсічки, максимальної імпульсної струмової), захисту мінімальної напруги (вольтметрового блокування, потенціальної); захисту за опором; захисту, що реагує на перехідні процеси (по швидкості зростання фідерного струму чи його стрибок (приріст)).

Однак порівнюючи основні ознаки, на яких базуються вищезазначені види захисту, можна зробити наступні висновки [2, 4]. При значних відстанях між підстанціями струми віддаленого короткого замикання (малі струми) близькі за значенням з максимальними струмами навантаження нормального режиму, а інколи і менше них. У більшості випадків при великій інтенсивності руху потягів струми пошкодження, що виникли на відстані 8...12 км від тягової підстанції, практично вже не можна відрізнити від максимального навантаження. По крутизні фронту зростання струму і сталої часу кола та-

кож не можна напевно визначати режим тягової мережі, оскільки в нормальних умовах і при короткому замиканні у багатьох випадках вони майже однакові. Кидки струму при короткому замиканні, як правило, вище ніж в нормальному режимі. Виняток складає режим зняття живлення (якщо $t_{\text{пер}} > 0,5$ с) з повторним відновленням напруги, але такий режим є частим у практиці експлуатації. Потенціальний захист також має недоліки – необхідність побудови спеціальної провідної лінії для кожної пари блокуючих вимикачів реле мінімальної напруги, що встановлюються в різних необхідних точках тягової мережі. Зазначені недоліки ознак, а значить і власне систем захисту зобов'язують спеціалістів-електротехніків працювати над пошуком інших ознак (принципів) побудови релейного захисту.

Як відомо, при короткому замиканні в тяговій мережі її напруга знижується. Найбільш різке, практично лінійне, її зменшення спостерігається, по-перше, в перший момент часу аварійного перехідного процесу, і по-друге, в місці короткого замикання (до нуля при металічному короткому замиканні) і в точках поблизу нього (рис. 1 – 3). Тому ознакою, на якій може бути побудовано захист, на нашу думку, є крутизна фронту такого зменшення фідерної на-

пруги $\frac{du_{\Phi}}{dt} \Big|_{t=0}$. Швидкість $\frac{du_{\Phi}}{dt}$ різна в залеж-

ності від відстані місця короткого замикання до фідера з розглядуваним u_{Φ} .

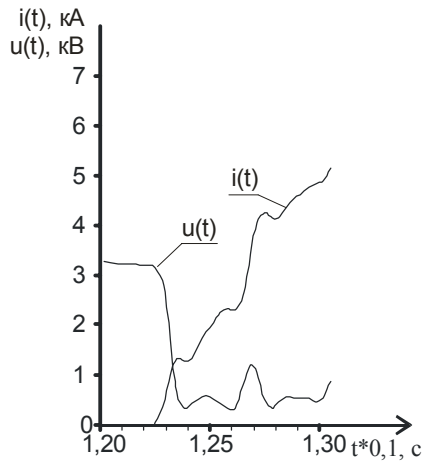


Рис. 1. Осцилограма відключення подвійним вимикачем 2×ВAB-43 близького короткого замикання

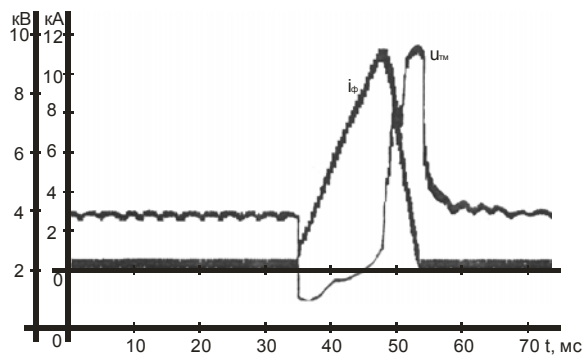


Рис. 2. Осцилограма відключення подвійним вимикачем 2×ВAB-49 глухого короткого замикання з усталеним струмом 27 кА на виході тягової підстанції «Істок» (за даними ОАО «УЕТМ») [5]

З метою теоретичного обґрунтування можливості використання крутизни фронту $\left. \frac{du_{\Phi}}{dt} \right|_{t=0}$ для створення захисту ввімкнемо між

фідером та рейкою вітку $R_d C$ (яку назвемо «віткою захисту») (рис. 4).

До моменту короткого замикання струм $i_3(t)$ в цій вітці не протікав внаслідок того, що фідерна напруга u_{Φ} є постійною (вважатимемо ідеально випрямленою), рівною деякому початковому значенню $U_{\Phi H}$. В момент початку короткого замикання напруга u_{Φ} починає з точки «н» лінійно зменшуватися (рис. 5), нехай до деякого значення $U_{\Phi K}$, до точки «к». Сумістимо точку «н» з початком відліку часу «0», тобто, з моменту виникнення і подальшого протікання перехідного процесу зменшення фідерної напруги $u_{\Phi}(t)$.

Під дією змінної (зменшення) напруги $u_{\Phi}(t)$, прикладеної до «вітки захисту», в останній починає протікати струм $i_3(t)$. Визна-

чимо його за допомогою інтеграла Дюамеля [7], згідно якого можна записати:

$$i_3(t) = \int_0^t \frac{du_{\Phi}}{dt} G(t-\tau) d\tau, \quad (1)$$

де $G(t)$ – перехідна провідність простого $R_d C$ -кола, утворена «віткою захисту» (рис. 4). Ця провідність дорівнює шуканому перехідному струму $i_3^1(t)$ кола рис. 4 при її включенні на одиничну напругу. Згідно [7], для $R_d C$ -кола вона визначається виразом

$$G(t) = i_3^1(t) = \frac{1}{R_d} e^{-\frac{t}{T_3}}, \quad (2)$$

де $T_3 = R_d C$ – стала часу «вітки захисту».

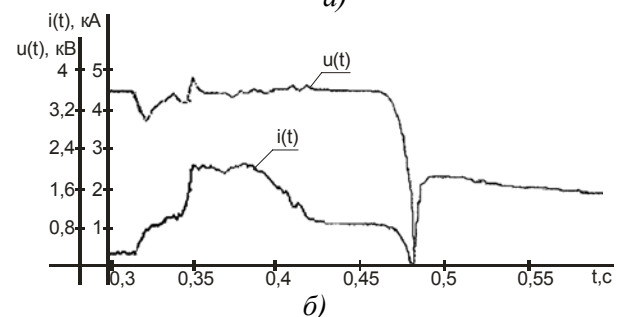
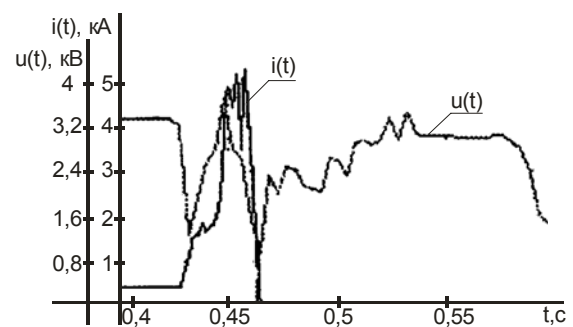


Рис. 3. Осцилограми перехідних процесів відключення ШВ Тягової підстанції з двох сторін шляху фідерної зони, коротке замикання в тяговій мережі: а) відключення ШВ фідера 2 тягової підстанції «Ховріно»; б) відключення ШВ фідера 4 тягової підстанції «Останкіно» [6]

Тоді підставимо (2) в (1), для моментів часу перехідного процесу $0 \leq t < t_{\Phi}$ (рис. 5) величину струму $i_3(t)$ можна записати

$$i_3(t) = \frac{1}{R_d} \int_0^t \frac{du_{\Phi}}{dt} e^{-\frac{(t-\tau)}{T_3}} d\tau. \quad (3)$$

Згідно експериментальних даних (рис. 1–3), функція $u_{\Phi}(t)$ є лінійною

$$u_{\Phi}(\tau) = \frac{U_{\Phi K} - U_{\Phi H}}{t_{\Phi}} \tau \quad (4)$$

і тоді її похідна представляє собою деяку сталу величину

$$\frac{du_{\Phi}}{dt} = \frac{U_{\Phi K} - U_{\Phi H}}{t_{\Phi}}, \quad (5)$$

а, відповідно, цю похідну можна винести за знак інтеграла виразу (3), після інтегрування, з врахуванням формули для T_3 , отримаємо

$$\begin{aligned} i_3(t) &= \frac{du_{\Phi}}{dt} \frac{1}{R_d} \int_0^t e^{-\frac{t}{T_3}} e^{\frac{\tau}{T_3}} d\tau = \frac{du_{\Phi}}{dt} \frac{1}{R_d} \left(T_3 e^{\frac{\tau}{T_3}} \right) \Big|_0^t = \\ &= \frac{du_{\Phi}}{dt} \frac{R_d C}{R_d} e^{-\frac{t}{T_3}} \left(e^{\frac{t}{T_3}} - 1 \right) = C \frac{du_{\Phi}}{dt} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_3}} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

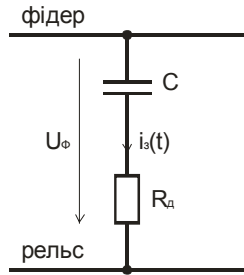


Рис. 4

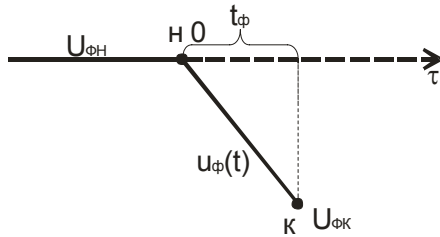


Рис. 5

Якщо стала часу T_3 в (6) достатньо велика, а t_{Φ} дуже маленька ($e^{-\frac{t}{T_3}} \approx 1$), тоді:

$$i_3(t) = C \frac{du_{\Phi}}{dt} \Big|_{t=0}. \quad (7)$$

Тобто, згідно (6) та (7) струм $i_3(t)$ у «вітці захисту», що знаходиться під дією спаду фідерної напруги при короткому замиканні, прямо пропорційна швидкості зменшення цієї напруги на початку її зміни, тобто крутизни, фронту спаду фідерної напруги.

Дамо теоретичне обґрунтування роботи ряду (в тому числі й деяких відомих [1 – 4]) принципових схем релейних пристроїв захисту, які базуються на отриманих, згідно нової ознаки, виразів (6) та (7).

Найбільш простою є схема на основі шунта з $r_{\text{ш}}$, представлена на рис. 6, де r_p , L_p – активний опір та індуктивність реле.

Для неї згідно закону Кірхгофа маємо:

$$i_3 - i_{\text{ш}} - i_p = 0; \quad (8)$$

$$r_{\text{ш}} i_{\text{ш}}(t) = r_p i_p(t) + L_p \frac{di_p}{dt}. \quad (9)$$

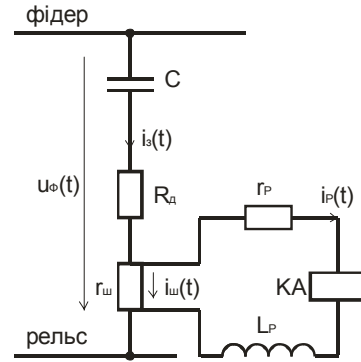


Рис. 6

Розв'язавши систему рівнянь (6), (8), (9), отримаємо:

$$i_p(t) = \frac{r_{\text{ш}} C}{r_{\text{ш}} + r_p} \frac{du_{\Phi}}{dt} \left(1 - e^{-t/T_3} \right) - \frac{L_p}{r_p} \frac{di_p}{dt}. \quad (10)$$

Якщо підібрати реле так, щоб його стала часу $T_p = L_p / r_p$ була настільки малою, щоб можна було знехтувати другою складовою у виразі (10), тоді для моментів часу $0 \leq t < t_{\Phi}$ (рис. 5) отримаємо:

$$i_p(t) = \frac{r_{\text{ш}} C}{r_{\text{ш}} + r_p} \frac{du_{\Phi}}{dt} \Big|_{t < t_{\Phi}} \left(1 - e^{-t/T_3} \right), \quad (11)$$

тобто практично $i_p(t) \sim \frac{du_{\Phi}}{dt} \Big|_{t < t_{\Phi}}$.

Розглянемо схему, в якій джерелом сигналу, для розглянутого захисту, є спеціальний трансформатор струму з повітряним проміжком (рис. 7) [1, 2, 4].

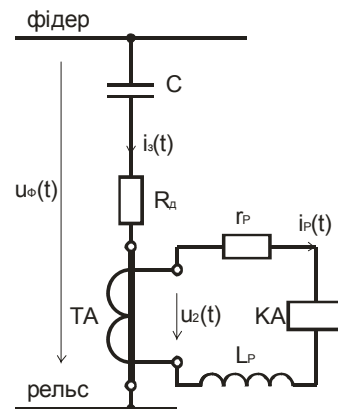


Рис. 7

В режимі короткого замикання і тим самим при зміні фідерної напруги $u_{\Phi}(t)$ у «вітці захи-

сту» з'являється змінний струм $i_3(t)$. В результаті, внаслідок явища взаємоіндукції, на вторинній обмотці трансформатора струму ТА індукується ЕРС взаємоіндукції, яка створює на затискачах вторинної обмотки напругу від взаємоіндукції:

$$u_2(t) = M \frac{di_3}{dt}, \quad (12)$$

де M – коефіцієнт взаємоіндукції між обмотками трансформатора струму.

З іншої сторони, для контура з реле струму за 2-им законом Кірхгофа:

$$u_2(t) = r_p i_p(t) + L_p \frac{di_p}{dt}. \quad (13)$$

Прирівняємо (12) до (13) і підставимо замість $i_3(t)$ вираз (6), тоді отримаємо:

$$MC \frac{d}{dt} \left[\frac{du_\Phi}{dt} \left(1 - e^{-t/T_3} \right) \right] = r_p i_p(t) + L_p \frac{di_p}{dt}. \quad (14)$$

Оскільки функція u_Φ на початковій стадії короткого замикання є лінійною, то крутизна її фронту, тобто $\frac{du_\Phi}{dt}$, є величиною сталою і тоді після диференціювання лівої частини рівності (14) прийме вигляд:

$$\frac{M}{R_d} \frac{du_\Phi}{dt} e^{-t/T_3} = r_p i_p(t) + L_p \frac{di_p}{dt}. \quad (15)$$

Розділивши обидві частини рівності (15) на r_p та прийнявши, що стала часу T_p маленького значення, що другою складовою правої частини виразу (15) можна знехтувати, кінцево отримаємо:

$$i_p(t) = \frac{M}{R_d r_p} \frac{du_\Phi}{dt} \Big|_{t < t_\Phi} e^{-t/T_3}. \quad (16)$$

Таким чином, струм реле струму (тобто його реакція) прямо пропорційна крутизні фронту імпульсу спадання фідерної напруги.

Розглянемо роботу захисту по схемі моста [1], в діагональ якого ввімкнено реле (рис. 8). Завдяки рівним активним опорам R пліч моста він при нормальних режимах роботи (навіть якщо U_Φ буде ідеально згладженим чи буде коливатися) буде знаходитися в рівновазі, тоді $u_{24}(t) = 0$ і струм реле $i_p(t)$ також дорівнюватиме 0 ($i_p(t) = 0$).

При різкій зміні u_Φ струм $i_3(t) \neq 0$. І якщо стала часу моста T_M буде дуже маленького значення у порівнянні із сталою часу «вітки

захисту» T_3 , то при малому струмі через реле $i_p(t)$ струм через плече моста буде рівним [1]:

$$i_R = i_L = \frac{r_{ш}}{2R} i_{ш}. \quad (17)$$

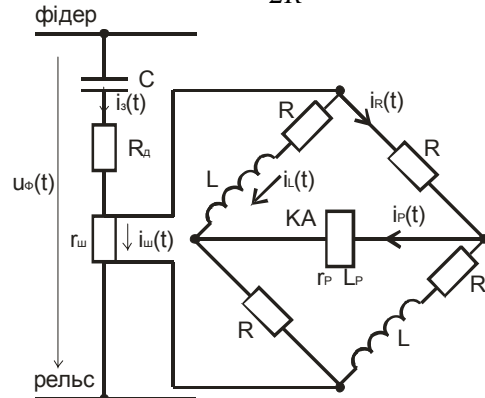


Рис. 8

Для контуру 1-2-4-1 рис. 8 маємо:

$$\begin{aligned} -R i_L(t) - L \frac{di_L}{dt} + r_p i_p(t) + \\ + L_p \frac{di_p}{dt} + R i_R(t) = 0, \end{aligned} \quad (18)$$

чи з врахуванням рівності $i_R = i_L$:

$$L \frac{di_L}{dt} = r_p i_p(t) + L_p \frac{di_p}{dt}. \quad (19)$$

Для вузла з шунтом рис. 8:

$$i_3(t) = i_M(t) + i_{ш}(t).$$

Відповідно для вузла 1:

$$i_M(t) = i_R(t) + i_L(t) = 2i_L(t).$$

Тоді $i_3(t) = i_{ш}(t) + 2i_L(t)$, звідки

$$i_{ш}(t) = i_3(t) - 2i_L(t). \quad (20)$$

Підставимо в (20) вираз (6) для $i_3(t)$ і струм $i_{ш}(t)$ з виразу (17), отримаємо:

$$\frac{2R}{r_{ш}} i_L = C \frac{du_\Phi}{dt} \left(1 - e^{-t/T_3} \right) - 2i_L. \quad (21)$$

З цього виразу струм i_L дорівнює:

$$i_L = \frac{Cr_{ш}}{2(R+r_{ш})} \frac{du_\Phi}{dt} \left(1 - e^{-t/T_3} \right). \quad (22)$$

Підставимо (22) в (19) і, продиференціювавши, отримаємо:

$$\frac{Lr_{ш}}{2(R+r_{ш})R_d} \frac{du_\Phi}{dt} e^{-t/T_3} = r_p i_p(t) + L_p \frac{di_p}{dt}. \quad (23)$$

Поділивши обидві частини рівності (23) на r_p та враховуючи, що стала часу T_p настільки маленька, що можна знехтувати складовою $L_p \frac{di_p}{dt}$, кінцево отримаємо:

$$i_p(t) = \frac{L r_{ш}}{2(R + r_{ш}) R_d r_p} \frac{du_{\Phi}}{dt} \Big|_{t < t_{\Phi}} e^{-t/T_3}, \quad (24)$$

тобто реакція реле часу пропорційна швидкості зменшення фідерної напруги.

Слід зазначити, що формули (11), (16) і (24) для струму реле справедливі за умови, що стала часу T_p дуже маленька, чого легко досягти, застосовуючи електронні реле (але дуже важко – у електромагнітних).

Як було зазначено вище, всі види релейного захисту ґрунтуються на порівнянні значень певних ознак і при нормальних та аварійних режимах роботи системи. В запропонованому виді захи-

сту такими ознаками є $\frac{du_{\Phi}}{dt}$, значення якого в

режимі короткого замикання наведені в табл. 1 для однієї з ділянок тягового електропостачання Придніпровської залізниці.

Таблиця 1

Тип ШВ	Значення $\frac{du_{\Phi}}{dt}$, кВ/с		
	Близьке КЗ	Середнє КЗ	Дальнє КЗ
2×ВAB-43	3214,0	1254,4	586,4
2×ВAB-49	2722,5	712,5	476,5

При відключенні ШВ під час струмового перенавантаження $\frac{du_{\Phi}}{dt} = 330$ кВ/с. Під час пуску ЕРС фідерна напруга не змінюється.

Для визначення $\frac{du_{\Phi}}{dt}$ в нормальному режимі роботи звернемося до такого показника якості електроенергії для електричних мереж постійного струму (згідно ГОСТ 13109-97) як коливання напруги, під яким розуміють швидку зміну, що відбувається зі швидкістю 1...2 % за секунду. Тут 1...2 % – відносне відхилення (амплітуда) коливання напруги δU_t , яке визначають відносною різницею між слідуючими один за одним екстремумами напруги

$$\delta U_t = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 \%.$$

Звідси впливає, максимальна зміна фідерної напруги (згідно цього виразу) складає:

$0,02 \cdot 3,3 = 0,066$ кВ за 1 секунду, що значно нижче $\frac{du_{\Phi}}{dt}$, наведених у табл. 1.

Тепер розглянемо екстремальне значення зміни фідерної напруги згідно правил технічної експлуатації. Як відомо, згідно ПТЕ $U_{\max} = 4$ кВ, $U_{\min} = 2,7$ кВ. Тоді найбільш несприятливе відхилення напруги буде: $4 - 2,7 = 1,3$ кВ/с, що значно нижче табличних значень.

З цього короткого аналізу виходить, що захист на запропонованому принципі:

1) «відрізняє» нормальні та аварійні режими;

2) «відрізняє» вид короткого замикання («близьке», «середнє», «дальнє»).

Для цього необхідно на тяговій підстанції встановити три комплекти захисту, в кожен з яких реле струму налаштувати на відповідне значення $\frac{du_{\Phi}}{dt}$. В цьому випадку відповідне

реле буде спрацьовувати при відповідному КЗ. Або застосовувати цей принцип в багатопараметричних системах захисту, побудованих на мікропроцесорній елементній базі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Кучма, К. Г. Защита от токов короткого замыкания в контактной сети [Текст] / К. Г. Кучма, Г. Г. Марквардт, В. Н. Пупынин. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – 303 с.
2. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К. Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
3. Сердинов, С. М. Повышение надежности устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог [Текст] / С. М. Сердинов. – М.: Транспорт, 1985. – 301 с.
4. Фигурнов, Е. П. Релейная защита [Текст] / Е. П. Фигурнов. – К.: Транспорт України, 2004. – 565 с.
5. Пупынин, В. Н. Сравнение фидерных выключателей постоянного тока 2×ВAB-49-3200/3-Л и GERapid 4207 2×4 [Текст] / В. Н. Пупынин, С. Х. Дарчиев // Железные дороги мира. – 2006. – № 5. – С. 64-71.
6. Анисов, А. Н. Повышение эффективности работы защиты фидеров контактной сети на основе исследования переходных процессов токов короткого замыкания в тяговой сети и на подвижном составе [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Анисов. – М., 2000. – 138 с.
7. Костін, М. О. Теоретичні основи електротехніки [Текст] / М. О. Костін, О. Г. Шейкіна. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – Т. 2. – 368 с.

Надійшла до редколегії 17.01.2011.

Прийнята до друку 21.01.2011.

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ДІАГНОСТИЧНОГО ПАРАМЕТРА ДЛЯ ВІБРОАКУСТИЧНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ

Виконано наукове обґрунтування вибору діагностичного параметра для нового методу діагностування залізобетонних опор контактної мережі на основі середньої інформації про стан опори.

Ключові слова: контактна мережа, залізобетонна опора, віброакустичне діагностування

Проведено научное обоснование выбора диагностического параметра для нового метода диагностики железобетонных опор контактной сети на основе средней информации о состоянии опоры.

Ключевые слова: контактная сеть, железобетонная опора, виброакустическая диагностика

The scientific substantiation of a selection of diagnostic parameter for a new method of diagnostics of ferro-concrete supports of an electric-traction network on the basis of the average information on a support condition is conducted.

Keywords: electric-traction network, ferro-concrete support, vibroacoustic diagnostics

Вступ

Несучі конструкції контактної мережі, до числа яких відносяться залізобетонні опори, є відповідальними нерезервованими елементами електрифікованих залізниць. Питанням міцності залізобетонних опор контактної мережі приділялась особлива увага як на стадії розробки і проектуванні, так і на стадії виготовлення і експлуатації. Тому діагностиці якості опор приділяється велике значення.

Станом на 01.01.2009 р. в експлуатації знаходиться 372 260 опор контактної мережі, з яких 95 554 – зі строком служби понад 40 років. Наприклад, у 2008 р. замінено 2 598 опори – це всього 3 % всіх опор, що експлуатуються понад нормативний термін 40 років. При такому темпі оновлення опор на залізниці їх всі можливо замінити тільки через 37 років. Але за цей період практично усі опори, які є в експлуатації, будуть перевищувати нормативний термін експлуатації. Для того, щоб подовжити термін експлуатації, опори необхідно визначити її технічний стан, а це можливо зробити тільки завдяки неруйнівним методам діагностики. Головною ланкою в реалізації «адресно-відновлювального ремонту» й «адресної заміни» опорних конструкцій займалися такі вчені: Беліков Н. В., Галочкін С. Г., Соболев А. В., Кондратьєв П. А., Богданов Ю. В., Гунгер Ю., Тарасов А., Чернев В., Подольський В. Н.

Тому з кожним роком обсяги діагностування опор зростають (у 2003 р. збільшилось на 11,2 %, 2004 р. – 20,6 %, 2005 р. – 24,7 %, 2006 р. – 31 %, 2007 р. – 25,6 %, 2008 р. – 30 % від загальної кількості опор) [1]. Згідно з технологічними картами [2], встановлено норма-

тивні витрати часу на діагностування однієї залізобетонної опори. Для бригади з трьох чоловік нормативні терміни для різних приладів обстеження наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Нормативний термін на перевірку однієї опори

Склад бригади (три чоловіки)	Прилад		
	АДО	ДИАКОР	УК-1401
Електромеханік, 1 чол.	1	1	1
Електромонтер 5 розряду, 1 чол.	1	1	1
Електромонтер 3 розряду, 1 чол.	1	1	1
Норма часу, людино-годин	3,69	3,2	3,0...3,96

З наведених даних табл. 1 можна зробити такий висновок. Якщо робочий день робітника складає 8 годин, а середня норма часу на перевірку однієї опори складає 3,4625 людино-годин, то в середньому бригада діагностує за один робочий день 7 шт. опор, тобто, за місяць (24 робочих дні) діагностує 168 шт. З урахуванням того, що за рік діагностику опор виконувати можливо тільки 6 місяців (роботи з діагностики опор не проводяться: під час дощу та після дощу три дні; зимою при мінусовій температурі; в осінній і весінній періоди за наявності снігу), то кількість обстежених опор буде складати 1008 шт. А за такого зростання кількості опор, що діагностуються тими засобами, що є на залізниці, практично діагностувати якісно неможливо. Тому необхідно розроблювати

нові експрес-методи діагностики, які б зменшили час діагностики опори за рахунок зменшення витрат праці на відкопування опори на 1 м при діагностиці, а після її діагностики закопувати. Знайти і застосовувати нові діагностичні параметри діагностування, які б містили таку інформативність про стан опори як існуючі методи діагностики, а то й вищу.

Існуючі методи діагностики [3] мають ряд недоліків.

Візуальний метод. Потребує встановлення тимчасових розтяжок. Важко визначити дефекти, особливо на початковому періоді електричній корозії, тому на практиці намагаються знайти якісь інші ознаки корозії – наявність глухого звуку при простукуванні, бурі плями на поверхні бетону. Така оцінка дуже умовна, бо не дозволяє знайти винос металу на внутрішніх частинах залізобетонних опор. Суб'єктивний характер візуального контролю залежить тільки від професійної кваліфікації експерта, що може привести до недооцінки небезпеки подальшої експлуатації або передчасної заміни опори. Метод не дозволяє отримати кількісної оцінки розвитку дефектів, і є як часо-, так і працемістким.

Індуктивний метод [4, 5]. Прилад складається з трьох датчиків, що є недоліком, крім того достатньо висока похибка (10 %) і можливість неправдивих показників у разі непостійної товщини захисного шару бетону та зміщення арматурного каркаса, але найбільший вплив здійснює наявність монтажних кілець та спіральної арматури. Прилад ІДА-2 стійко працює лише при температурах від 0 до 30 °С.

Недоліком **ультразвукового методу** [6] є необхідність безпосереднього доступу до поверхні бетону в підземній частині. Не можна проводити вимірювання в дощ і зимову пору року, метод не поширений на випадки оцінки несучої здатності, коли її зниження відбувається внаслідок корозії арматури конструкції. Необхідно враховувати відомості додаткових обстежень. Результати досліджень залежать від суб'єктивних якостей, уважності контролерів, що ведуть підрахунки.

Усі вищезгадані методи потребують відкопування опор, як мінімум на один метр нижче рівня ґрунту, що значно підвищує трудовитрати.

Електрохімічний метод оцінки стану арматури без відкопування опори є достатньо трудомістким, на нього впливають перешкоди зі сторони зовнішнього електричного поля від блукаючих струмів. Це приводить до високого рівня перебраковки, крім того, можливо пропу-

стити небезпечні опори у випадку повного руйнування арматури та втрати електричного зв'язку з арматурою в підземній частині. Струм поляризації значний і джерело поляризації має велику масу (8...10 кг), що незручно при користуванні на перегоні. Немає можливості діагностувати опори, об'єднані груповим заземленням.

Вібраційний метод діагностування має ряд недоліків. Декремент коливань у великій мірі залежить від параметрів ґрунту, способу закладення опори, відхилень технології виготовлення опори, якості бетону. Помітний вплив виявляється лише при значному прояві процесу руйнування опори. Виникають труднощі з діагностикою опор із жорсткою і гнучкою поперечинами. Також, суттєвим недоліком є тривалість процесу збудження коливань у опорі.

Враховуючи усі недоліки існуючих методів діагностики, для розробки нового експрес-методу діагностування необхідно обрати і обґрунтувати новий діагностичний параметр. Для модернізації обрано **віброакустичний метод** [9, 10].

Основна частина

Наукове обґрунтування діагностичного параметра проведемо на основі поняття ентропії. Віброакустичний метод діагностування має ряд таких діагностичних параметрів: декремент згасання амплітуди; тривалість згасання звукових коливань збудженої опори; частота опори після виведення її з рівноваги; розкид частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів збудженої опори. Стан опори D визначається спостереженням за іншим діагностичним параметром B , який не напряму відображає стан опори. Середню величину інформації можливо визначити за формулою [7]:

$$J_D(B) = H(D) - H\left(\frac{D}{B}\right), \quad (1)$$

де $H(D)$ – апіорна ентропія опори D ;

$H\left(\frac{D}{B}\right)$ – ентропія опори D після того, як стало відомо про стан діагностичного параметра B .

Обернене співвідношення також справедливе:

$$J_B(D) = H(B) - H\left(\frac{B}{D}\right). \quad (2)$$

Зробивши припущення і перетворення, остаточно отримаємо:

$$J_D(B) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(D_i B_j) \cdot \log_2 \frac{P(D_i B_j)}{P(D_i) \cdot P(B_j)}. \quad (3)$$

Якщо об'єкти D і B незалежні, формулу можна переписати у вигляді:

$$J_D(B) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(D_i) \cdot P\left(\frac{B_j}{D_i}\right) \cdot \log_2 \frac{P\left(\frac{B_j}{D_i}\right)}{P(B_j)}. \quad (4)$$

Отримане рівняння служить для знаходження $J_D(B)$ – середнього сподівання значення інформації, що міститься в об'єкті B стосовно всіх станів об'єкта D .

Для вибору й обґрунтування діагностичного параметра проведено діагностику 100 залізобетонних опор контактної мережі, серед яких було 94 справних (D_1) та 6 несправних (D_2). Діагностичний параметр B умовно було поділено на два рівні: B_1 справного та B_2 несправного станів. Розрахунки проведемо з вищевказаними діагностичними параметрами. Для розв'язання цієї задачі потрібно знайти:

- середню інформацію про стан залізобетонної опори за результатами діагностичного параметра B ;
- величину інформації про справний і несправний стани опори за результатами досліджуваного параметра;
- величину інформації про стан опори для кожного рівня квантування стану діагностичного параметра.

Вихідні дані розподілу числа опор залежно від діагностичного параметра подано в табл. 2 – 5.

Розрахунок виконаємо для діагностичного параметра x , а для інших наведемо тільки кінцеві результати.

1. Середня інформація про стан опор з дослідження діагностичного параметра x :

$$J_D(B) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 P(D_i \cdot B_j) \cdot \log_2 \frac{P(D_i B_j)}{P(D_i) \cdot P(B_j)} = \frac{1}{\lg 2} (0,92 \cdot \lg \frac{0,92}{0,93 \cdot 0,92} + 0,01 \cdot \lg \frac{0,01}{0,93 \cdot 0,01} + 0,01 \cdot \lg \frac{0,01}{0,07 \cdot 0,92} + 0,06 \cdot \lg \frac{0,06}{0,07 \cdot 0,07}) = 0,245.$$

Для $x - J_D(B) = 0,245$; $f - J_D(B) = 0,136$; $\Delta t - J_D(B) = 0,164$; $\delta - J_D(B) = 0,198$.

2. Величина інформації про справний стан опори:

Таблиця 2
Розподіл числа опор залежно від декременту згасання амплітуди

Стан D_1 , шт.	Стан D_2 , шт.	Значення діагностичного параметра δ
90	2	$B_1 \delta > 0,196$
2	6	$B_2 \delta < 0,196$

Таблиця 3
Розподіл числа опор залежно від часу згасання звукових коливань збуреної опори

Стан D_1 , шт.	Стан D_2 , шт.	Значення діагностичного параметра Δt , с
88	3	$B_1 \Delta t > 2,1$ с
3	6	$B_2 \Delta t < 2,1$ с

Таблиця 4
Розподіл числа опор залежно від частоти збуреної опори

Стан D_1 , шт.	Стан D_2 , шт.	Значення діагностичного параметра f , Гц
86	4	$B_1 f > 800$ Гц
4	6	$B_2 f < 800$ Гц

Таблиця 5
Розподіл числа опор залежно від розкиду частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів збуреної опори

Стан D_1 , шт.	Стан D_2 , шт.	Значення діагностичного параметра x , Гц
92	1	$B_1 x < 400$ Гц
1	6	$B_2 x > 400$ Гц

$$J_{D1}(B) = \sum_{j=1}^2 P\left(\frac{B_j}{D_1}\right) \cdot \log_2 \frac{P(D_1 B_j)}{P(B_j) \cdot P(D_1)} = \frac{1}{\lg 2} \left(\frac{0,92}{0,93} \cdot \lg \frac{0,92}{0,93 \cdot 0,92} + \frac{0,01}{0,93} \cdot \lg \frac{0,01}{0,93 \cdot 0,07} \right) = 0,059.$$

Для $x - J_{D1}(B) = 0,059$; $f - J_{D1}(B) = 0,031$; $\Delta t - J_{D1}(B) = 0,037$; $\delta - J_{D1}(B) = 0,046$.

3. Величина інформації про несправний стан опор:

$$J_{D2}(B) = \sum_{j=1}^2 P\left(\frac{B_j}{D_2}\right) \cdot \log_2 \frac{P(D_2 B_j)}{P(B_j) \cdot P(D_2)} =$$

$$= \frac{1}{\lg 2} \left(\frac{0,01}{0,07} \cdot \lg \frac{0,01}{0,07 \cdot 0,07} + \frac{0,01}{0,07} \cdot \lg \frac{0,06}{0,07 \cdot 0,07} \right) =$$

$$= 2,712.$$

Для $x - J_{D2}(B) = 2,712$; $f - J_{D2}(B) = 1,083$; $\Delta t - J_{D2}(B) = 1,443$; $\delta - J_{D2}(B) = 1,952$.

Результати розрахунків інформації $J_{Di}(B_j)$ зведено в табл. 6.

Таблиця 6

Результати розрахунків інформації $J_{Di}(B_j)$

D	B_j							
	B_1				B_2			
	x	f	Δt	δ	x	f	Δt	δ
D_1	0,088	0,083	0,085	0,087	0,133	0,468	0,483	0,47
D_2	0,029	0,056	0,048	0,041	0,166	1,551	1,926	1,422

Аналізуючи результати розрахунків, можна наочно оцінити інформаційну цінність кожного діагностичного параметра. Як видно з розрахунку середньої інформації про стан залізобетонних опор контактної мережі з дослідження діагностичного параметра x (розкид частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів збудженої опори), $J_D(B) = 0,245$ є більшим від інших діагностичних параметрів, тому вибираємо його як діагностичний параметр нового методу діагностування.

Висновок

На основі проведених розрахунків параметр x (розкид частот гармонік з максимальною амплітудою спектрів збудженої опори) є самим інформативним (середня інформація про стан

залізобетонних опор $J_D(B) = 0,245$). Тому цей параметр можна рекомендувати для розробленого експрес-методу діагностики [8 – 10].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2008 році [Текст] / Мінтрансв'язку України. – К., 2009. – 182 с.
2. Технологічні карти на роботи по утриманню та ремонту пристроїв контактної мережі електрифікованих залізниць [Текст]. – Кн. II. Технічне обслуговування та поточний ремонт. ЦЕ-0003: Затв.: Наказ Укрзалізниця № 347Ц від 26.06.01 / Міністерство транспорту України. – К., 2001. – 384 с.
3. Сердинов, С. М. Повышение надежности устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог [Текст] / С. М. Сердинов. – М.: Транспорт, 1985.
4. Вайнштейн, А. Л. Коррозионные повреждения опор контактной сети [Текст] / А. Л. Вайнштейн, А. В. Павлов. – М.: Транспорт, 1988.
5. Вайнштейн, А. Л. Совершенствование методов оценки коррозионного состояния железобетонных опор [Текст] / А. Л. Вайнштейн. – М., 1990.
6. Указания по техническому обслуживанию опорных конструкций контактной сети К-146-96 [Текст]. – М.: Трансиздат, 1996.
7. Надійність і діагностика пристроїв тягового електропостачання [Текст] : навч. посібник / В. Г. Кузнецов [та ін.] – Д.: Маковецький, 2009. – 248 с.
8. Пат. 33089 Україна, МПК⁷ B60M 1/00. Спосіб визначення стану залізобетонної опори контактної мережі [Текст] / О. М. Полях, В. Г. Кузнецов; заявник і власник Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. у 2008 01473; заявл. 05.02.08; опубл. 10.06.08, Бюл. № 11.
9. Кузнецов, В. Г. Визначення науково обгрунтованого значення діагностичного параметру при віброакустичному методі діагностики залізобетонних опор [Текст] / В. Г. Кузнецов, О. М. Полях // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 2. – С. 46-50.
10. Кузнецов, В. Г. Визначення необхідної кількості замірів для вдосконаленого віброакустичного методу діагностики залізобетонних опор контактної мережі [Текст] / В. Г. Кузнецов, О. М. Полях // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – № 20. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 58-62.

Надійшла до редколегії 04.11.2010.

Прийнята до друку 10.11.2010.

МЕТОД ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОТЯГОВОЙ И ПРОТИВОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИЛ КОНТАКТОРОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Пропонується новий, покращений метод визначення дисперсії нелінійної функції декількох випадкових величин-аргументів у застосуванні до тягової та протидіючої характеристики електромагнітних контакторів рухомого складу. Визначено параметр, що найістотніше впливає на стабільність тягової та протидіючої характеристик електромагнітних клапанних контакторів.

Ключові слова: силові електромагнітні клапанні контактори, рухомий склад, імовірнісна модель, тягова сила, результуюча протидіюча сила

Предлагается новый, более точный метод определения дисперсии нелинейной функции нескольких случайных величин-аргументов в применении к тяговой и противодействующей характеристикам электромагнитных контакторов подвижного состава. Определен параметр, наиболее существенно влияющий на стабильность тяговой и противодействующей характеристик электромагнитных клапанных контакторов.

Ключевые слова: силовые электромагнитные клапанные контакторы, подвижной состав, вероятностная модель, тяговая сила, результирующая противодействующая сила

The new improved method of determination of the nonlinear function of several random variables-arguments as applied to traction and counteracting characteristics of the rolling stock electromagnetic contactors is proposed. A parameter which has the most substantial influence on the stability of traction and counteracting characteristics of the electromagnetic valve contactors is determined.

Keywords: power electromagnetic valve contactors, rolling stock, probabilistic model, tractive force, resulting counteracting force

Введение

Как известно [1 – 3], силовые контакторы, как и любое другое устройство подвижного состава, рассчитывают на номинальные физические и электрические параметры. Однако реальные значения этих параметров на действующих контакторах всегда в большей или меньшей мере отличаются от номинальных данных. Возникновение этих различий (отклонений), называемых нестабильностью параметров, имеет место как уже при изготовлении контактора на заводе или после его ремонта (технологическая стабильность), так и в процессе эксплуатации контактора (эксплуатационная стабильность). Указанные нестабильности параметров контактора обуславливают также нестабильность возникающих в нем силы электромагнитного притяжения (электротяговой) Q_M и противодействующей силы Q_P , соотношение между которыми определяет работоспособность контактора по критерию факта его нормального замыкания (включения, притяжения якоря к сердечнику). Кроме этого, решение задачи оценки технологической стабильности сил Q_M и Q_P является необходимой также по следующим причинам. Во-первых,

важно численно определить собственные отклонения (нестабильность) параметров, от которых зависит сила, что позволяет установить, какой из них оказывает наибольшее влияние на полный разброс (нестабильность) этой силы с целью отыскания способов эффективного воздействия на этот параметр. Во-вторых, необходимо установить существующий диапазон численного отклонения (нестабильности) указанной силы от номинальных данных, что даст возможность определить граничные допуски на параметры (собственные допуски), а, следовательно, оценить и граничные значения полного допуска (на силу). Имея обоснованные нормы допусков и функциональные зависимости между ними и строго придерживаясь их при изготовлении или ремонте контактора, можно достичь необходимой стабильности сил и их характеристик (тяговой и противодействующей), а, следовательно, повышения работоспособности контактора.

В задачах оценки стабильности любого параметра, величины или функции последние имеют случайный характер, поэтому такие задачи решают вероятностно-статистическими методами. [4, 5], в основе которых лежит нахождение дисперсии или среднеквадратического

отклонения исследуемого параметра, величины или, что в общем случае чаще всего, некоторой функции вида:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n), \quad (1)$$

где X_1, X_2, \dots, X_n – система случайных величин – аргументов.

В настоящее время существуют два способа определения дисперсии D_y функции Y как меры стабильности, отклонений относительно своего математического ожидания, функции (1). Первый метод – точный, предполагающий знание, согласно функции (1), плотности вероятности распределения $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ системы случайных величин (X_1, X_2, \dots, X_n) и позволяющий найти дисперсию D_y по формуле [4, 5]:

$$D_y = D[Y] = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} [f(x_1, x_2, \dots, x_n) - m_y]^2 \times \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 \cdot dx_2 \dots dx_n, \quad (2)$$

где m_y – математическое ожидание исследуемой функции Y ;

$f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – аналитическое выражение функции (1).

Вычисление дисперсии по (2) часто практически трудновыполнимо, т.к. способы отыскания и, собственно, сам закон распределения $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ сложны [4, 5], к тому же функция $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ нередко бывает нелинейной, что еще в большей степени усложняет поставленную задачу.

Второй метод определения дисперсии $D_y = D[Y]$ базируется на разложении функции $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в ряд Тейлора с последующим использованием теорем о числовых характеристиках функций произвольного числа случайных аргументов [5, с. 183]. В [6, 7] этот метод использован для оценки стабильности характеристик электровозов, в [8] – для силовых контактных соединений электропневматических контакторов электроподвижного состава, а в [9] – для получения относительного отклонения дополнительного поперечного тока коммутации тяговых двигателей. Однако в указанных работах [6 – 9] этот метод использован только как метод линеаризации функции $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, т.е. в ряде Тейлора для этой функции авторы ограничивались толь-

ко первыми двумя, следовательно, линейными членами. В этом случае формула для дисперсии D_y функции (1) будет иметь простой вид:

$$D_y = D[Y] = \sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \bigg|_{x_i=m_{x_i}} \cdot \sigma_{x_i}^2. \quad (3)$$

Однако эта формула (3) в общем случае дает очень неточные приближенные результаты вычисления дисперсии, что обусловлено следующим. Во-первых, нередко функция $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ является существенно нелинейной и рассматривается во всем диапазоне изменения ее аргументов, тогда эта функция линеаризации не подлежит. Во-вторых, диапазоны изменения случайных аргументов – параметров X_1, X_2, \dots, X_n бывают часто не настолько малы, чтобы в их пределах можно линеаризовать функцию $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ с достаточной точностью. В-третьих, случайные аргументы X_1, X_2, \dots, X_n принимались авторами работ [6 – 9] независимыми и некоррелированными. Наконец, для определения D_y использованы упрощенные формулы для случая, когда случайные аргументы X_K функции Y распределены только по закону Гаусса.

Учитывая вышеизложенное, а также в развитие и уточнение метода, использованного в работах [6 – 9], ниже предложен новый, более точный, метод определения дисперсии функции нескольких случайных величин – аргументов и тем самым оценки стабильности указанной функции. С этой целью изложим теоретические аспекты нового метода на примере обеих сил контактора: электромагнитного притяжения (тяговой) Q_M и противодействующей Q_{Π} , обозначив их вначале, ради обобщения последующего изложения, одной общей функцией вида:

$$Q = f(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n), \quad (4)$$

где X_1, X_2, \dots, X_n – случайные величины – аргументы, от которых зависят силы.

Теоретические предпосылки нового метода

Разложим в общем случае существенно нелинейную функцию (4) в функциональный ряд Тейлора в окрестностях точек $(m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_i}, \dots, m_{x_n})$, сохранив при

этом не два (как в существующем методе линеаризации), а четыре члена, т.е. оставим также третий и четвертый члены, являющиеся членами высшего порядка малости. Тогда функция (4) может быть записана в виде:

$$Q = f(m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_i}, \dots, m_{x_n}) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \Big|_{x_i=m_{x_i}} \cdot (X_i - m_{x_i}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} \right) \Big|_{x_i=m_{x_i}} \cdot (X_i - m_{x_i})^2 + \sum_{i < k} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_k} \right) \Big|_{\substack{x_i=m_{x_i} \\ x_k=m_{x_k}}} \cdot (X_i - m_{x_i})(X_k - m_{x_k}), \quad (5)$$

где индексы $x_i = m_{x_i}$, $x_k = m_{x_k}$ обозначают, что в выражении частной производной вместо текущих значений x_i и x_k случайных аргументов X_i и X_k подставлены их математические ожидания m_{x_i} и m_{x_k} ;

знак $i < k$ под суммой в четвертом слагаемом обозначает, что суммирование распространяется на все возможные попарные сочетания случайных величин $(X_1, X_2, \dots, X_i, X_k, \dots, X_n)$.

Применяя к выражению (5) известную из [5, с. 223] операцию математического ожидания, получим математическое ожидание функции силы Q :

$$M[Q] = M_Q = f(m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_n}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} \right) \Big|_{x_i=m_{x_i}} \cdot D_{x_i} + \sum_{i < k} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_k} \right) \Big|_{\substack{x_i=m_{x_i} \\ x_k=m_{x_k}}} \cdot R_{ik}, \quad (6)$$

где R_{ik} – корреляционный момент случайных величин X_i и X_k .

Аналогично, применяя к выражению (5) операцию определения дисперсии [5, с. 222], получим формулу дисперсии функции силы:

$$D[Q] = D_Q = \sigma_Q^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \Big|_{x_i=m_{x_i}}^2 \cdot D_{x_i} + \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} \right) \Big|_{x_i=m_{x_i}}^2 \cdot (\mu_4[X_i] - D_{x_i}^2) +$$

$$+ \sum_{i < k} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_k} \right) \Big|_{\substack{x_i=m_{x_i} \\ x_k=m_{x_k}}}^2 \cdot D_{x_i} \cdot D_{x_k} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \Big|_{x_i=m_{x_i}} \cdot \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} \right) \Big|_{x_i=m_{x_i}} \cdot \mu_3[X_i], \quad (7)$$

где D_{x_i} , D_{x_k} – дисперсии случайных величин-аргументов X_i и X_k ;

$\mu_3[X_i]$ и $\mu_4[X_i]$ – третий и четвертый моменты распределения случайной величины X_i .

Если случайные величины-аргументы $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$ функции (4) распределены по закону Гаусса, для которого $\mu_3[X_i] = 0$, а $\mu_4[X_i] = 3D_{x_i}^2$, то выражение (7) для дисперсии функции силы Q упрощается и принимает вид:

$$D[Q] = D_Q = \sigma_Q^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \Big|_{x_i=m_{x_i}}^2 \cdot D_{x_i} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} \right) \Big|_{x_i=m_{x_i}}^2 \cdot D_{x_i}^2 + \sum_{i < k} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_k} \right) \Big|_{\substack{x_i=m_{x_i} \\ x_k=m_{x_k}}}^2 \cdot D_{x_i} D_{x_k}. \quad (8)$$

Второе, третье и четвертое слагаемые в формуле (7), а также второе и третье – в выражении (8) учитывают нелинейность функции (4) при ее разложении в ряд Тейлора.

Оценка стабильности силы электромагнитного притяжения контактора

Используя полученные выше формулы (7) и (8) для дисперсии, оценим и проанализируем стабильность тяговой силы Q_M силовых контакторов как функции нескольких переменных величин.

Считая, что распределение магнитной индукции по площади торца сердечника равномерное, что поверхности якоря и сердечника параллельны и находятся на небольшом расстоянии друг от друга, а также то, что магнитный поток рассеяния сердечника незначителен по сравнению с рабочим потоком, выражение силы электромагнитного притяжения Q_M контактора можно принять в виде формулы Максвелла [2, 10, 11]:

$$Q_M = 0,5\mu_0 S_\delta \left(\frac{F}{\delta} \right)^2 = 0,5\mu_0 S_\delta \left(\frac{U}{R_K} \cdot \frac{W}{\delta} \right)^2 =$$

$$= 0,5\mu_0 S_T \left(1 + \frac{2\delta}{\sqrt{S_T}} \right) \left(\frac{U}{R_K} \cdot \frac{W}{\delta} \right)^2, \quad (9)$$

где Q – сила тяги электромагнита, Н;

$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная постоянная;

S_δ – площадь сечения воздушного зазора, м²;

S_T – площадь поверхности торца сердечника, м²;

$F = IW$ – магнитодвижущая сила, А;

$I = \frac{U}{R_K}$ – ток в катушке, А;

U – напряжение в цепях управления, В;

R_K – сопротивление включающей катушки;

W – число витков катушки электромагнита;

та;

δ – воздушный зазор между якорем и сердечником.

Обозначив постоянной величиной C выражение $0,5\mu_0 W^2 = C$, перепишем формулу (9) в виде:

$$Q_M = C \frac{U^2 S_T}{R_K^2 \cdot \delta^2} + 2C \frac{U^2 \sqrt{S_T}}{R_K^2 \cdot \delta}. \quad (10)$$

В выражении (10) величины U , S_T , R_K и δ являются случайными, следовательно, Q_M является функцией системы случайных величин вида (4) и поэтому для нахождения дисперсии силы Q_M , т.е. для оценки ее стабильности, применима полученная выше формула (7). А, учитывая, что величины U , S_T , R_K , δ распределены по нормальному закону, тогда для нахождения дисперсии применим формулу (8). Для этого получим частные производные различного порядка от функции (10) по величинам-параметрам U , S_T , R_K и δ . С точки зрения работоспособности нас интересует значение Q_M при $\delta = \delta_{кр}$ и ее соотношение со значением противодействующей силы при этом зазоре. Критический зазор $\delta_{кр}$ – это зазор между якорем и сердечником в момент соприкосновения главных контактов.

В частности, частные производные первого порядка:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Q_M}{\partial U} &= 2C \frac{\bar{U} \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^2} + 4C \frac{\bar{U} \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}}; \\ \frac{\partial Q_M}{\partial S_T} &= C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^2} + C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta} \cdot \sqrt{\bar{S}_T}}; \\ \frac{\partial Q_M}{\partial R_K} &= -2C \frac{\bar{U}^2 \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}^2} - 4C \frac{\bar{U}^2 \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}}; \\ \frac{\partial Q_M}{\partial \delta} &= -2C \frac{\bar{U}^2 \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^3} - 2C \frac{\bar{U}^2 \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^2}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Частные производные второго порядка:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 Q_M}{\partial U^2} &= 2C \frac{\bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^2} + 4C \frac{\sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}}; \\ \frac{\partial^2 Q_M}{\partial S_T^2} &= -C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta} \cdot 2\sqrt{\bar{S}_T}}; \\ \frac{\partial^2 Q_M}{\partial R_K^2} &= 6C \frac{\bar{U}^2 \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^4 \cdot \bar{\delta}^2} + 12C \frac{\bar{U}^2 \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^4 \cdot \bar{\delta}}; \\ \frac{\partial^2 Q_M}{\partial \delta^2} &= 6C \frac{\bar{U}^2 \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^4} + 4C \frac{\bar{U}^2 \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^3}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Частные смешанные производные:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 Q_M}{\partial U \partial S_T} &= 2C \frac{\bar{U}}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^2} + 2C \frac{\bar{U}}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta} \sqrt{\bar{S}_T}}; \\ \frac{\partial^2 Q_M}{\partial U \partial R_K} &= -4C \frac{\bar{U} \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}^2} - 8C \frac{\bar{U} \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}}; \\ \frac{\partial^2 Q_M}{\partial U \partial \delta} &= -4C \frac{\bar{U} \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^3} - 4C \frac{\bar{U} \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^2}; \\ \frac{\partial^2 Q_M}{\partial S_T \partial R_K} &= -2C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}^2} - 2C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^3 \bar{\delta} \sqrt{\bar{S}_T}}; \\ \frac{\partial^2 Q_M}{\partial S_T \partial \delta} &= -2C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^3} - 1C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^2 \bar{\delta}^2 \sqrt{\bar{S}_T}}; \\ \frac{\partial^2 Q_M}{\partial R_K \partial \delta} &= 4C \frac{\bar{U}^2 \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}^3} + 4C \frac{\bar{U}^2 \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}^2}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Сложив, согласно выражению (8), системы формул (11), (12) и (13), получим искомое выражение дисперсии тяговой силы контактора:

$$D_{Q_M} = D[f(U, S_T, R_K, \delta)] = \left[2C \frac{\bar{U} \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^2} + 4C \frac{\bar{U} \cdot \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}} \right]^2 D_U + \left[C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^2} + \right.$$

$$\begin{aligned}
& + C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta} \sqrt{\bar{S}_T}} \Big]^2 \cdot D_{S_T} + \left[-2C \frac{\bar{U}^2 \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}^2} - \right. \\
& - 4C \frac{\bar{U}^2 \cdot \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}} \Big]^2 \cdot D_{R_K} + \left[-2C \frac{\bar{U}^2 \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^3} - \right. \\
& - 2C \frac{\bar{U}^2 \cdot \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^2} \Big]^2 \cdot D_{\delta} + \frac{1}{2} \left\{ \left[2C \frac{\bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^2} + \right. \right. \\
& + 4C \frac{\sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}} \Big]^2 \cdot D_U^2 + \left[-C \frac{\bar{U}^2}{2\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta} \sqrt{\bar{S}_T}} \right]^2 \cdot D_{S_T}^2 + \\
& + \left[6C \frac{\bar{U}^2 \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^4 \cdot \bar{\delta}^2} + 12C \frac{\bar{U}^2 \cdot \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^4 \cdot \bar{\delta}} \right]^2 \cdot D_{R_K}^2 + \\
& + \left. \left[6C \frac{\bar{U}^2 \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^4} + 4C \frac{\bar{U}^2 \cdot \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^3} \right]^2 \cdot D_{\delta}^2 \right\} + \\
& + \left[2C \frac{\bar{U}}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^2} + 2C \frac{\bar{U}}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta} \sqrt{\bar{S}_T}} \right]^2 \cdot D_U \cdot D_{S_T} + \\
& + \left[-4C \frac{\bar{U} \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}^2} - 8C \frac{\bar{U} \cdot \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}} \right]^2 \cdot D_U \cdot D_{R_K} + \\
& + \left[-4C \frac{\bar{U} \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^3} - 4C \frac{\bar{U} \cdot \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^2} \right]^2 \cdot D_U \cdot D_{\delta} + \\
& + \left[-2C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}^2} - 2C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta} \sqrt{\bar{S}_T}} \right]^2 \cdot D_{S_T} \cdot D_{R_K} + \\
& + \left[-2C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^3} - C \frac{\bar{U}^2}{\bar{R}_K^2 \cdot \bar{\delta}^2 \sqrt{\bar{S}_T}} \right]^2 \cdot D_{S_T} \cdot D_{\delta} + \\
& + \left[4C \frac{\bar{U}^2 \cdot \bar{S}_T}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}^3} + 4C \frac{\bar{U}^2 \cdot \sqrt{\bar{S}_T}}{\bar{R}_K^3 \cdot \bar{\delta}^2} \right]^2 \cdot D_{R_K} \cdot D_{\delta} \cdot (14)
\end{aligned}$$

Численные примеры

В результате обработки статистических данных по замеру значений параметров-аргументов U , S_T , R_K и δ получено:

$$\begin{aligned}
\bar{U} &= 37 \text{ В}; D_U = 9,18 \text{ В}; \bar{S}_T = 969,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; \\
D_{S_T} &= 47,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4; \bar{R}_K = 61,9 \text{ Ом}; \\
D_{R_K} &= 3,41 \text{ Ом}; \delta = \delta_{кр} = 3,24 \cdot 10^{-3}; \\
D_{\delta} &= 0,29 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; C = 1,471; \\
\delta &= \delta_{кр} = \delta_2 \text{ (рис. 1)}.
\end{aligned}$$

Доказано, что все случайные величины-аргументы функции $Q_M = f(U, S_T, R_K, \delta)$ распределены по нормальному закону.

Расчет по (14) дал следующий результат:

$$\begin{aligned}
D_{Q_M} &= 92,25 + 0,145 + 12,31 + 317,09 + \\
& + 2,43 + 7,39 \cdot 10^{-12} + 0,05 + 36,9 + 0,004 + 1,2 + \\
& + 8,93 + 0,0005 + 0,0145 + 1,2 = 472,524 \text{ Н}^2.
\end{aligned}$$

Первые четыре слагаемые ($92,25 + 0,145 + 12,31 + 317,09 = 421,795$) соответствуют первым четырем слагаемым в формуле (14). Эти слагаемые определяют дисперсию рассматриваемой функции при допущении, что функция $Q_M = f(U, S_T, R_K, \delta)$ – нелинейная.

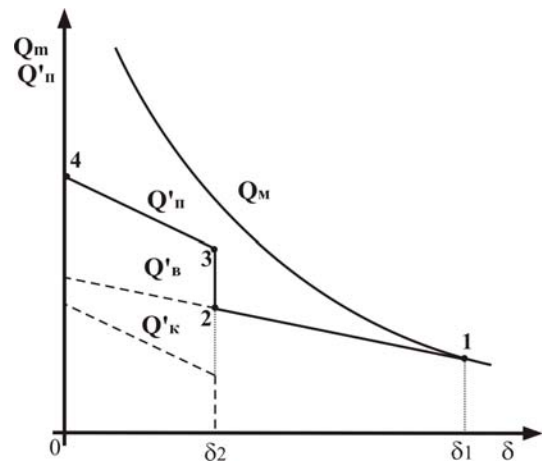


Рис. 1. Тяговая и противодействующая характеристики электромагнитного контактора, $\delta_1 = \delta_{отп}$, $\delta_2 = \delta_{кр}$

Наибольшее слагаемое (317,09) обусловлено нестабильностью критического воздушного зазора между якорем и сердечником контактора в процессе эксплуатации. Обратим внимание, что это слагаемое значительно больше остальных трех. Последующие десять слагаемых, сумма которых равна 50,729, представляют собой «поправку на нелинейность функции Q_M ». Наибольшее из них (36,9) соответствует восьмому слагаемому в формуле (14), в нем также фигурирует дисперсия критического воздушного зазора.

Ошибка в определении дисперсии рассматриваемой функции, если не учитывать ее нелинейность, составляет:

$$\frac{472,524 - 421,795}{421,795} \cdot 100 \% = 12,09 \% .$$

Расхождение в 12,09 % при определении дисперсии существенно и подтверждает целесообразность применения предложенного авторами точного метода (с учетом нелинейности функции).

Полученные результаты показывают, что для обеспечения стабильности тяговой характеристики контактора необходимо обеспечить в эксплуатации, в первую очередь, максимально возможную стабильность критического воздушного зазора.

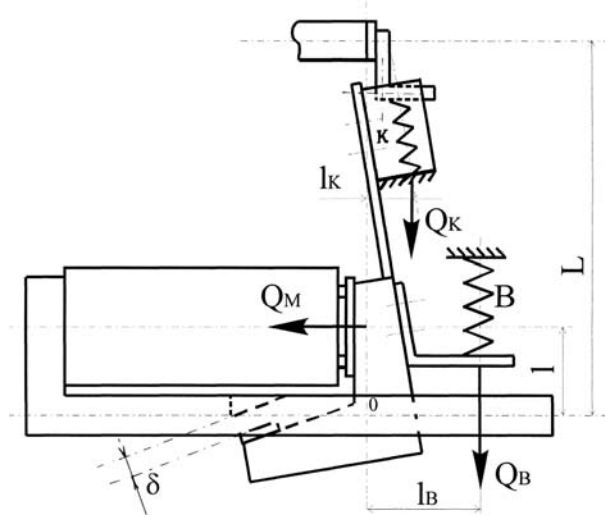


Рис. 2. Кинематическая схема контактора МК-310Б

Результирующая противодействующая сила Q_{Π}' , приведенная к оси действия силы Q_M (точка 0 на рис. 2), определяется из суммы моментов ее составляющих относительно плеча l . Если пренебречь действием силы тяжести G подвижной части, то:

$$\begin{aligned} Q_{\Pi}' &= A + Q_B \frac{l_B}{l} + Q_K \frac{l_K}{l} = \\ &= A + C_B K \frac{l_B}{l} + C_K \Delta X_K \frac{l_K}{l}, \end{aligned} \quad (15)$$

где C_B , C_K – жесткость контактной и отключающей пружин соответственно;

$K = \delta_{\text{отп}} - \delta_{\text{кр}}$ ($\delta_{\text{отп}}$ – зазор между якорем и сердечником в отпущенном состоянии);

ΔX_K – начальное (до соприкосновения главных контакторов) сжатие контактной пружины.

Q_B , Q_K – силы выключающей и контактной пружин соответственно;

l , l_B , l_K – плечи действия сил Q_M , Q_B , Q_K соответственно;

A – электромагнитная сила при зазоре в отпущенном состоянии якоря $\delta_{\text{отп}} = \delta_1$.

Функция Q_{Π}' – линейная.

Таким образом, согласно (8), принимаем во внимание только первую сумму:

$$\begin{aligned} D(Q_{\Pi}') &= D_{Q_{\Pi}'} = \sigma_{Q_{\Pi}'}^2 = \left(\frac{\partial Q_{\Pi}'}{\partial C_B} \right)^2 D_{C_B} + \\ &+ \left(\frac{\partial Q_{\Pi}'}{\partial K} \right)^2 D_K + \left(\frac{\partial Q_{\Pi}'}{\partial C_K} \right)^2 D_{C_K} + \left(\frac{\partial Q_{\Pi}'}{\partial (\Delta X_K)} \right)^2 D_{\Delta X_K}, \end{aligned} \quad (16)$$

$$\frac{\partial Q_{\Pi}'}{\partial C_B} = K \frac{l_B}{l}; \quad \frac{\partial Q_{\Pi}'}{\partial K} = C_B \frac{l_B}{l};$$

$$\frac{\partial Q_{\Pi}'}{\partial C_K} = \Delta X_K \frac{l_K}{l}; \quad \frac{\partial Q_{\Pi}'}{\partial (\Delta X_K)} = C_K \frac{l_K}{l}. \quad (17)$$

Согласно (16):

$$\begin{aligned} D(Q_{\Pi}') &= D[f(C_B, K, C_K, \Delta X_K)] = \\ &= \left(K \frac{l_B}{l} \right)^2 D_{C_B} + \left(C_B \frac{l_B}{l} \right)^2 D_K + \\ &+ \left(\Delta X_K \frac{l_K}{l} \right)^2 D_{C_K} + \left(C_K \frac{l_K}{l} \right)^2 D_{\Delta X_K}. \end{aligned} \quad (18)$$

В результате обработки статистических данных по замеру значений параметров-аргументов C_B , K , C_K , ΔX_K было получено:

$$\bar{C}_B = 0,963; \quad D_{C_B} = 0,0003; \quad \bar{K} = 8,49;$$

$$D_K = 1,69; \quad \bar{C}_K = 3,15; \quad D_{C_K} = 0,002;$$

$$D_{\Delta X_K} = 0,1456; \quad l_B = 73;$$

$$l = 63; \quad l_K = 26.$$

Все линейные размеры даны в мм.

Расчет по (18) дал следующий результат:

$$\begin{aligned} D(Q_{\Pi}') &= \left(8,49 \cdot \frac{73}{63} \right)^2 \cdot 0,0003 + \left(0,963 \cdot \frac{73}{63} \right)^2 \cdot 1,69 + \\ &+ \left(3,38 \cdot \frac{26}{63} \right)^2 \cdot 0,002 + \left(3,15 \cdot \frac{26}{63} \right)^2 \cdot 0,1456 = \\ &= 0,029 + 2,1 + 0,0039 + 0,246 = 2,38 \text{ Н}^2. \end{aligned}$$

Наибольшее слагаемое (2,1) обусловлено нестабильностью параметра $K = \delta_{\text{кр}} - \delta_{\text{отп}}$, т.е.

для обеспечения стабильности противодействующей характеристики необходимо обеспе-

чить в эксплуатации, в первую очередь, максимально возможную стабильность параметра K .

Обратим внимание, что параметр K зависит от значения параметра $\delta = \delta_{кр}$. При эксплуатации контактора после ремонта до очередного ремонта $\delta_{отп} = \text{const}$. Поэтому стабильность и противодействующей характеристики зависит в основном от максимально возможной стабильности $\delta_{кр}$.

Выводы

1. Предлагаемый новый, более точный, метод определения дисперсии нелинейной функции нескольких случайных величин-аргументов в применении к тяговой характеристике электромагнитных контакторов локомотивов уточняет результат до 12 %.

2. Стабильность критического зазора наиболее существенно влияет на стабильность тяговой и противодействующей характеристик электромагнитных клапанных контакторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ДСТУ 2773-94. Апарати електричні тягові. Загальні технічні умови [Текст]. – 82 с.
2. Захарченко, Д. Д. Тяговые электрические аппараты [Текст] / Д. Д. Захарченко. – М.: Транспорт, 1991. – 247 с.
3. Тягові електричні апарати контактні [Текст] / Л. В. Дубинець [та ін.]. – Д.: Нова ідеологія, 2002. – 104 с.

4. Смирнов, Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики [Текст] / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1969. – 512 с.
5. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
6. Исаев, И. П. Стабильность характеристик электрических локомотивов [Текст] / И. П. Исаев. – М.: Трансжелдориздат, 1956. – 120 с.
7. Исаев, И. П. Методика анализа неустойчивости силовых полупроводниковых вентилях [Текст] / И. П. Исаев, Д. П. Брунштейн // Электричество. – 1964. – № 12. – С. 23-28.
8. Баб'як, М. О. Підвищення надійності силових контактних з'єднань електропневматичних контакторів електровозів постійного струму [Текст] / М. О. Баб'як // Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.09 – Електротранспорт. – Д.: ДНУЗТ, 2003. – 21 с.
9. Шаповалов, А. В. Підвищення працездатності тягових двигунів електровозів [Текст] / А. В. Шаповалов / Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.09 – Електротранспорт. – Д.: ДНУЗТ, 2010. – 20 с.
10. Основы теории электрических аппаратов [Текст] / Б. К. Буль [и др.]. – М.: Высш. шк., 1970. – 600 с.
11. Тихменев, Б. Н. Подвижной состав электрифицированных железных дорог [Текст] / Б. Н. Тихменев, Л. М. Трахтман. – М.: Транспорт, 1991. – 471 с.

Поступила в редколлегию 14.12.2010.

Принята к печати 29.12.2010.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ЗМІННОГО СТРУМУ «ТЯГОВА МЕРЕЖА – ЕЛЕКТРОВОЗ».

2. ВМІКАННЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЕЛЕКТРОВОЗА В РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ; ВИЗНАЧЕННЯ Й АНАЛІЗ КИДКА СТРУМУ НАМАГНІЧУВАННЯ

Стаття є продовженням аналізу математичних моделей систем змінного струму, в які поступово підключаються елементи тягової мережі та вмикання силового трансформатора в режимі холостого ходу. Виконано чисельні розрахунки та аналіз струму намагнічування трансформатора.

Ключові слова: математична модель, тягова підстанція, пристрій поперечної компенсації, параметри тягової мережі, електровоз, трансформатор

Статья является продолжением анализа математических моделей систем переменного тока, в которые постепенно подключаются элементы тяговой сети и включение силового трансформатора в режиме холостого хода. Выполнены численные расчеты и анализ тока намагничивания трансформатора.

Ключевые слова: математическая модель, тяговая подстанция, устройство поперечной компенсации, параметры тяговой сети, электровоз, трансформатор

The article is a continuation of analysis of mathematical models for AC systems, in which the elements of electric-traction network and switch-on of power transformer in an idling mode are gradually connected. The numerical calculations and analysis of current of transformer magnetization are executed.

Keywords: mathematical model, electric-traction substation, device of transversal compensation, parameters of electric-traction network, electric locomotive, transformer

1. Вступ

Ця робота є продовженням досліджень [1] і містить результати чисельних розрахунків і аналізу перехідних електромагнітних процесів, що супроводжують режим вмикання силового трансформатора електровоза ДС 3 без навантаження. При цьому оцінимо вплив на зазначені процеси в системі електричної тяги таких факторів і величин: руху електровоза з поїздом (шляхом урахування відстані ℓ електровоза до тягової підстанції); електричних параметрів тягової мережі і тягової підстанції; коливання фідерної напруги; наявності та значення електричних параметрів пристрою поперечної ємнісної компенсації. Розрахунки виконаємо для електрифікованої ділянки, зазначеної в [1], а також для визначених в ній параметрів тягового трансформатора електровоза. З метою виявлення впливу на перехідні величини, і зокрема на струм намагнічування $i_{\mu}(t)$ трансформатора, зазначених вище факторів послідовно складалі й розраховували математичні моделі таких систем: «тягова мережа (ТМ) – електрорухомий склад (ЕРС)»; «тягова підстанція (ТП) – ТМ – ЕРС»; «ТП – пристрій поперечної компенсації (ППК) ТМ – ЕРС».

2. Електричні системи заміщення та математичні моделі систем

Наведемо схеми заміщення та математичні моделі процесів, що протікають у зазначених системах.

2.1. Система «ТМ – ЕРС»

Схема заміщення такої системи представлена на рис. 1, а математична модель являє собою нелінійне диференціальне рівняння вигляду:

$$R_{\text{TM}} \cdot i_{\mu}(t) + L_{\text{TM}} \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + (R_{\text{др}} + R_{\text{тр1}}) \cdot i_{\mu}(t) + (L_{\text{др}} + L_{\text{s1}}) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + W_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = u_1(t); \quad (1)$$

$$u_1(t) = U_{\text{ном}} \sqrt{2} \sin \omega t; \quad (2)$$

$$\Phi(t) = 0,1234 + 0,0003 i_{\mu}(t). \quad (3)$$

У рівняннях (1)–(3) та на рис. 1: R_{TM} – активний опір тягової мережі; L_{TM} – індуктивність тягової мережі; $R_{\text{др}}$ – активний опір дроселя, $L_{\text{др}}$ – індуктивність дроселя, $R_{\text{тр1}}$ – активний опір трансформатора, L_{s1} – індуктивності розсіювання первинної обмотки трансформатора, W_1 – кількість витків первинної обмотки трансформатора, Φ – магнітний потік.

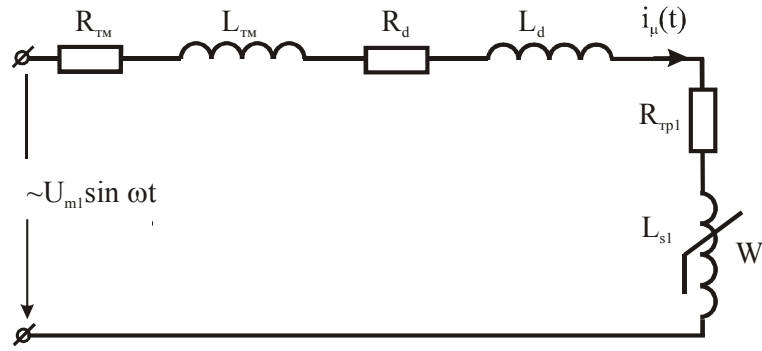


Рис. 1. Електрична схема заміщення системи «тягова мережа – електровоз»

2.2. Система «ТП – ТМ – ЕРС»

Схема заміщення такої системи, тобто з урахуванням параметрів тягової підстанції, представлена на рис. 2.

Електромагнітні процеси в схемі рис. 2 описуються рівнянням (4):

$$R_{\text{тп}} \cdot i_1(t) + L_{\text{тп}} \cdot \frac{di_1}{dt} + (R_{\text{кп}} + R_p) \cdot i_{\mu}(t) +$$

$$+ (L_{\text{кп}} + L_p) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + (R_{\text{др}} + R_{\text{тр}}) \cdot i_{\mu}(t) + \\ + (L_{\text{др}} + L_{s1}) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + W_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = 1,1 \cdot e_1(t), \quad (4)$$

де $R_{\text{тп}} = 0,176$ Ом – активний опір тягової підстанції; $L_{\text{тп}} = 0,0177$ Гн – індуктивність тягової підстанції; $1,1 \cdot e_1(t)$ – е.р.с. тягової підстанції.

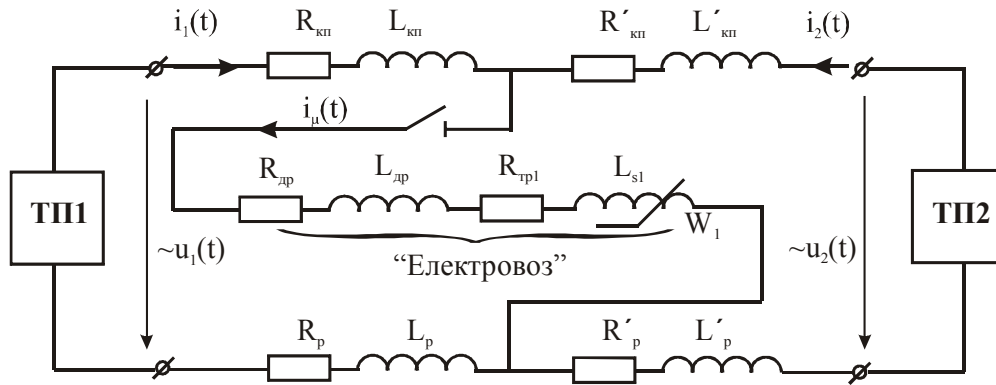


Рис. 2. Схема заміщення системи «тягова підстанція – тягова мережа – електрорухомий склад»

2.3. Система «ТП – ППК – ТМ – ЕРС»

Як відомо [2, 3], для покращення якості електричної енергії в тягових мережах використовують пристрої поперечної компенсації (ППК). Тоді електрична схема заміщення системи електротяги одноколіїної ділянки двостороннього живлення з урахуванням ППК реактивної потужності може бути представлена, як зображено на рис. 3, згідно якого математична модель електромагнітних процесів є наступною системою нелінійних рівнянь:

$$R_{\text{тп}} \cdot i_1(t) + L_{\text{тп}} \cdot \frac{di_1}{dt} + R_{\text{ппк}} \cdot i_{\text{ппк}}(t) + \\ + L_{\text{ппк}} \cdot \frac{di_{\text{ппк}}}{dt} + \frac{1}{C_{\text{ппк}}} \int_0^t i_{\text{ппк}}(t) dt = 1,1 \cdot e_1(t); \quad (5)$$

$$-R_{\text{ппк}} \cdot i_{\text{ппк}}(t) - L_{\text{ппк}} \cdot \frac{di_{\text{ппк}}}{dt} - U_c(0) -$$

$$- \frac{1}{C_{\text{ппк}}} \int_0^t i_{\text{ппк}}(t) dt + (R_{\text{кп}} + R_p) \cdot i_{\mu}(t) + \\ + (L_{\text{кп}} + L_p) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + (R_{\text{др}} + R_{\text{тр}}) \cdot i_{\mu}(t) + \\ + (L_{\text{др}} + L_s) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + W_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = 0; \quad (6)$$

$$i_1(t) - i_{\text{ппк}}(t) - i_{\mu}(t) = 0, \quad (7)$$

де індекс «ппк» – означає параметри та електричні величини пристрою поперечної компенсації, схема якого представлена на рис. 4 [3].

Для визначення параметрів вітки пристрою паралельної компенсації використаємо наступні формули. Ємність одного конденсатора в послідовному їх з'єднанні:

$$C = \frac{Q_c}{\omega \cdot U_c^2}, \quad (8)$$

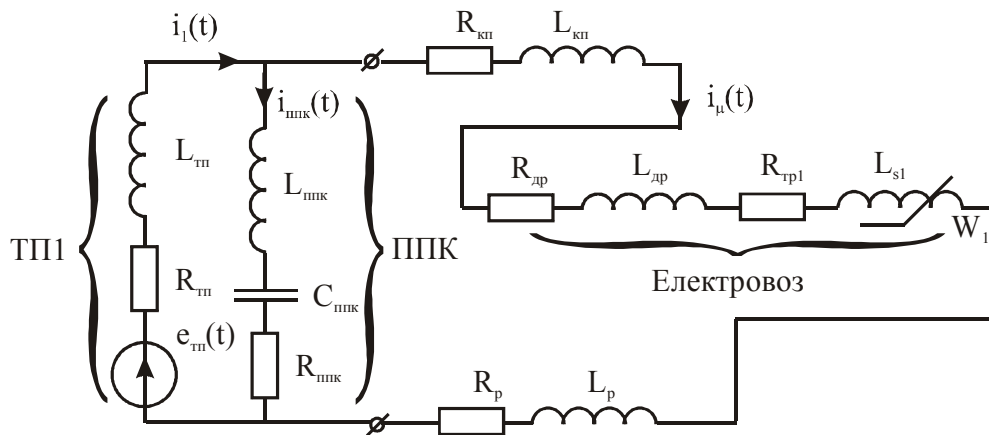


Рис. 3. Схема заміщення системи електричної тяги з урахуванням поперечної компенсації реактивної (ППК)

де $Q_C = 125 \cdot 10^3$ вар – реактивна потужність конденсаторної батареї, яка розташована в пристрої паралельної компенсації біля тягової підстанції Боярка; $\omega = 314 \text{ 1/c}$ – кутова частота тягової мережі; $U_c = 1050$ В – напруга батареї конденсаторів.

Еквівалентну ємність послідовно з'єднаних конденсаторів визначимо як:

$$C_{\text{ппк}} = \frac{C}{n}, \quad (9)$$

де $C = 362$ мкФ – ємність одного конденсатора типу КСК2-1,05-125-2У1;

$n = 34$ – загальна кількість послідовно з'єднаних конденсаторів компенсації.

Далі знайдемо першу та третю гармоніки ємнісного опору ємності; виходячи із умови резонансу напруг:

$$X_C^{(1)} = \frac{1}{\omega \cdot C_{\text{ппк}}}; \quad (10)$$

$$X_C^{(3)} = X_L^{(3)} = \frac{1}{3\omega \cdot C_{\text{ппк}}}. \quad (11)$$

Для визначення індуктивності вітки ППК визначмо першу гармоніку індуктивного опору ППК:

$$X_L^{(1)} = \frac{X_L^{(3)}}{3}; \quad (12)$$

$$L_{\text{ппк}} = \frac{X_L^{(1)}}{\omega}, \text{ або } L_{\text{ппк}} = \frac{1}{9 \cdot \omega^2 \cdot C_{\text{ппк}}}. \quad (13)$$

Також визначаємо активну складову опору ППК:

$$U_{\text{км}} = \sqrt{R_{\text{ппк}}^2 + (X_L^{(1)} - X_C^{(1)})^2} \cdot I, \quad (14)$$

звідки

$$R_{\text{ппк}} = \sqrt{\frac{U_{\text{км}}^2}{I^2} - (X_L^{(1)} - X_C^{(1)})^2}, \quad (15)$$

де I – номінальне значення струму у вітці ППК.

Після розрахунків за формулами (9)–(15) отримаємо такі параметри ППК: $R_{\text{ппк}} = 67,18$ Ом; $L_{\text{ппк}} = 107,03$ мГн; $C_{\text{ппк}} = 10,617$ мкФ.

3. Результати чисельних розрахунків та аналіз струму намагнічування

Чисельні розрахунки систем рівнянь (1)–(3), (2)–(4) та (2), (3), (5)–(7) виконано для числових даних, наведених у роботі [1], та параметрів ППК, визначених у цій роботі. Із отриманих величин найбільш важливою є часова залежність струму намагнічування $i_\mu(t)$ тягового трансформатора; у зв'язку з цим проаналізуємо такі залежності.

Як впливає із рис. 5, часовий характер зміни струму намагнічування $i_\mu(t)$ однаковий для всіх розглядуваних систем (рис. 1 – 3) при різних відстанях ℓ від ТП і має вигляд спадаючої гостровершинної кривої, яка відрізняється від синусоїдної залежності. Однак максимальне значення (кидок) струму намагнічування $I_{\mu \text{ max}}$ різне для різних систем (порівняємо рис. 5, б та г для $\ell = 20$ км) і різних значень відстані ℓ (рис. 5, а та б, а також рис. 6).

З «ускладненням» системи, тобто з урахуванням більшої кількості елементів електрифікованої ділянки, величина кидка струму збільшується: наприклад, при $\ell = 10$ км значення $I_{\mu \text{ max}}$ для схем заміщення «ТМ – ЕРС» склало 469,2 А, для «ТП – ППК – ТМ – ЕРС» – вже 619,4 А.

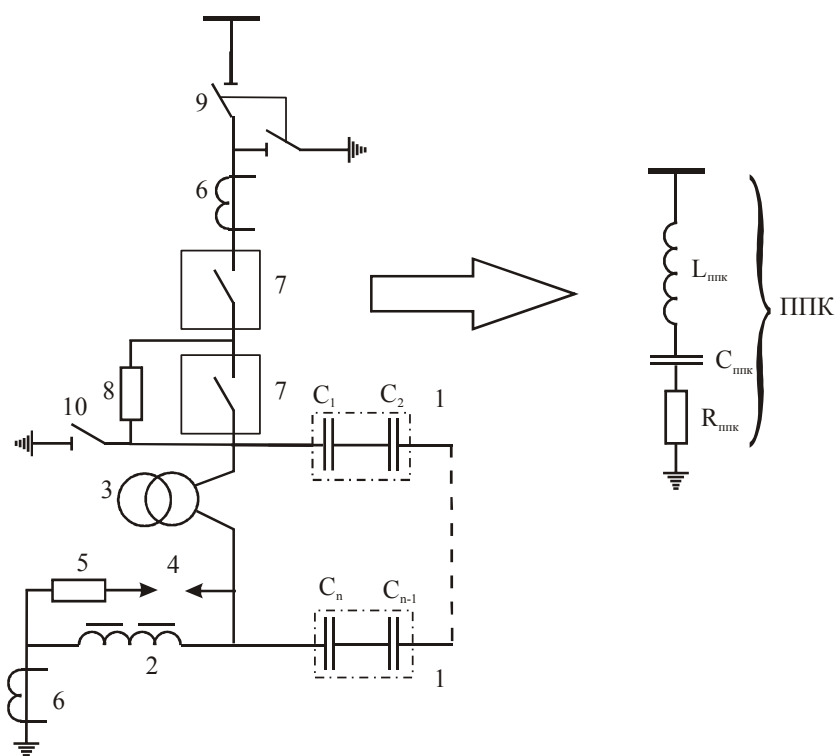


Рис. 4. Схема заміщення нерегульованого пристрою паралельної компенсації:

1 – послідовно з'єднані конденсатори; 2 – реактор зі сталевим осердям; 3 – розрядний трансформатор напруги; 4 – розрядник; 5 – обмежувач резистор; 6 – трансформатор струму для живлення кола максимального та диференціального захисту; 7 – вимикачі; 8 – шунтувальний резистор; 9 – роз'єднувач із заземлюючим ножом; 10 – заземлюючий роз'єднувач для виконання ремонтних робіт

Зі збільшенням відстані ℓ (тобто, чим далі від ТП знаходиться електровоз) величина кидка струму $I_{\mu \max}$ зменшується (рис. 6); найбільше значення $I_{\mu \max}$ спостерігається при $\ell = 0$ км і досягає ~ 700 А.

Електричні кола розглянутих систем (рис. 1 – 3) являють собою активно-індуктивні ($R-L$) кола. Для таких кіл, як відомо із теоретичної електротехніки, тривалість перехідного процесу $T_{\text{пп}}$ при вмиканні кола дорівнює:

$$T_{\text{пп}} = (4 \dots 5)\tau = (4 \dots 5)\frac{L}{R}, \text{ де } \tau - \text{стала часу кола,}$$

а R та L – еквівалентні активний опір та індуктивність кола. Тоді зі збільшенням ℓ , тобто зі збільшенням розрахункової довжини тягової мережі, у більшій мірі збільшується її активний

опір й тим самим зменшується $T_{\text{пп}}$. За такої ж причини збільшується $T_{\text{пп}}$ і, отже, довше встановлюється усталений процес у більш складній, тобто реальній, системі електрифікованої ділянки (табл. 1).

4. Висновок

Вмикання силового тягового трансформатора у режимі холостого ходу є найбільш небезпечним при розташуванні електровоза ДС 3 біля тягової підстанції ($\ell = 0$ км). У цьому випадку, по-перше, кидок струму намагнічування найбільший і досягає ~ 685 А і, по-друге, тривалість перехідного процесу до усталеного процесу найдовша і дорівнює $0,7 \dots 1,1$ с.

Таблиця 1

Система	«ТМ – ЕРС»					«ТП – ТМ – ЕРС»				
ℓ , км	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
$T_{\text{пп}}$, с	0,65	0,55	0,46	0,34	0,3	1,1	0,85	0,55	0,46	0,38

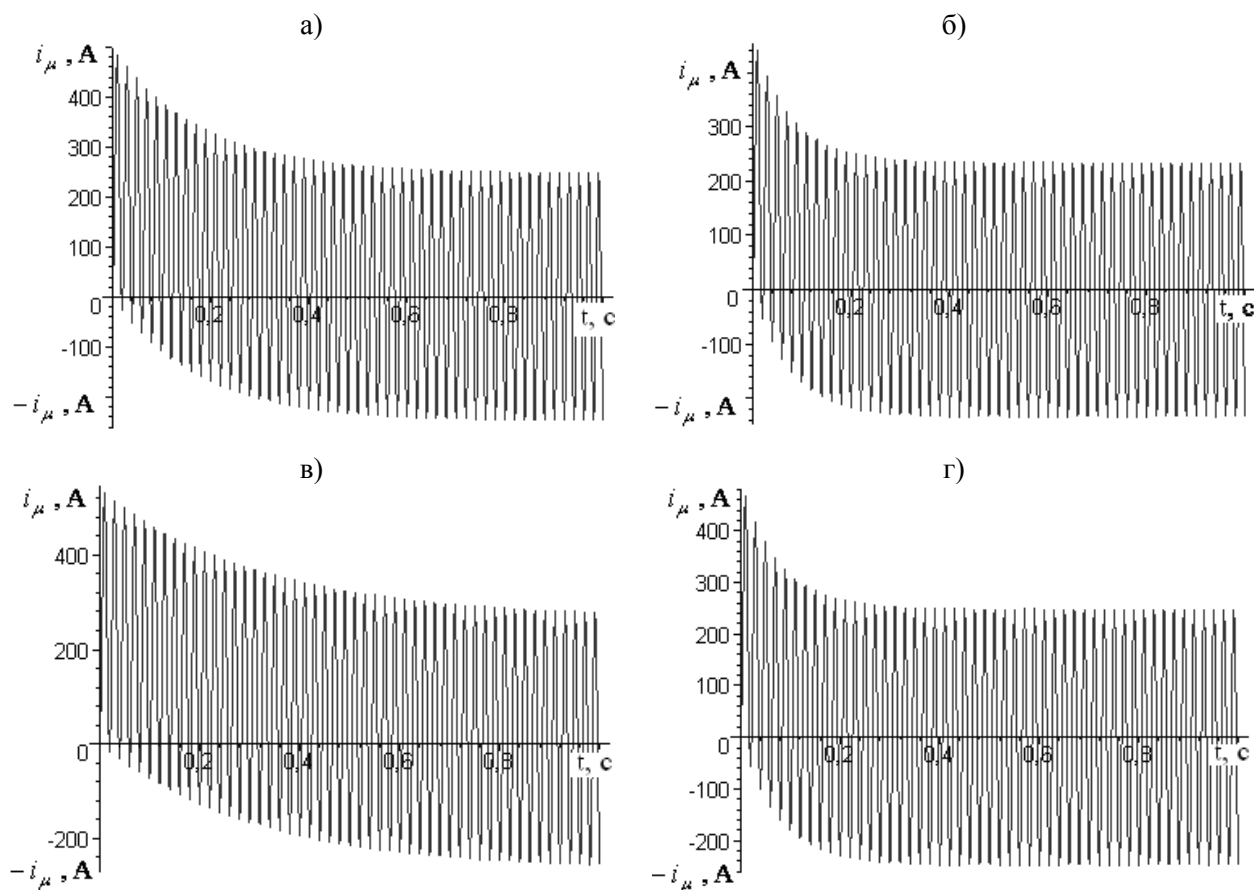


Рис. 5. Часові залежності струму намагнічування:
а, б – для системи «ТМ – ЕРС» при ℓ відповідно 5 та 20 км;
в, г – для системи «ТП – ТМ – ЕРС» при ℓ відповідно 0 та 20 км

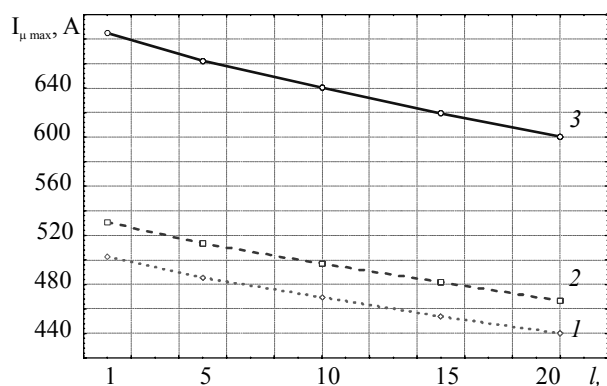


Рис. 6. Залежність максимального значення (кидка) струму намагнічування від відстані ℓ розташування електровоза відносно тягової підстанції:
1, 2, 3, – для розрахункових систем відповідно «ТМ – ЕРС», «ТП – ТМ – ЕРС», «ТП – ППК – ТМ – ЕРС»

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Міщенко, Т. М. Математичне моделювання перехідних процесів в системі змінного струму «тягова мережа – електровоз». 1. Вмикання силового трансформатора електровоза в режимі холостого ходу; оцінка параметрів [Текст] / Т. М. Міщенко, А. І. Кійко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – № 36. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 90-94.
2. Влияние поперечной ёмкостной компенсации на электромагнитные процессы в тяговой сети переменного тока [Текст] / Р. Р. Мамошин [и др.] // Электричество. – 1984. – № 5. – С. 9-12.
3. Мамошин, Р. Р. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / Р. Р. Мамошин, А. Н. Зимакова. – М.: Транспорт, 1980. – 296 с.

Надійшла до редколегії 02.12.2010.
Прийнята до друку 15.12.2010.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА В УСЛОВИЯХ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

В статті розглянуто вплив несинусоїдальності сигналів струму на похибки вимірювальних трансформаторів струму.

Ключові слова: вимірювальний трансформатор, точність вимірювання, несинусоїдальність сигналів

В статье рассмотрено влияние несинусоидальности сигналов тока на погрешности измерительного трансформатора тока.

Ключевые слова: измерительный трансформатор, точность измерений, несинусоидальность сигналов

In the article the influence of inharmonicity of current signals on errors of the measuring transformer of current is considered.

Keywords: measuring transformer, measurement accuracy, inharmonicity of signals

Постановка проблемы

С ростом нелинейных потребителей в энергосистемах уровень высших гармоник в сигналах тока и напряжения постоянно увеличивается. Для решения множества задач, например определения показателей качества электроэнергии, необходимо измерять величины гармонических составляющих тока, напряжения, мощности в сигналах промышленной частоты. Точность таких измерений, как и для основной частоты, зависит от точности измерительных трансформаторов и средств измерения. В связи с этим к высоковольтным измерительным трансформаторам тока и напряжения выдвигаются новые требования, а именно необходимость ими обеспечить высокую точности преобразования гармонических составляющих сигналов тока и напряжения.

Анализ последних исследований и публикаций

При работе измерительного трансформатора тока (ТТ) в определенном классе точности нормируется его предельная токовая и угловая погрешности. При синусоидальном первичном токе классические выражения для определения погрешностей ТТ, зависящих от параметров трансформатора, имеют вид [1]:

$$f_i = \frac{0,225 I_2 Z_2 l_M}{\sqrt{2} \mu_a S_M f W_{2n} F_1} \sin(\Psi + \varphi) \cdot 100; \quad (1)$$

$$\delta_i = \frac{0,225 I_2 Z_2 l_M}{\sqrt{2} \mu_a S_M f W_{2n} F_1} \cos(\Psi + \varphi) \cdot 100, \quad (2)$$

где f_i – относительная токовая погрешность (действующее значение тока) ТТ, δ_i – угловая погрешность ТТ, I_2 – действующее значение

вторичного тока ТТ, Z_2 – модуль полного сопротивления вторичной цепи ТТ, l_M – средняя длина силовой линии магнитного поля в сердечнике ТТ, μ_a – абсолютная магнитная проницаемость ферромагнитного материала сердечника ТТ, S_M – поперечное сечение сердечника ТТ, W_{2n} – число витков вторичной обмотки ТТ, F_1 – первичная магнитодвижущая сила намагничивания ТТ, Ψ – угол потерь, φ – фазовый сдвиг между вторичной ЭДС и вторичным током ТТ.

В работе [2] предложены выражения для определения токовой и угловой погрешностей ТТ при несинусоидальном первичном токе, которые без учета несимметрии тока имеют вид:

$$f_i' = 100 \left[\frac{0,225 I_2 Z_2 l_M}{\sqrt{2} \mu_a S_M f W_{2n} F_1} \sin(\Psi + \varphi) + \sum_{n=2}^{40} \frac{0,225 I_2 k_{In} \sqrt{r_2^2 n + x^2 n^2} l_M}{\sqrt{2} \mu_a S_M f W_{2n} F_1} \sin(\Psi_n + \varphi_n) \right]; \quad (3)$$

$$\delta_i' = 100 \left[\frac{0,225 I_2 Z_2 l_M}{\sqrt{2} \mu_a S_M f W_{2n} F_1} \sin(\Psi + \varphi) + \sum_{n=2}^{40} \frac{0,225 I_2 k_{In} \sqrt{r_2^2 n + x^2 n^2} l_M}{\sqrt{2} \mu_a S_M f W_{2n} F_1} \sin(\Psi_n + \varphi_n) \right], \quad (4)$$

где n – номер гармоники, k_{In} – коэффициент n -ой гармонической составляющей тока, отн. ед.

Выражения (3 – 4) получены используя формулы (1 – 2) при условии разложения действующего значения вторичного тока в гармонический ряд, приняв число наиболее значимых высших гармоник равным 40:

$$I_2 = \sum_{n=1}^{40} I_{2n},$$

с учетом изменения активного и индуктивного сопротивлений вторичной цепи для высших гармоник

$$Z_{2n} = \sqrt{r_{2n}^2 + x_{2n}^2} e^{j\varphi_n} = \sqrt{r_2^2 n^2 + x_2^2 n^2} e^{j\varphi_n},$$

где r_2 – активное сопротивление вторичной цепи ТТ на основной частоте, x_2 – индуктивное сопротивление вторичной цепи ТТ на основной частоте, φ_n – фазовый сдвиг между вторичной ЭДС и вторичным током ТТ n -ой гармоники,

$$\varphi_n = \arctg \frac{x_{2n}}{r_{2n}}.$$

Как можно видеть из выражений (3 – 4), токовая и угловая погрешности ТТ при несинусоидальном сигнале тока представляют собой сумму погрешностей ТТ для каждой отдельной гармоники.

Цель статьи

Установить влияние несинусоидальности сигналов тока на погрешности измерительных трансформаторов тока.

Основные материалы исследований

Классические выражения для определения погрешностей ТТ (1 – 2) выведены в предположении синусоидальности первичного тока любой частоты (50, 100, 150, ... Гц) и синусоидальности тока намагничивания. Разложение несинусоидального первичного тока в гармонический ряд и нахождение погрешности ТТ, как суммы погрешностей ТТ для разных гармоник не будет соответствовать действительной погрешности ТТ. Трансформатор тока является нелинейным устройством и поэтому принцип суперпозиции при рассмотрении процессов в нем применять нельзя. Сердечник трансформатора не может одновременно намагничиваться токами различной частоты.

Как известно, погрешность в измерительном трансформаторе обусловлена наличием тока намагничивания i_μ . На основании первого закона Кирхгофа и схемы замещения ТТ (рис. 1) выражение для мгновенного значения вторичного тока i_2 запишется как

$$i_2 = i_1' - i_\mu, \quad (5)$$

где i_1' – приведенный ко вторичной обмотке первичный ток ТТ, $i_1' = \frac{i_1 W_{1n}}{W_{2n}}$ (W_{1n} – число витков первичной обмотки ТТ).

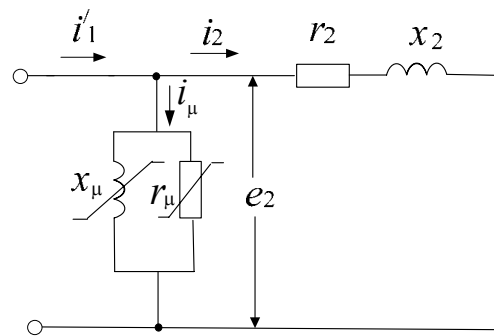


Рис. 1. Схема замещения ТТ

Значение тока намагничивания зависит от индуктивного X_μ и активного r_μ сопротивлений ветви намагничивания, а также от величины электродвижущей силы (ЭДС) e_2 , прикладываемой к ветви намагничивания. ЭДС e_2 равняется падению напряжения на активном r_2 и индуктивном X_2 сопротивлении вторичной цепи (сопротивление обмотки + сопротивление нагрузки) ТТ от протекания тока i_2 . Значения сопротивлений ветви намагничивания зависят от параметров семейства петель гистерезиса, представляющих зависимость $B = f(H)$ (B – индукция в сердечнике, H – напряженность магнитного поля в сердечнике) и являющихся основными характеристиками ферромагнитного материала сердечника (рис. 2).

Величина индукции в сердечнике зависит от величины ЭДС e_2 , и при неизменности ее амплитуды перемагничивание будет осуществляться по одной петле (рис. 3).

Откуда тока намагничивания определится как

$$i_\mu = \frac{H l_M}{W_{2n}}. \quad (6)$$

Зависимость $B = f(H)$ имеет нелинейный характер, что приводит к нелинейности тока намагничивания, и даже при синусоидальном первичном токе индукция в сердечнике будет несинусоидальной из-за несинусоидальности вторичного тока. Как правило, уровень высших гармоник в сигнале тока намагничивания мал и поэтому его несинусоидальностью пренебрегают. Откуда считают, что вторичный ток и, следовательно, индукция в сердечнике синусоидальны, что дает возможность использовать выражения (1 – 2) для определения погрешностей измерительных трансформаторов тока.

При несинусоидальном первичном токе сердечник ТТ будет также перемагничиваться по одной петле гистерезиса (при условии неизменности амплитуды тока основной частоты), а

восходящий и нисходящий участки кривой петли будут несколько искажены вследствие присутствия высших гармоник в сигнале тока. В таком случае ток намагничивания будет иметь высшие гармоники, обусловленные не только нелинейностью сердечника, но и несинусоидальностью первичного тока.

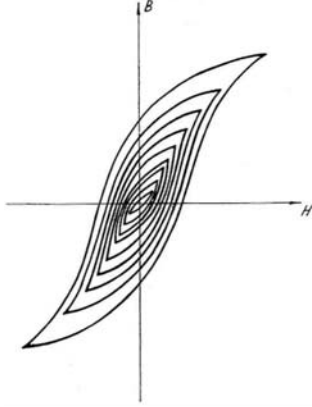


Рис. 2. Семейство петель гистерезиса

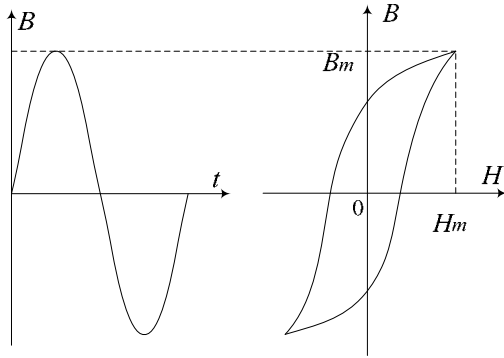


Рис. 3. Связь зависимостей $B = f(t)$ и $B = f(H)$

Предположим, что измеряемый первичный ток содержит высшие гармоники, откуда запишем в общем виде выражение для вторичного тока:

$$i_2 = I_{21m} \sin \omega t + \sum_{n=2}^{40} I_{2nm} \sin(n\omega t + \alpha_n), \quad (7)$$

где α_n – угол сдвига между первой и n -ой гармониками вторичного тока.

ЭДС, приложенная к концам ветви намагничивания

$$e_2 = (r_{21}i_{21} + \frac{x_{21}}{\omega} \frac{di_{21}}{dt}) + \sum_{n=2}^{40} (r_{2n}i_{2n} + \frac{x_{2n}}{n\omega} \frac{di_{2n}}{dt}), \quad (8)$$

с учетом того, что

$$\underline{Z}_{2n} = Z_{2n} e^{j\varphi_n} = r_{2n} + jx_{2n}$$

выражение (8) в общем виде перепишем

$$e_2 = E_{21m} \sin(\omega t + \varphi_1) + \sum_{n=2}^{40} E_{2nm} \sin(n\omega t + \alpha_n + \varphi_n). \quad (9)$$

На основании закона электромагнитной индукции $e_2 = -W_2 S \frac{dB}{dt}$ индукция в сердечнике определится из следующего выражения:

$$B = -\frac{1}{W_2 S} \int [E_{21m} \sin(\omega t + \varphi_1) + \sum_{n=2}^{40} E_{2nm} \sin(n\omega t + \alpha_n + \varphi_n)] dt. \quad (10)$$

После преобразования выражения (10) в общем виде получим

$$B = B_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1 + 90^\circ) + \sum_{n=2}^{40} B_{nm} \sin(n\omega t + \alpha_n + \varphi_n + 90^\circ). \quad (11)$$

Из выражения (11) видно, что индукция в сердечнике будет несинусоидальной, опережая вторичную ЭДС на 90° .

Очевидно, что напряженность магнитного поля будет функцией несинусоидальной, обусловленной нелинейностью сердечника и несинусоидальностью магнитного потока. В свою очередь, ток намагничивания трансформатора i_μ будет иметь также несинусоидальный характер и в общем виде выразится:

$$i_\mu = I_{\mu 1m} \sin(\omega t + \varphi_1 + 90^\circ + \Psi_1) + \sum_{n=2}^N I'_{\mu nm} \sin(n\omega t + \varphi_1 + 90^\circ + \Psi'_n) + \sum_{n=2}^{40} I''_{\mu nm} \sin(n\omega t + \alpha_n + \varphi_n + 90^\circ + \Psi''_n), \quad (12)$$

где N – число гармоник, обусловленных нелинейностью сердечника;

Ψ – фазовый сдвиг между магнитной индукцией и током намагничивания (угол потерь);

i'_μ, i''_μ – составляющие тока намагничивания, обусловленные нелинейностью сердечника и несинусоидальностью измеряемого тока соответственно.

Выражение для первичного измеряемого тока в общем виде запишется

$$i_1 = I_{11m} \sin(\omega t + \delta_1) +$$

$$+ \sum_{n=2}^{40} I_{1nm} \sin(n\omega t + \alpha_n + \delta_n). \quad (13)$$

Из выражения (5) с учетом (7, 12, 13) видно, что фазовый сдвиг каждой гармоники первичного тока по отношению к вторичному δ_n , а также амплитудная погрешность в частности будут зависеть от:

1) угла φ , зависящего от характера сопротивления вторичной цепи ТТ;

2) угла потерь ψ , зависящего от потерь на намагничивание (наклон петли) и гистерезис (площадь петли).

Выводы

Фазовый сдвиг между первичным и вторичным током ТТ будет характерен для каждой гармоники сигнала, поэтому при несинусоидальном первичном токе корректнее говорить об угловой погрешности ТТ каждой гармоники. Сумма фазовых сдвигов каждой гармоники первичного и вторичного токов не будет равна фазовому сдвигу между этими сигналами, как это получено в выражении (4). Связь между фазовыми сдвигами гармоник первичного и вторичного токов с фазовым сдвигом между этими сигналами будет намного сложнее, так как фазовый сдвиг суммы двух синусоидальных сигналов разной частоты не равен сумме фазовых сдвигов этих сигналов.

Сумма токовых погрешностей каждой гармоники сигнала первичного тока не будет равна токовой погрешности трансформатора тока при несинусоидальном первичном токе, как это получено в выражении (3). Вторичный ток может содержать гармоники, которых нет в первичном токе вследствие нелинейности сердечника,

что соответственно отразится на его действующем значении.

И наконец, выражения (1) и (2) не могут быть распространены на вычисление соответствующих погрешностей ТТ для высших гармоник тока, т.к. трансформатор перемагничивается только по одной петле гистерезиса, обусловленной основной гармоникой сигнала (при условии неизменности ее амплитуды). Эти выражения будут справедливы для высших гармоник только в случае, когда трансформатор намагничивается синусоидальным током одной (любой) частоты. Подтверждением данного утверждения являются проведенные экспериментальные исследования, приведенные в работе [3].

Получение выражений для определения погрешностей ТТ при несинусоидальных входных сигналах требует создания математической модели ферромагнитного материала сердечника при таких условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трансформаторы тока [Текст] / под ред. В. В. Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Савина, Н. В. Влияние качества электроэнергии на погрешность измерительных трансформаторов тока и напряжения [Текст] / Н. В. Савина, М. А. Сухомесов // Электричество. – 2008. – № 11. – С. 6-11.
3. A Novel Approach to Current Transformer Characterization in the Presence of Harmonic Distortion [Text] // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2009. – Vol. 58, No. 5. – P. 1446-1450.

Поступила в редколлегию 04.10.2010.

Принята к печати 19.10.2010.

Ю. Г. СЕМЕНОВ, Ю. И. ЖАРКОВ (РГУПС, Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТ С УСТОЙЧИВЫМИ ДЕФЕКТАМИ НА КОНТАКТНОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ РЕГИСТРАЦИИ ДУГОВЫХ НАРУШЕНИЙ ТОКОСЪЕМА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ

Наведено принципи побудови, структуру оптоелектронної системи для реєстрації дугових порушень струмознімання; описано методологічні основи використання системи для автоматизації визначення стійких дефектів контактної мережі.

Ключові слова: струмознімання, реєстрація порушень струмознімання, автоматизація визначення дефектів контактної мережі

Приведены принципы построения, структура оптоэлектронной системы для регистрации дуговых нарушений токосъема; описаны методологические основы использования системы для автоматизации обнаружения устойчивых дефектов на контактной сети.

Ключевые слова: токосъем, регистрация нарушений токосъема, автоматизация обнаружения дефектов контактной сети

The construction principles, structure of optic-electronic system for registration of arcing sliding contact breaks are presented; the methodological bases of using the system for automated detection of steady defects on an electric-traction network are described.

Keywords: current collection, registration of current collection violations, automated detection of defects in electric-traction network

Введение

«Стратегией развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года» предусматривается создание и развитие комплексной системы содержания инфраструктуры железных дорог. В состав комплексной системы содержания должна также входить автоматизированная система диагностики контактной сети с целью определения ее текущего состояния и раннего обнаружения дефектов, в том числе путем объездов участков вагоном-лабораторией (ВИКС). В процессе эксплуатации контактная сеть приобретает ряд опасных дефектов, которые сопровождаются дуговыми нарушениями токосъема при каждом проходе токоприемника. Такие дефекты являются опасными, быстро развиваются и приводят к усиленному износу контактных проводов, их разупрочнению и обрывам. В настоящее время регистрация таких опасных мест из ВИКС не проводится из-за отсутствия необходимой аппаратуры и методологии ее использования для достоверного обнаружения дефектов.

В Ростовском государственном университете путей сообщения проведено исследование метода регистрации оптических излучений от дуговых нарушений скользящего контакта, которое позволило разработать современную ав-

томатизированную оптико-электронную систему регистрации дуговых нарушений токосъема.

Цель работы

Задача состоит в разработке принципов построения автоматизированной системы для регистрации дуговых нарушений токосъема, а также методологических и алгоритмических основ ее использования для автоматизации процесса обнаружения устойчивых дефектов контактной сети по дуговым нарушениям токосъема.

Состав и принцип работы оптоэлектронной системы

Автоматизированная система предназначена для бесконтактной регистрации дуговых и искровых нарушений токосъема на участках контактной сети постоянного и переменного тока из ВИКС при плановых объездах участков и работает на принципе приема оптического излучения от дуговых или искровых нарушений токосъема в спектре германиевых фотоприемников. Система ведет непрерывный дистанционный контроль дуговых и искровых нарушений токосъема на токоприемнике локомотива, с которым следует ВИКС.

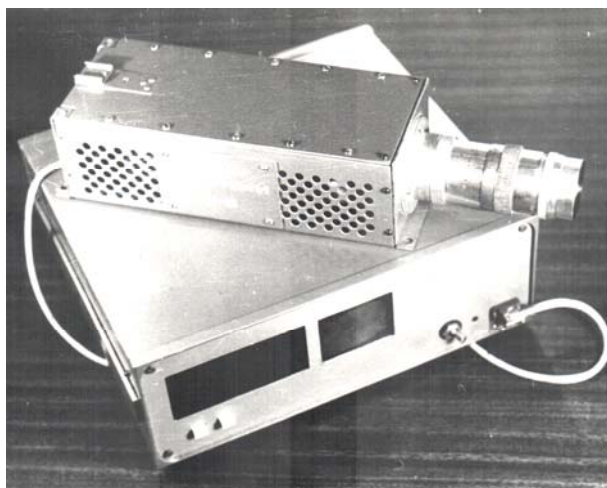


Рис. 1. Внешний вид оптоэлектронной системы

Конструктивно система состоит из двух блоков: приемного оптического блока и блока регистрации и обработки информации. Внешний вид системы показан на рис. 1. Приемный оптический блок стационарно устанавливается внутри наблюдательной вышки ВИКС и оптической системой ориентируется на задний рабочий токоприемник электровоза, расположенный на расстоянии 15 м от заднего токоприемника локомотива. Поле обзора оптической системы во фронтальной плоскости, проходящей через лыжу токоприемника локомотива, имеет размер 1300 мм по высоте и 3000 мм по ширине. Размеры поля обзора оптической системы выбраны из условий возможных перемещений точки скользящего контакта по вертикали и возможного ее смещения по горизонтали на кривых участках пути. В качестве объектива использован стандартный телеобъектив «Юпитер-11» с фокусным расстоянием 110 мм.

Блок регистрации и обработки информации располагается на рабочем столе наблюдательной вышки и соединяется с оптическим блоком специальным кабелем посредством разъемов. Блок регистрации и обработки информации имеет специальный разъем для передачи информации о нарушениях токосъема и их параметров в бортовую компьютерную сеть ВИКС.

На рис. 2 показана структурная схема приемного оптического блока.

Приемный оптический блок содержит оптическую систему ОС и устройство предварительной обработки УПО. Оптическая система состоит из объектива, волоконно-оптического разделителя светового потока, волоконно-оптических фоконов, фотоприемников Ф и отдельного фотоприемного элемента ФРУ. Необ-

ходимость применения такой конструкции ОС [1] продиктована необходимостью решения следующих технических вопросов. Во-первых, необходимо уменьшить постоянную составляющую светового потока, попадающего на светочувствительный слой фотоприемника, что позволит работать фотоприемникам во всем динамическом диапазоне принимаемых уровней световых потоков. Для этой цели служит волоконно-оптический разделитель светового потока. Во-вторых, требуется согласовать часть размера изображения всего поля обзора, передаваемого отдельным каналом разделителя светового потока, с размерами светочувствительного элемента фотоприемника. Это достигается путем использования волоконно-оптических фоконов. Такое техническое решение позволило обеспечить увеличение отношения «полезный сигнал – фон» из-за уменьшения площади поля обзора, попадающего на каждый отдельный фотоприемник. Фотоприемники преобразуют световые потоки в сигналы напряжения на своих выходах.

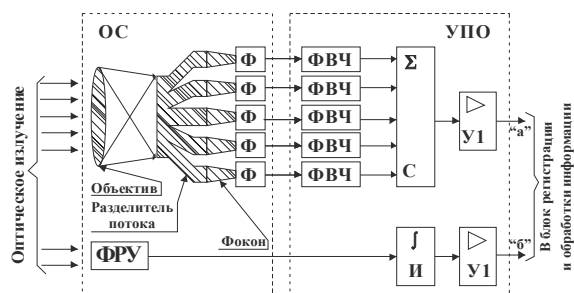


Рис. 2. Структурная схема приемного оптического блока

Вся аналоговая электронная часть приемного оптического блока сосредоточена в узле предварительной обработки УПО. Полученный сигнал от каждого фотоприемника фильтруется оптимальными фильтрами верхних частот ФВЧ [2]. ФВЧ на своих выходах подавляют медленно изменяющуюся составляющую светового потока от фона поля обзора и пропускают на выход короткие вспышки светового потока от дуговых или искровых нарушений токосъема. Сигналы с выходов ФВЧ одновременно суммируются сумматором С и усиливаются линейным усилителем У1. Сигнал с выхода У1 поступает на блок регистрации и обработки информации (выход «а», рис. 2).

При движении ВИКС в дневное время поле обзора изменяет в широких пределах свою яркость. Поэтому возникают ситуации, когда в оптическую систему могут попасть прямые

солнечные лучи или фон значительной яркости (в вечерние или утренние часы). Это может привести к росту числа ложных срабатываний за счет мельканий различных узлов и объектов, пересекающих поле обзора. Поэтому требуется увеличение порога срабатывания в соответствии со средней яркостью фона поля обзора, таким образом, чтобы при предельных засветках поля обзора дополнительно производился запрет регистрации. Для этих целей оптическая система снабжена дополнительным фотоприемником ФРУ, сигнал с которого интегрируется интегратором И, выделяющим средний уровень фона, и усиливается усилителем постоянного тока У2. Сигнал с выхода У2 используется для регулировки порога в блоке регистрации и обработки информации, схема которого показана на рис. 3.

Принцип работы блока регистрации и обработки информации БРОИ следующий [3]. При дуговых нарушениях этот сигнал «а» представляет собой импульсный процесс, где первым появляется выброс положительной полярности, а за ним следует отклик фильтра ФВЧ отрицательной. При резких затемнениях фона поля обзора первым появляется выброс отрицательной полярности, а после него следует положительный отклик фильтра ФВЧ. Сигнал «а» от приемного оптического блока поступает одновременно на два пороговых устройства ПУ1 и ПУ2. Пороги устройств ПУ1 и ПУ2 определяются оптимальными значениями [4]. На ПУ1 и ПУ2 поступает управляющий сигнал «б», пропорциональный усредненной по времени фоновой засветке поля обзора оптической системы со временем усреднения 10 с. Этот сигнал служит для создания управляемых порогов срабатывания ПУ1 и ПУ2 в зависимости от уровня фоновой засветки поля обзора. Поэтому оптимальный порог срабатывания регулируем, пропорциональный среднему уровню фоновой засветки.

При приходе сигнала от дугового нарушения первым работает ПУ1 и заставит работать блок регистрации сигнала БР. При этом БР сигналом своего выхода заблокирует срабатывание блока запрета БЗ. При приходе кратковременной помехи большой амплитуды от резкого перекрытия фона поля обзора первым работает ПУ2 и включит БЗ, который сигналом своего выхода заблокирует БР и запретит регистрацию. Схемотехнически БР и БЗ представляют собой одновибраторы, находящиеся в

ждущем режиме при отсутствии сигналов. Время удержания БР либо БЗ в состоянии срабатывания поддерживается в дальнейшем как положительными, так и отрицательными входными импульсами, прошедшими ПУ1 и ПУ2. Поддержание одновибраторов в состоянии срабатывания обеспечивается элементами ИЛИ, И1, И2. После окончания действия чередующихся импульсов одновибраторы приходят в исходное ждущее состояние с определенной задержкой времени, длительность которой определяется временем успокоения входного сигнала, прошедшего ФВЧ.

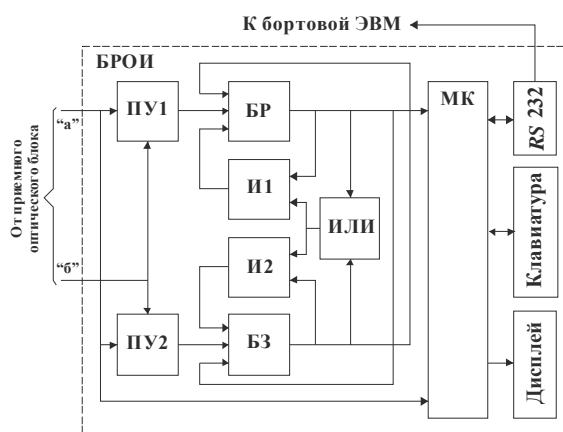


Рис. 3. Структурная схема блока регистрации и обработки информации

При условии срабатывания БР на микроконтроллер МК поступает разрешающий сигнал, в течение которого МК производит преобразование входного сигнала «а» в цифровую форму, а также осуществляет программную обработку входного сигнала. Программная обработка производит определение параметров входного сигнала. Фиксируются факт дугового нарушения, его длительность, отметка текущего времени появления факта, суммарная длительность дуговых нарушений. Производится селекция длительностей и амплитуд оптических сигналов, подсчитывается количество дуговых нарушений, рассчитывается энергия регистрируемых сигналов и др. МК ведет протокол событий с возможностью вывода нужной информации на дисплей. Вызов необходимой информации осуществляется со встроенной в БРОИ специальной клавиатуры. МК имеет возможность подключения к персональному компьютеру бортовой сети ВИКС через порт RS232.

Описываемая система обладает вероятностью регистрации дуговых нарушений 0,74 на участках постоянного тока и 0,875 – на участках переменного тока.

Методические основы обнаружения устойчивых дефектов

Обнаружение должно базироваться на двух методических направлениях: первое – на анализе результатов нескольких объездов участка с помощью ВИКС на совпадение мест с дугообразованием или искрением по координате пути и второе – на анализе зарегистрированных длительностей дуговых нарушений. Причем должны подвергаться анализу результаты не менее двух, совершенных подряд, объездов, т.к. необходимо исключить из рассмотрения места со случайно возникшими дуговыми нарушениями, вероятность совпадения которых по координате пути ничтожна.

Рассмотрим первое методическое направление. Известна методика регистрации дефектных мест по результатам регистрации отрывов токоприемника [5], основанная на выявлении мест с совпавшими координатами отрывов по результатам двух объездов участка контактной сети и направленная на поиск устойчивых дефектов. Однако такая методика не учитывает реальные возможности регистрирующей аппаратуры с точки зрения вероятностей регистрации дуговых нарушений токосяема (отрывов) и вероятности пропуска полезных сигналов этой аппаратурой. В нашем случае, как было показано выше, все системы регистрации, основанные на любом принципе, имеют вероятности регистрации ниже единицы. Поэтому возможные пропуски полезного сигнала необходимо компенсировать увеличением числа сравниваемых результатов, полученных при каждом последовательном во времени объезде участка. Поскольку возникновение искрения или дуги в месте дефекта, а также его регистрация происходит с некоторой вероятностью, то о наличии дефекта можно судить тоже с определенной вероятностью. В дальнейшем такая вероятность названа вероятностью обнаружения дефекта.

Наличие дефекта будем считать установленным, если в процессе анализа результатов нескольких объездов участка искрение или дуговое нарушение зафиксировано системой в одном и том же месте участка два и более раз. Определим достаточного количества сравниваемых результатов (количества опытных объездов) в зависимости от вероятности обнаружения дефектов следующим образом.

Пусть событие A заключается в появлении дугового нарушения в точке дефекта. Событие A возникает с вероятностью $P(A)$. Регистрация факта дугового нарушения есть событие B , ко-

торое происходит с вероятностью $P(B/A)$, найденной при условии, что событие A произошло. Вероятность $P(B/A)$ в нашем случае есть условная вероятность регистрации дуговых нарушений системой. При этом полная вероятность того, что на выходе системы появится результат регистрации (событие C) равна:

$$P(C) = P(A) \cdot P(B/A). \quad (1)$$

Если проводится n независимых испытаний (объездов), а наличие дефекта определяется по совпадению в одном и том же месте участка дуговых или искровых нарушений два и более раз, то вероятность обнаружения дефекта определится биномиальным законом Бернулли. Вероятность обнаружения дефекта, т.е. вероятность того, что при n независимых испытаниях событие C , происходящее с вероятностью $P(C)$ появится k и более раз равна:

$$P_0 = \sum_{k=2}^n C_n^k \cdot P^k(C) [1 - P(C)]^{n-k}, \quad (2)$$

где C_n^k – число сочетаний из n элементов по k .

С учетом (1) выражение (2) приводится к виду:

$$P_0 = \sum_{k=2}^n C_n^k \cdot P^k(A) \cdot P^k(B/A) \cdot [1 - P(A) \cdot P(B/A)]^{n-k}. \quad (3)$$

В табл. 1 приведены рассчитанные по формуле (3) при $n \geq 2$ значения вероятностей обнаружения устойчивых дефектов контактной сети различными системами контроля. В расчетах принято, что вероятность появления дуговых отрывов в месте дефекта $P(A) = 1$, т.е. дугообразование сопровождается дефектом при каждом объезде участка, что характерно для устойчивых дефектов. Расчет проводился для двух значений вероятностей регистрации $P(B/A)$, соответствующих вероятностям регистрации дуговых нарушений оптоэлектронной аппаратурой на участках переменного и постоянного тока.

Анализ табл. 1 показывает, что устойчивый дефект с вероятностью более 0,95 может быть обнаружен системой путем анализа результатов текущего объезда с результатами двух предыдущих объездов на участках переменного тока, а на участках постоянного тока – с результатами трех предыдущих. Учитывая то, что объезды участков ВИКС совершает два раза в квартал, то такой подход к обнаружению дефектов в отдельных случаях может оказаться неэффективным.

Таблица 1

**Вероятность обнаружения дефектов
от числа сравниваемых результатов**

Род тока	n	k	$P(A)$	$P(B/A)$	P_o
Переменный	2	2	1	0,875	0,766
	3	2; 3			0,957
	4	2; 3; 4			0,993
Постоянный	2	2	1	0,74	0,547
	3	2; 3			0,832
	4	2; 3; 4			0,943

Второе методическое направление обнаружения дефектов контактной сети по длительностям дуговых нарушений по результатам текущего объезда. С целью установления вероятностной связи между длительностями дуговых нарушений и наличием в соответствующем месте устойчивого дефекта были проведены исследования на действующем участке СКЖД. При однократном объезде ВИКС участка фиксировались места с дуговыми нарушениями и их длительности с помощью описанной системы. Определялась вероятность попадания длительностей дуговых нарушений в интервалы времени по 10 мс каждый:

$$p_i^* = \frac{n_i^*}{N}, \quad (4)$$

где n_i^* – число дуговых нарушений в i -м интервале длительностей; N – общее число зафиксированных дуговых нарушений ($N = 162$).

Зафиксированные места подвергались визуальному осмотру с целью определения наличия устойчивого дефекта. Вероятность наличия устойчивого дефекта в i -м интервале длительностей дуговых нарушений определялась как

$$p_{ид}^* = \frac{n_{ид}^*}{N_d}, \quad (5)$$

где $n_{ид}^*$ – число устойчивых дефектов в i -м интервале; N_d – общее число выявленных дефектов ($N_d = 32$).

Результаты расчетов по (4) и (5) представлены в виде гистограмм на рис. 4 и 5.

Анализ показывает, что основная часть длительностей дуговых нарушений токосяема (рис. 4) лежит в области до 20 мс, в то время как основная часть выявленных на участке де-

фектов (рис. 5) приходится на длительности более 20 мс.

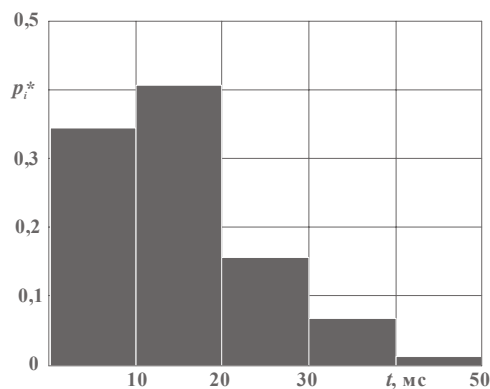


Рис. 4. Распределение числа дуговых нарушений по интервалам длительностей

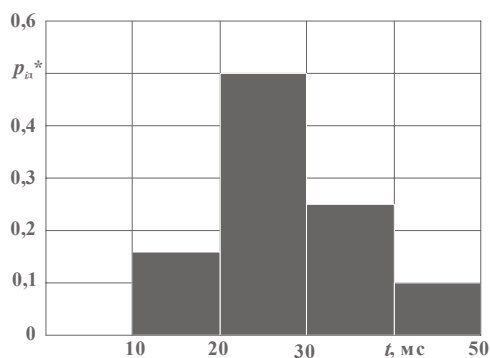


Рис. 5. Распределение числа обнаруженных устойчивых дефектов по интервалам длительностей

Рассмотрение отношения количества найденных дефектов $n_{ид}^*$ к числу дуговых нарушений n_i^* в каждом интервале длительностей дает следующий ряд, представленный в табл. 2.

Таблица 2

**Отношение числа обнаруженных дефектов
к числу дуговых нарушений в интервалах
длительности**

Диапазон длительности, мс	0÷10	10÷20	10÷30	0÷40	0÷50
$n_{ид}^* / n_i^*$	0	0,075	0,615	0,727	1

Ряд показывает, что существует вероятностная связь между длительностью дугового нарушения и вероятностью наличия устойчивого дефекта в месте дугового нарушения. Причем эта корреляционная связь растет с увеличением длительности дугового нарушения. Величина отношения $n_{ид}^* / n_i^*$ определяет условную вероятность наличия дефекта в каждом отдельном

i -м интервале длительности, при условии, что в нем зарегистрировано n_i^* дуговых нарушений.

Оценка вероятности наличия устойчивого дефекта в отрезках времени длительностью от интервала с номером k до номера $k+j$ при условии, что дуговые нарушения зарегистрированы системой регистрации, определится как:

$$P_d^*(k, k+j) = \sum_{i=k}^{k+j} p_{id}^*, \quad (6)$$

где $k = 1, 2, \dots, s; j = 0, 1, 2, \dots, (s-k); s$ – номер последнего интервала.

Так, например, расчеты по (6) показывают, что в отрезке времени от 20 до 50 мс ($k=3; j=s-k=2$) вероятность наличия устойчивого дефекта $P_d^*(3, 5) = 0,843$. Таким образом, регистрация длительностей дуговых нарушений свыше 20 мс позволит обнаружить порядка 84 % от всех обнаруженных устойчивых дефектов N_d , при условии проверки всех мест с зарегистрированными дуговыми нарушениями длительностями свыше 20 мс. Следовательно, длительности отдельных дуговых нарушений связаны вероятностно с устойчивостью и степенью опасности дефекта и определяют в некоторой степени его образ.

Учет обоих направлений приводит к следующей обобщенной методике обнаружения опасных дефектов контактной сети, учитывающей оба методических направления. Рассмотрим совмещенную методику.

Пусть событие C заключается в предположении об обнаружении устойчивого дефекта по результатам сравнения опытных объездов. Пусть событие D заключается в предположении об обнаружении устойчивого дефекта по принадлежности длительности дугового нарушения t_i к определенному i -му интервалу длительностей.

Здесь можно рассматривать два варианта принятия решений. Первый из них – это принятие решения о наличии дефекта по совмещению двух независимых событий, т.е. получения события $E = C \wedge D$, соответствующего принятию решения о наличии устойчивого дефекта. Данный подход ужесточает требования к обнаружению устойчивого дефекта. Это условие будет выполняться редко, так как требует одновременного совпадения места искрения по результатам объездов участков и большой длительности искрений при последнем из них. Такой подход позволяет выделить из всего поля дефектов только самые устойчивые и опасные,

что недостаточно. Кроме того, если дефект появился в период перед текущим объездом, то совмещение событий C и D вообще невозможно, а решение о наличии дефекта не будет принято.

Второй вариант принятия решения заключается в том, что под решением E понимается следующая логическая связь событий C и D :

$$E = \begin{cases} 1; & \text{при } C_i = 1, (i = 1 \dots k \dots s); \\ 1; & \text{при } D_i = 1, (i = k \dots s), C_i \vee \overline{C_i}; \\ 0; & \text{при } \overline{C_i} \wedge \overline{D_i}, \end{cases} \quad (7)$$

где i – номер интервала длительностей дуговых нарушений ($i = 1, 2 \dots k \dots s$); k – пороговое значение номера интервала, с которого начинается принятие решения по событию D_i .

Выражение (7) определяет совмещенную методику обнаружения устойчивых дефектов контактной сети по дуговым нарушениям токосъема. Решение об устойчивом дефекте $E = 1$ принимается в двух случаях:

1) при совпадении места дугового нарушения по результатам нескольких объездов участка (событие C_i) при попадании длительности дугового нарушения в любой интервал ($i = 1 \dots k \dots s$);

2) при попадании длительности дугового нарушения (событие D_i) в интервалы от k -го до s -го ($i = k \dots s$), в которых вероятность наличия дефекта в месте нарушения значительна, и вне зависимости от появления или отсутствия события C_i .

Решение об устойчивом дефекте отвергается ($E = 0$), если одновременно отсутствуют события C_i и D_i .

При реализации данного алгоритма уменьшается вероятность пропуска дефекта при его появлении в период перед последним объездом. Кроме того, при малых длительностях дуговых нарушений, когда наблюдается проход токоприемником дефекта на пониженных скоростях, решение о дефекте может быть принято по совпадению. Поэтому последний алгоритм является предпочтительнее первого.

Выводы

1. Применение разработанной аппаратуры позволяет производить регистрацию мест с дуговыми нарушениями токосъема с достаточной вероятностью.

2. Предлагаемые методические основы анализа результатов регистрации позволяют принимать решение о наличии опасных дефектов

на контактной сети сразу при текущем объезде участка.

3. Длительность дугового нарушения определяет степень его опасности и позволяет установить порядок устранения дефекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.с. 815501 СССР, МКИ³ В60 L 5/00 (СССР). Устройство для регистрации искрения токоприемника [Текст] / Ю. Г. Семенов, Е. П. Фигурнов. – № 2771563/18; Оpubл. 23.03.81, Бюл. № 11.
2. Семенов, Ю. Г. Основы оптимальной фильтрации сигналов от дуговых нарушений токосъема автоматизированными системами контроля [Текст] / Ю. Г. Семенов // Вестник РГУПС. – Ростов-н/Д, 2009. – № 2. – С. 113-119.

3. А.с. 1050927 СССР, МКИ³ В60 L 5/00 (СССР). Устройство для регистрации искрения токоприемника [Текст] / Ю. Г. Семенов, Е. П. Фигурнов. – № 3448343/24; Оpubл. 30.10.83, Бюл. № 40.
4. Семенов, Ю. Г. Оптимальные уровни принятия решений системами контроля дуговых нарушений токосъема [Текст] / Ю. Г. Семенов // Вестник РГУПС. – Ростов-н/Д, 2009. – № 3. – С. 107-112.
5. Мирошниченко, Р. И. Автоматизированная система контроля и оценки тяговой сети (АСКОТ) [Текст] / Р. И. Мирошниченко, Ю. Е. Купцов, Т. Ф. Шинкарева // Труды ВНИИЖТ. – Вып. 635. – М.: Транспорт, 1980. – С. 42-60.

Поступила в редколлегию 05.10.2010.

Принята к печати 14.10.2010.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ІЗ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ НАСОСІВ

Основна увага в статті приділяється порівнянню енергетичних втрат у приводах насосів з різними видами керування. Наведений матеріал орієнтує у визначенні тих вузлів приводних систем, де найбільш вигідне застосування частотного керування.

Ключові слова: частотне керування електроприводом насоса, енергетичні втрати, ефективність впровадження

Основное внимание в статье уделяется сравнению энергетических потерь в приводах насосов с различными видами управления. Приведенный материал ориентирует в определении тех узлов приводных систем, где применение частотного управления наиболее выгодно.

Ключевые слова: частотное управление электроприводом насоса, энергетические потери, эффективность внедрения

In the article the basic attention is paid to comparison of power losses in drives of pumps with various kinds of control. The resulted material focuses in determination of those units of the drive systems where the application of a frequency control is the most advantageous.

Keywords: frequency control of pump electric drive, power losses, efficiency of introduction

Можливість регулювання частоти обертання короткозамкнених асинхронних електродвигунів була доведена зразу ж після їх винайдення [1]. Реалізувати цю можливість вдалося лише з появою силових напівпровідникових пристроїв. В сучасних електроприводах у всьому світі широко реалізується частотний спосіб керування асинхронною машиною, який розглядається не тільки з точки зору економії електроенергії, але й точки зору удосконалення керування технологічним процесом [2].

В Україні склалась дещо інша ситуація. Частотно-керовані електроприводи, що відповідають вимогам надійності і електромагнітної сумісності з мережами, з'явилися на українському ринку порівняно пізно. Досвід застосування тиристорних приводів сформував упереджене ставлення до використання сучасних перетворювачів частоти, а відповідно очікуваного економічного ефекту від їх впровадження частина спеціалістів виражає недовіру.

Враховуючи порівняно велику вартість на-

півпровідникових перетворювачів, що застосовуються для регулювання частоти обертання асинхронних приводів, на сьогоднішній день найбільш важливим є питання повернення коштів вкладених в їх впровадження. Тому особлива увага в статті приділяється порівнянню енергетичних втрат в приводах насосів з різними видами керування. Матеріал статті не має економічних розрахунків але орієнтує у визначенні тих вузлів приводних систем, де найбільш вигідне застосування частотного керування.

Узагальнена технологічна схема системи, що забезпечує подачу води в мережу споживача з постійним заданим тиском (рис. 1) [3]. Основними елементами схеми є запірні технологічні засувки 31 і 32, насосний агрегат Р, зворотний клапан К1, фільтр води Ф і регулювальний клапан К2. В цій схемі можна виділити і основні технологічні параметри, серед яких H_1 – напір, що створюється джерелом подачі води;

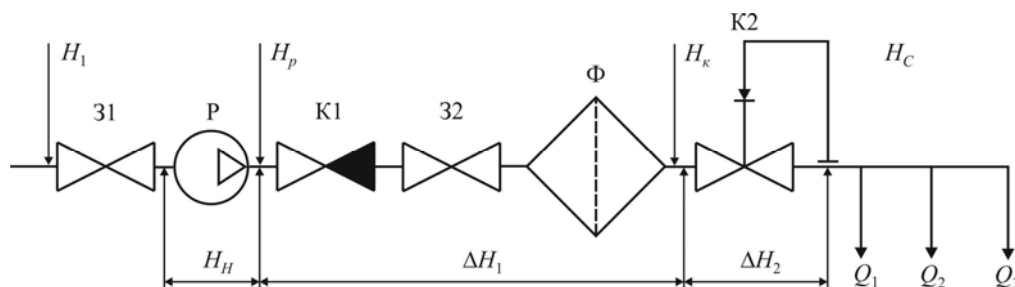


Рис. 1. Спрощена технологічна схема з насосним агрегатом

H_p – напір після насосного агрегату; H_k – напір перед регулювальним клапаном; H_c – напір в мережі споживача, і $Q_1 - Q_3$ – витрати води в мережі споживача. Крім того, можна виділити напір H_n , що розвивається насосним агрегатом, а також втрати напору на елементах системи між насосним агрегатом Р і мережею споживачів: ΔH_1 – втрати напору на елементах 32 і Ф і ΔH_2 – втрати напору на регулювальному клапані.

Розглянувши енергетичні характеристики технологічного процесу об'єкту, можна записати, що необхідна (корисна) енергія для подачі води споживачу може бути розрахована як $W_c = H_c \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3)$. Для нормальної роботи мережі частіше за все необхідно створення постійного значення напору H_c . Величини витрат $Q_1 - Q_3$ визначаються споживачем і з часом можуть змінюватись. Гідравлічна енергія, що розвивається насосним агрегатом, може бути отримана як $W_n = H_n \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3)$, де сума витрат представляє собою загальну витрату води Q_c в мережі. В ідеальному випадку бажано, щоб зберігалась рівність між W_c і W_n . В реальній системі між насосним агрегатом і мережею встановлені елементи із своїми гідравлічними опорами, на яких втрачається частина напору $\Delta H_e = \Delta H_1 + \Delta H_2$. Таким чином, втрати енергії на технологічне забезпечення параметрів рідини, що перекачується можна визначити як $\Delta W_e = \Delta H_e \cdot Q_c$. Відповідно, для підтримання заданих технологічних параметрів мережі насос повинен розвивати гідравлічну потужність $W_n = H_c \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3) + \Delta H_e \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3)$.

Останній вираз показує, що втрати енергії в технологічному процесі залежать від витрат мережі (технологічне навантаження), які визначаються споживачем, і втратами напору на обладнанні насосної станції ΔH_e , які в свою чергу визначаються гідравлічними опорами елементів схеми. В загальному випадку оцінити ці втрати напору можна порівнявши показання манометрів перед напірною засувкою 32 і манометра в трубопроводі мережі. Для організації технологічного процесу з мінімальними енергетичними втратами необхідно, в першу чергу, знизити втрати напору між трубопроводом насосного агрегату і мережею споживачів – ΔH_e .

Розглянемо роботу технологічного процесу, з точки зору зміни параметрів навантаження

мережі – Q_c . Для цього скористаємось відомими $Q-H$ характеристиками для насосних агрегатів і мережі (рис. 2) [4]. Крива 1 відповідає напірній характеристиці насосного агрегату, а крива 2 – гідравлічній характеристиці мережі, де H_0 – необхідний статичний напір мережі. Точка перетину цих характеристик є ідеальною розрахунковою точкою спільної роботи насосного агрегату і мережі ($Q_{ном}$). При зміні витрати в мережі змінюється і її гідравлічна характеристика – лінії 3-5. Відповідно будуть здвигатись точки перетину характеристик. Як видно з рис. 2 із зменшенням витрати збільшується тиск в мережі. Крім того, в процесі функціонування в залежності від режимів роботи системи може змінюватись тиск перед насосом. Зміни цього тиску також відображаються на величині тиску в мережі споживачів.

Такий характер взаємозв'язку параметрів потребує встановлення в системі дросельних регулюючих елементів, які створюють додатковий гідравлічний опір і дозволяють забезпечити стабільний тиск в напірній магістралі.

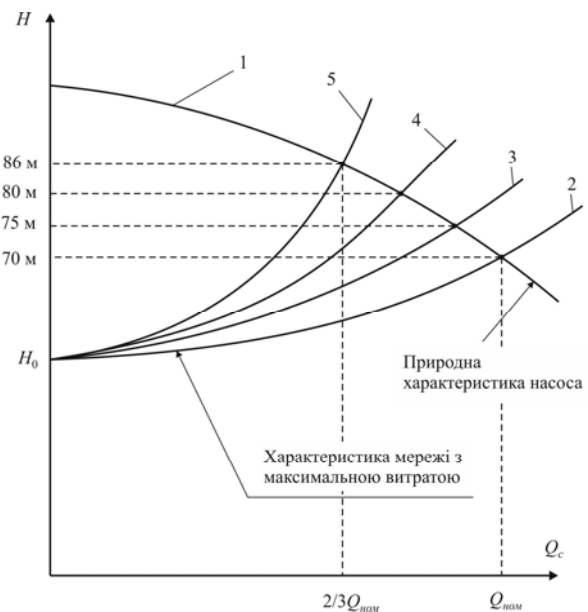


Рис. 2. Характеристики насосного агрегату і мережі без регулювання тиску

При використанні дросельних елементів перерозподіляється напір на елементах системи, як показано на рис. 3, де ΔH_d – спад напору на дросельному елементі.

Для підтримання заданого тиску в напірній магістралі при зміні витрати рідини змінюють гідравлічний опір регулювального елемента. При цьому загальна гідравлічна характеристика буде мати більш крутий вид. Величина ΔH_d з таким регулюванням збільшується. Таким чи-

ном, чим глибше виконується дроселювання регулюючим елементом, тим більше енергетичних втрат зазнає весь технологічний процес.

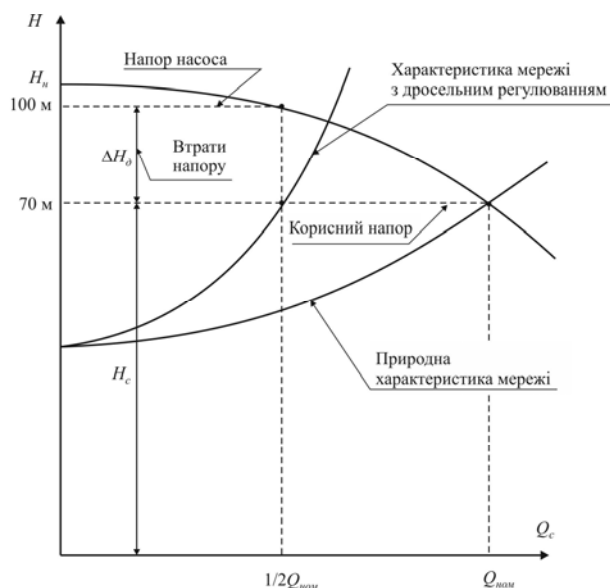


Рис. 3. Характеристики насосного агрегату і мережі з дросельним регулюванням

На величину втрат при дросельному регулюванні впливає не тільки регулюючий елемент: частіше за все на етапі проектування вибирають насосний агрегат з запасом напіру, а при заміні насосних агрегатів нове обладнання може мати дещо завищені напірні характеристики. Крім того, діапазон зміни вхідного тиску (перед насосом) впливає на величину тиску за насосом. Всі ці обставини призводять до того, що втрати енергії на ході технологічного процесу є досить суттєвими і можуть досягати 45 і більше відсотків від номінальної потужності агрегату.

Для вирішення задачі мінімізації втрат, пов'язаних з регулюванням тиску в мережі, необхідно виключити додаткові гідравлічні опори на ділянці від насосного агрегату до напірної магістралі, тобто необхідно повністю відкрити всю запірну арматуру. Це можна зробити, якщо процес регулювання тиску передати насосному агрегату. Теорія роботи насосів доводить, що зміна частоти обертання привода насоса змінює його напірні характеристики. Крім того, напір, що створюється насосом, пропорційний квадрату частоти обертання агрегату.

Зміна напірних характеристик при зміні частоти обертання показана на рис. 4, на якому крива 1 відповідає номінальній напірній характеристиці, а криві 2-4 – напірним характеристикам при зниженій частоті обертання.

Якщо організувати роботу привода насосного агрегату таким чином, щоб він при зміні па-

раметрів технологічного процесу змінював частоту обертання, то в результаті можливо без істотних втрат енергії стабілізувати тиск в мережі. При такому способі регулювання виключаються втрати напіру, а відповідно, і втрати гідравлічної енергії.

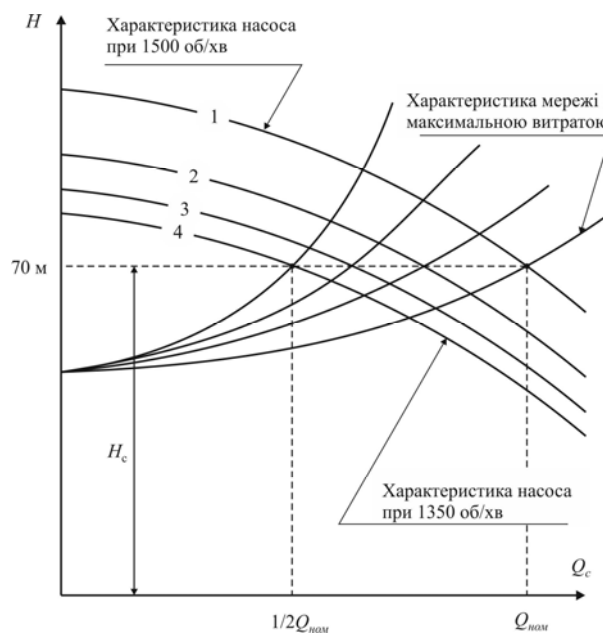


Рис. 4. Характеристики насосного агрегату і мережі з частотним регулюванням

Спосіб регулювання тиску в мережі шляхом зміни частоти обертання привода насосного агрегату знижує енергоспоживання також і по іншій причині. Насос як пристрій перетворення має свій коефіцієнт корисної дії. Характер зміни ККД насоса в залежності від витрати рідини при різних частотах обертання наведено на рис. 5.

У відповідності з теорією подібності максимум ККД із зменшенням частоти обертання дещо знижується і зміщується вліво. Якщо розглянути роботу агрегату для витрати менше від номінальної (вертикальні лінії А і В), то для цих режимів раціонально працювати на зниженій частоті обертання. В цьому випадку ККД насоса вище ніж при роботі на номінальній частоті обертання. Таким чином, зниження частоти обертання у відповідності з технологічним навантаженням дозволяє не тільки заощаджувати електричну енергію на виключення гідравлічних втрат, а також отримати економічний ефект за рахунок підвищення ККД самого насоса.

Використання частотного керування приводами дозволяє суттєво зменшити і експлуатаційні витрати, що пов'язані з обслуговуванням агрегатів і систем.

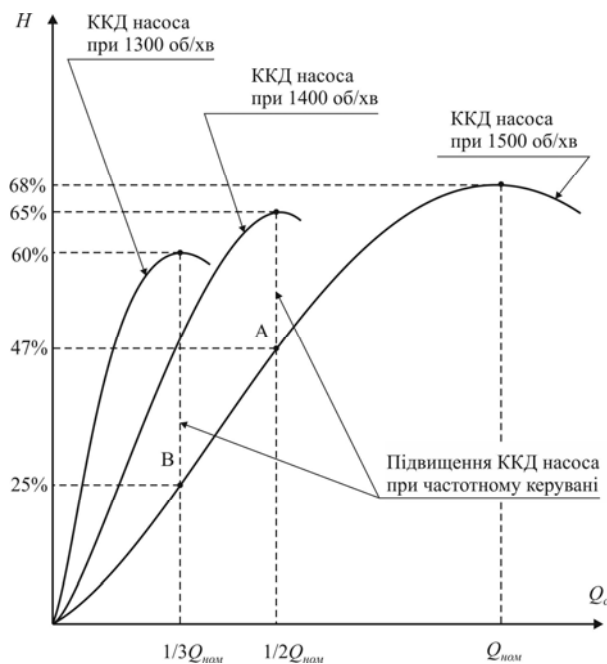


Рис. 5. Зміна ККД насосного агрегату з частотним регулюванням при зміні продуктивності

Практика використання частотних перетворювачів для керування насосами і вентиляторами доводить доцільність не просто включення перетворювача для керування агрегатом, а створення спеціалізованих систем керування технологічним процесом. Саме такий підхід дозволяє отримати економічний ефект не тільки від зниження споживаної потужності з електричної мережі, а й досягти суттєвого зменшення експлуатаційних витрат, поліпшення умов праці і збільшення терміну експлуатації обладнання. Сучасні перетворювачі дозволяють отримувати більше 20 параметрів стану електропривода. Відповідне опрацювання цих параметрів дозволяє проводити глибоке діагностування як обладнання системи, так і процесів, що протікають. З'являється можливість не тільки реагувати на аварію, а й попереджувати її виникнення, що для енергетичних об'єктів значно важливіше.

Підбиваючи підсумки, можна зробити наступні **висновки**.

Використання частотно-регульованих приводів для насосів і вентиляторів в технологічних процесах дозволяє знизити енергоспоживання технологічним обладнанням. Перед початком впровадження рекомендується провести техніко-економічне обґрунтування, що дозволить визначити не тільки термін окупності від впровадження але й правильно організувати технологічний процес з урахуванням можливостей приводів з частотним регулюванням. Доцільно використовувати перетворювачі частоти не в якості елементів системи керування конкретного агрегату, а як складових комплексних системних рішень з підключенням широкого набору засобів автоматизації технологічного процесу. Такі рішення дозволяють отримати додатковий ефект, який заздалегідь більше від простої економії електричної енергії.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Москаленко, В. В. Электрический привод [Текст] / В. В. Москаленко. – М.: Академия, 2007. – 362 с.
2. Holzenberger, K. Изложение о центробежных насосах [Текст] : техн. доклад KSB (1999) / K. Holzenberger. – 4-е изд., перераб. и расш. – Франкенталь (Пфальц): KSB-CKR, 2001. – 110 с.
3. Якубчик, П. П. Насосы и насосные станции [Текст] : учеб. пособие / П. П. Якубчик. – СПб.: ПГУПС, 1997. – 108 с.
4. Малюшенко, В. А. Энергетические насосы [Текст] : справ. пособие / В. А. Малюшенко, А. К. Михайлов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 200 с.

Надійшла до редколегії 25.01.2011.

Прийнята до друку 28.01.2011.

ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

Розглянуто проблеми забезпечення якості проектування конструкцій нижньої будови залізничної колії.

Ключові слова: захисний шар; конструкція нижньої будови залізничної колії; деформативність; товща, що стискається

Изложены проблемы обеспечения качества проектирования конструкций нижнего строения железнодорожного пути.

Ключевые слова: защитный слой, конструкция нижнего строения железнодорожного пути, деформативность, сжимаемый слой

The problems of providing the design quality for the substructure of railway track are considered.

Keywords: protective layer, substructure of railway track, deformability, compressible layer

Як відомо, до нормативних документів, в яких мають місце будь-які числові критерії або вимоги щодо конструкції земляного полотна, відносяться:

- ДБН В.2.3-12:2006 Споруди транспорту залізничної колії 1520 мм [1];
- Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України [2];
- Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [3];

- Правила улаштування основної площадки земляного полотна при виконанні капітального ремонту та модернізації колії [4].

Всі нормативні документи повинні бути пов'язані між собою та надавати повну інформацію щодо критеріїв та методик розрахунків при проектуванні конструкції нижньої будови залізничної колії. В табл. 1 наведено по пунктах положення, що розглядаються у зазначених документах, та проаналізовано наявність інформації щодо можливості забезпечення цих положень.

Таблиця 1

Забезпечення вимог та положень у нормативних документах

Нормативний документ	Положення що розглядаються	Забезпеченість методики розрахунку
ДБН В.2.3-12:2006 Споруди транспорту залізничної колії 1520 мм.	<p>п. 6.5. Для забезпечення надійності конструкцій земляного полотна і розширення сфери застосування місцевих ґрунтів слід передбачати:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ущільнення до нормованої щільності ґрунтів у насипах і, в необхідних випадках, під основною площадкою у виїмках і на нульових місцях (дод. Б); – влаштування захисного шару із дренажних ґрунтів під баластовою призмою; – застосування геотекстилю (на основній площадці під захисним шаром, при будівництві других колій, у конструкціях укріплення укосів, а також при слабкій основі). <p>- Примітка п. 6.5. До дренажного за умовами роботи земляного полотна слід відносити ґрунти, які мають при максимальній щільності за стандартним ущільненням коефіцієнт фільтрації не менше 0,5 м/добу і мають в гра-</p>	<p>При проектуванні не застосовується, тому, що не описана в жодному документі (частково наведена в підручниках).</p> <p>Методика розрахунку необхідності захисного шару відсутня.</p> <p>Методика щодо необхідності укладання та вибору за типом та характеристиками відсутня.</p> <p>Методика розрахунку характеристик та товщини дренажного шару відсутня, тому відповідне техніко-економічне обґрунтування не можливе.</p>

Нормативний документ	Положення що розглядаються	Забезпеченість методики розрахунку
ДБН В.2.3-12:2006 Споруди транспорту залізниці колії 1520 мм.	нулометричному складі не більше 10 % часток розміром менше 0,1 мм. Допускається, за згодою замовника при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні, застосовувати як дренуючий ґрунт піски дрібні і пилуваті з коефіцієнтом фільтрації не менше 0,5 м/добу.	
	п. 6.14. Для земляного полотна із глинистих ґрунтів усіх видів, крім супісків, що містять піщані частки розміром від 2 мм до 0,05 мм у кількості більше 50 % за масою, слід передбачати підсилення конструкції в зоні основної площадки: улаштування під баластною призмою захисного шару з дренуючого ґрунту в комбінації з геотекстилем чи без нього. Укладання геотекстилю без захисного шару з дренуючого ґрунту не допускається. Товщину шару дренуючого ґрунту під баластною призмою встановлюють залежно від виду ґрунту земляного полотна та його стану, з урахуванням глибини промерзання ґрунтів у районі будівництва згідно з розрахунком.	Критеріїв за якими можливе визначення величини до якої необхідно підсилення не існує, тому не можливий розрахунок параметрів (товщини шару наявність геоматеріалів у ньому) та характеристик (матеріал шару, щільність, вологість) захисного шару.
	При проектуванні захисних шарів із дренуючого ґрунту без застосування геотекстилю в основі товщина його повинна визначатися розрахунком, але бути не меншою 0,8...1,0 м для суглинків і глин та 0,5...0,7 м для супісків, залежно від кліматичних умов. Поверхню глинистого ґрунту в основі захисного шару на нових лініях слід планувати двосхилою з ухилом 0,04 від осі полотна в польовий бік; при будівництві других колій планування має бути односхилим з ухилом 0,04 від існуючої колії.	Критерії та методики розрахунку щодо проектування захисних шарів відсутні.
	На ділянках примикання захисних шарів до земляного полотна зі скельних та інших дренуючих ґрунтів, а також примикання до штучних споруд для усунення нерівномірності морозного здимання необхідно передбачати сполучення, які забезпечують плавний перехід у поздовжньому напрямку і відповідати нормам поточного утримання колії.	Методика розрахунку довжини відводу відсутня.
	п. 6.70У разі індивідуального проектування земляного полотна слід приймати навантаження від рухомого складу і верхньої будови колії з урахуванням перспективних умов експлу-	Методика розрахунку стійкості укосу відсутня (частково опублікована у підручниках).

Нормативний документ	Положення що розглядаються	Забезпеченість методики розрахунку
ДБН В.2.3-12:2006 Споруди транспорту залізничної колії 1520 мм.	атації залізниці (див. п. 6.1) і в необхідних випадках перевіряти стійкість укосів (Додаток Б), міцність ґрунтів основної площадки, основи насипу, їх деформативність (у частині не перевищення припустимих значень рівномірного морозного здимання і пружних осідань насипу на болотах). Допустиме значення рівномірного морозного здимання, що установлюється з урахуванням потужності захисного шару, не повинне перевищувати для залізниць: швидкісних, I – III категорії – 20 мм; IV, V категорій – 25 мм; VI, VII категорій – 35 мм. Розрахункове значення пружних осідань основи насипу по осі колії не повинно перевищувати на лініях швидкісних, I – V категорій – 2 мм, на лініях VI, VII категорій – 3 мм.	Методика розрахунку стійкості укосів відсутня (частково опублікована у підручниках). Методики розрахунку відсутні. Методика розрахунку відсутня. Методика розрахунку відсутня.
«Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-копійних робіт на залізницях України»	п. 3.2.1. Періодичність капітального ремонту земляного полотна та його споруд визначається на основі досвіду їх експлуатації, даних детальних обстежень цих споруд, перспектив розвитку конкретної лінії (дільниці), кліматичних та інших місцевих умов. Встановлюється індивідуально в залежності від місцевих умов на підставі інструментальних і візуальних спостережень, натурних, інженерно-геологічних (геофізичних) і гідрогеологічних обстежень, розрахунків міцності, стійкості та експлуатаційної надійності об'єктів.	Відсутні критерії за якими діагностують стан земляного полотна. Відсутні методики розрахунку міцності і стійкості земполотна. Методики розрахунку експлуатаційної надійності об'єктів нижньої конструкції залізничної колії не існує навіть теоретично.
Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість	Щодо критеріїв конструкції земляного полотна, то в «Правилах» рекомендовані тільки допустимі напруження стискання ґрунту на основній площадці земляного полотна в залежності від вантажонапруженості.	Немає жодної рекомендації стосовно складу конструкції земляного полотна. Крім того, єдиний вихідний параметр який характеризує стан конструкції земляного полотна при розрахунках колії на міцність (модуль пружності підрейкової основи) не має будь-яких рекомендацій щодо його значення в залежності від характеристик конструкції земляного полотна.
Правила улаштування основної площадки земляного полотна при виконанні капітального ремонту та модернізації колії	Наведено шість типів з можливими варіантами конструкцій земляного полотна	Відсутні критерії за якими необхідно обирати той чи інший тип конструкції земляного полотна. Відсутні методики за якими розраховують матеріал та товщину захисних шарів. Відсутня методика визначення модулів деформації земляного полотна. Відсутні рекомендації що робити якщо конструкція земляного полотна має модуль деформації земляного полотна менше ніж 35 МПа.

Таким чином, як видно з табл. 1, на даний момент всі проекти, що розробляються для підсилення або стабілізації конструкції колії за рахунок підсилення або стабілізації земляного полотна, не мають уніфікованих критеріїв і методик розрахунку, тому посиляються тільки на досвідченість проектантів.

Втім, на сьогодні є необхідність у розробці нормативного документу, який дозволить вирішити наступні задачі:

1. Стандартизувати технічні вимоги та методики розрахунку до:

- 1.1 стійкості конструкції земляного полотна;
- 1.2 щільності конструкції земляного полотна;
- 1.3 міцності конструкції земляного полотна;
- 1.4 деформативності конструкції земляного полотна;
- 1.5 осідання конструкції земляного полотна;
- 1.6 морозного здимання конструкції земляного полотна;
- 1.7 глибини стискання конструкції земляного полотна;
- 1.8 водонасичення конструкції земляного полотна.

2. Стане базою для розробки:

- 2.1 критеріїв діагностики земляного полотна;
- 2.2 методики розрахунку необхідних видів та типів геоматеріалів при:
 - 2.2.1 посиленні основи та армуванні ґрунту;
 - 2.2.2 стабілізації укосів;

2.2.3 розділенні шарів конструкції земляного полотна;

2.2.4 фільтрації конструкції земляного полотна;

2.2.5 дренажу конструкції земляного полотна;

2.2.6 контролю ерозії поверхні схилу насипу та берегах водойм під дією води та вітру.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.3-19-2008 Споруди транспорту залізниць колії 1520 мм [Текст]: Затв.: Наказ Держкоммістобудування України від 26.01.2008 р. № 42 / Мінбуд. України. – К., 2006. – 151 с.
2. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України. ЦП-0113 [Текст]: Затв.: Наказ Мінтрансзв'язку України від 10.08.2004 р. № 630-ЦЗ / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К., 2004. – 32 с.
3. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП-0117 [Текст]: Затв.: Наказ Мінтрансзв'язку України від 13.12.2004 № 960-ЦЗ / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К., 2004. – 170 с.
4. Правила улаштування основної площадки земляного полотна при виконанні капітального ремонту та модернізації колії. ЦП-0204 [Текст]: Затв.: Наказ Мінтрансзв'язку України від 25.12.2008 р. № 557-ЦЗ / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К., 2009. – 44 с.

Надійшла до редколегії 27.12.2010.

Прийнята до друку 28.12.2010.

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ І РУХОМОГО СКЛАДУ

Показано тенденції застосування сучасної цифрової техніки для проведення експериментальних досліджень впливу рухомого складу на колію. Розглянуто можливість визначення модуля пружності підрейкової основи за результатами вимірювань напружень у рейках.

Ключові слова: цифрова техніка, напруження в рейках, модуль пружності

Показаны тенденции применения современной цифровой техники для проведения экспериментальных исследований воздействия на путь подвижного состава. Рассмотрена возможность определения модуля упругости подрельсового основания по результатам измерений напряжений в рельсах.

Ключевые слова: цифровая техника, напряжения в рельсах, модуль упругости

The tendencies of application of modern digital technique for carrying out the experimental research of the rolling stock effect on the track are shown. The possibility of determination of the elasticity module of the basis under a rail by results of measurements of stresses in rails is considered.

Keywords: digital technique, stresses in rails, elasticity module

Колієвипробувальна галузева науково-дослідна лабораторія ДНУЗТу проводить переобладнання технічної бази для виконання експериментальних досліджень взаємодії колії і рухомого складу за допомогою сучасної вимірної техніки. Вимірювання напружень в елементах колії і їх деформацій відтепер відбувається за допомогою сучасного тензометричного комплексу «ПОНІЛ-Ц», рис. 1.



Рис. 1. Елементи тензометричного комплексу «ПОНІЛ-Ц»

Розроблений тензометричний комплекс «ПОНІЛ-Ц» на даний час не уступає за своїми характеристикам обладнанню таких відомих виробників як «НВМ», «DaqScribe», «L-Card».

Але дуже важливим є той факт, що дане обладнання розроблено в Україні і має можливість реєструвати різні фізичні величини: напруження, лінійні переміщення, навантаження, сили. При необхідності можливо додатково ви-

мірювати прискорення, вібрацію та кутові переміщення.

На базі тензометричного комплексу «ПОНІЛ-Ц» можливо реалізовувати рейкові стенди для виявлення повзунів, визначення фактичного завантаження вагонів, визначення «шалених» візків, несправностей рухомого складу та інше.

Даний тензометричний комплекс повністю керується за допомогою програмного забезпечення, яке розроблене силами Колієвипробувальної лабораторії та кафедри «Колія та колійне господарство», фрагмент інтерфейсу з відображенням осцилограм показано на рис. 2.

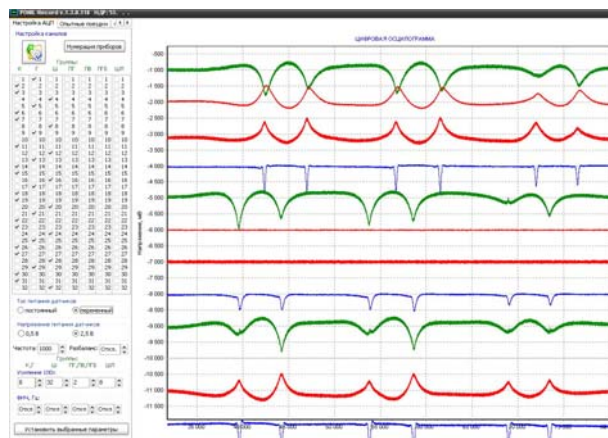


Рис. 2. Цифрова осцилограма отримана за допомогою тензометричного комплексу «ПОНІЛ-Ц»

На тензометричний комплекс «ПОНІЛ-Ц» отримано свідоцтво про державну метрологічну атестацію. Зафіксована загальна похибка вимірювань $\pm 2\%$ є достатньою для проведення екс-

периментальних досліджень, пов'язаних з випробуванням нових конструкцій колії та нових або модернізованих одиниць рухомого складу, в тому числі для швидкісного.

Окрім безумовних переваг, що дає застосування цифрової вимірювальної техніки, таких як мобільність, простота і надійність зберігання отриманої інформації, швидкість обробки даних, це розкриває низьку додаткових можливостей, наприклад, вилучення з сигналу «шуму» від змінного електричного струму, рис. 3.

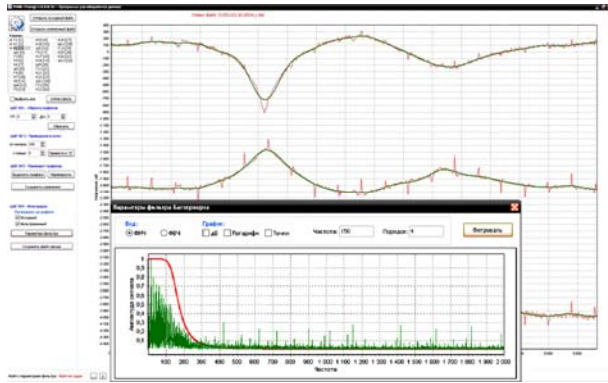


Рис. 3. Обробка сигналів за допомогою цифрових фільтрів

Розроблене програмне забезпечення дало змогу автоматизувати розшифровку і подальший аналіз отриманих даних, рис. 4. Такий підхід майже виключає можливість помилки по причині людського фактору і дає змогу отримувати вичерпну інформацію ще на місці проведення експерименту. Таким чином є можливість одразу корегувати умови проведення досліджень для більш якісного вирішення задач, що були поставлені, а у випадках одержання наднормованих величин – призупиняти проведення експерименту.

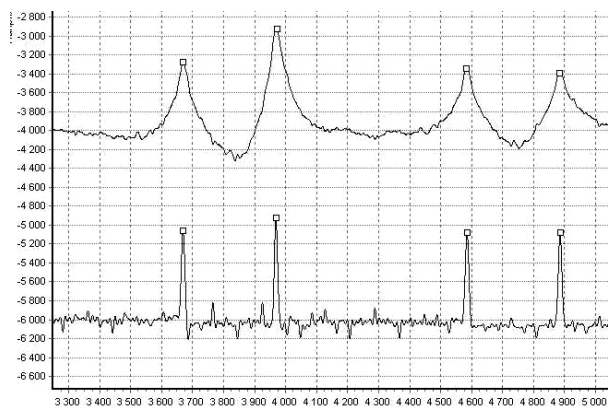


Рис. 4. Цифрова осцилограма після розшифрування

Нове обладнання та запропоновані методи обробки отриманих результатів набули використання в експериментальних дослідженнях, що проводились Колієвипробувальною лабораторією останнім часом. Вимірювання циф-

ровою технікою було частково застосовано під час випробування дослідного стрілочного переходу проекту ДН345 та повністю для проведення експериментів по впливу рухомого складу на безстикову колію з наявністю відступів з утримання III ступеня. Під час експериментів швидкість руху досягала 176 км/год.

Висока частота дискретизації запису (4 кГц) робить можливим отримувати не тільки пікові значення величин, що вимірюються, а й досліджувати зміну напружень і деформацій у часі під впливом рухомого навантаження практично як безперервний процес. Це дає змогу визначати деякі додаткові характеристики залізничної колії. Наприклад, зміна напружень в перерізі рейки до або після проходження колеса залежить від жорсткості конструкції і дає можливість експериментального дослідження такого показника, як модуль пружності підрейкової основи.

Модуль пружності підрейкової основи є однією з основних характеристик для визначення напружено-деформаційного стану залізничної колії. Він визначає зв'язок між діючою силою і деформацією – одне з положень, на якому базується сучасний метод інженерного розрахунку колії на міцність [1]. Його значення впливає на точність розрахунку напружень в елементах колії, що відбивається на правильності встановлення експлуатаційних характеристик ділянки [2], в тому числі допустимої швидкості руху і строків призначення ремонтів. Існують пропозиції використовувати модуль пружності підрейкової основи як один з показників оцінки стану залізничної колії [3, 4].

В 60...80 роках в ДПТі для натурного виміру модуля пружності застосовувався спеціальний гідравлічний навантажувальний пристрій, змонтований на базі чотиривісного вагона. При цьому сили, що діють на рейку, вимірювалися за допомогою встановлених у головці домкратів силомірів, а прогини рейок – за допомогою електричних прогиномірів. Пристрій дозволяв одержувати безпосередньо графіки залежності прогинів рейок від прикладеної вертикальної сили в кожному циклі навантаження й розвантаження [5, 6]. Для його застосування необхідно надавати тривалі «вікна».

Сьогодні відбувається пошук сучасного оперативного засобу вимірювання модуля пружності. Існуючи пропозиції, наприклад [7, 8], не знайшли загального практичного застосування. Вони ґрунтувалися на вимірюванні прогинів колії під проїздом поїзда. Основні труднощі виникають від неможливості забезпечити достатню точність вимірювання динамічного прогину – величини яка має невелике значення та швидко змінюється у часі. Також на точність

результатів впливає те, що прогинається не тільки безпосередньо рейка, а й земляне полотно навколо залізничної колії.

Наявність цифрового обладнання для виміру напружень в рейках, яке завдяки високій частоті дискретизації вимірювань дає змогу отримувати майже безперервний запис, відкриває можливість визначити модуль пружності за співвідношення напружень в різних перерізах рейки.

Відповідно до «Правил розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість» [1] напруження в рейках можна розрахувати аналітичним методом

$$\sigma_{п-о} = \frac{M}{W}, \quad (1)$$

де $\sigma_{п-о}$ – осьові напруження в підшві рейки;
 M – згинальний момент в рейці;
 W – момент опору по підшві рейки.

Напруження в інших місцях перерізу рейки можна розрахувати використовуючи відповідні коефіцієнти [1].

Згинальний момент в рейці визначається за формулою

$$M = \frac{P_{екв}^I}{4k}, \quad (2)$$

де $P_{екв}^I$ – перша еквівалентна сила (враховує одночасну дію на переріз рейки декількох коліс);

k – коефіцієнт відносної жорсткості:

$$k = \sqrt[4]{\frac{U}{4EI}}, \quad (3)$$

де U – модуль пружності підрейкової основи;

E – модуль пружності рейкової сталі;

I – момент інерції поперечного перерізу рейки у вертикальній площині.

В загальному вигляді перша еквівалентна сила визначається за формулою

$$P_{екв}^I = \sum P_i \mu_i, \quad (4)$$

де P_i – сила від i -го колеса, що діє на розрахунковий переріз рейки;

μ_i – коефіцієнт, що враховує відстань (x_i) від розрахункового перерізу до діючої сили

$$\mu_i = e^{-kx_i} (\cos kx_i - \sin kx_i). \quad (5)$$

Якщо відомі напруження в двох перерізах рейки, що виникли в момент часу від дії зовнішньої сили, можливо розв'язання зворотної задачі – розрахунок модуля пружності підрейкової

вої основи. Розрахункова схема показана на рис. 5.

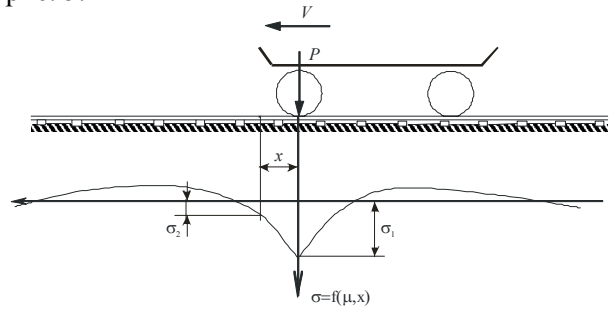


Рис. 5. Розрахункова схема

Послідовність розрахунків наведено в формулах (6)–(8):

$$\mu = \frac{\sigma_{p2}}{\sigma_{p1}}, \quad (6)$$

де σ_{p1} і σ_{p2} – напруження в першому і другому перерізі рейки відповідно (див. рис. 5);

$$k = f(\mu, x), \quad (7)$$

де x – відстань між перерізами рейки, в яких визначено напруження σ_{p1} і σ_{p2} ;

$$U = 4EI k^4. \quad (8)$$

Таким чином, для визначення модуля пружності підрейкової основи достатньо знати відношення напружень в рейках в двох перерізах, навіть без розрахунку значення сили, яка спричинила їх появу.

Формула (7) може не визначатися в аналітичному вигляді у зв'язку з необхідністю розв'язання складних тригонометричних залежностей. Коефіцієнт відносної жорсткості розраховувався шляхом апроксимації набору пар значень відношення напружень-відстань за критерієм найменших квадратів функцією (5). Такий підхід дає змогу не обмежуватись двома перерізами на рейці.

При виконанні експериментів на ділянці Баришівка – Бориспіль Південно-Західної залізниці було обладнано датчиками дві ділянки, кожна з котрих мала три послідовних перерізи рейки, рис. 6, 7.

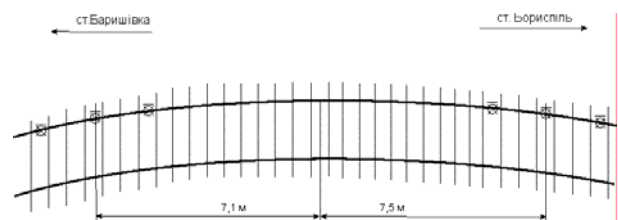


Рис. 6. Схема розташування датчиків на дослідній ділянці



Рис. 7. Послідовність трьох перерізів рейки, обладнаних датчиками

Напруження і відстані між точками визначалися автоматизовано за результатами цифрового запису, рис. 8. Для зменшення впливу суміжних коліс розглядалися тільки такі варіанти розташування рухомого складу, коли перше колесо першого локомотива заїжджає на перший переріз рейки, або, навпаки, останнє колесо останнього локомотива з'їжджає з останнього перерізу рейки. Взагалі, в даному експерименті по дослідній ділянці рухався поїзд, що складався з такої послідовності: локомотив ЧС-7, два пасажирських вагона, локомотив ЧС-7. Заїзди виконувалися в обидва напрямки з різними швидкостями руху. Напруження в рейках розглядалися на зовнішній кромці головки та на зовнішній і внутрішній кромці підосви.

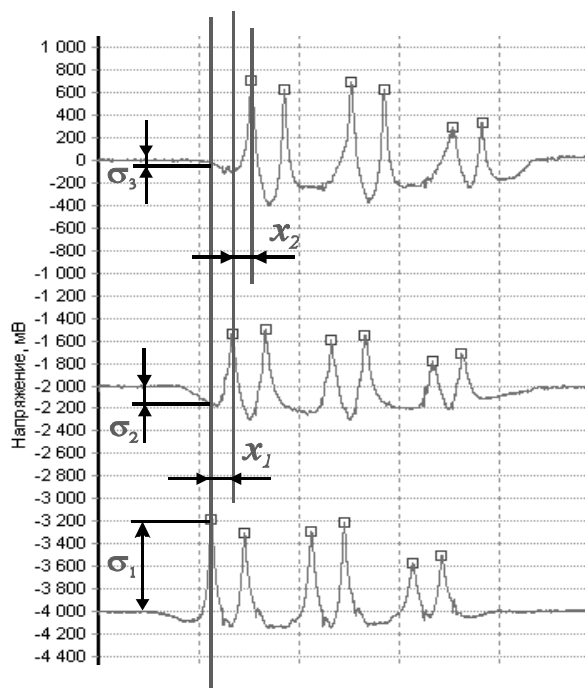


Рис. 8. Визначення напружень і відстаней за результатами цифрового запису

Таким чином було отримано близько 300 результатів визначення модуля пружності підрейкової основи, рис. 9. Обробка виконувалась автоматично за допомогою спеціально створеного програмного забезпечення. Враховуючи значну кількість матеріалу, результати, які з різних причин не були оброблені автоматично, не розглядалися. Їх кількість складала близько 10 %.

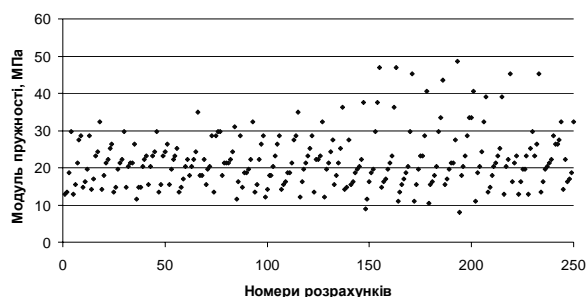


Рис. 9. Результати розрахунку модуля пружності підрейкової основи

Середнє значення модуля пружності підрейкової основи (див. рис. 9), яке і рекомендовано прийняти як розрахункове для розглянутої ділянки, дорівнює 22 МПа. При цьому відношення середньоквадратичного відхилення до середнього значення склало 0,34, що не перевищує рекомендованого інтервалу довіри 0,4 [9]. Достовірність отриманих даних може бути поліпшена, якщо відстань між датчиками вимірювати безпосередньо на місцевості та збільшити кількість розглянутих перерізів рейки.

Аналіз отриманих даних не виявив різниці в результатах для двох ділянок розташованих на відстані близько 15 м (див. рис. 6). Також не спостерігалось впливу на результат таких факторів, як напрямок та швидкість руху поїзда. Однак слід відмітити, що майже всі заїзди зі швидкостями руху 160 км/год і вище було виключено з розглядання під час автоматичної обробки даних.

Запропоновану методику розрахунку можна використовувати й для аналогічних вимірів прогинів замість напружень. Звичайно, у цьому випадку, замість першої еквівалентної сили буде використовуватися друга з відповідним коефіцієнтом η [1]. Але такий підхід приведе до збільшення похибки отриманого значення модуля пружності. По-перше, по причині складності розмежування прогину рейки й прогину підрейкової основи. По-друге, в наслідок положості функції $\eta = f(x)$ на відміну від функції $\mu = f(x)$, що зробить різницю вихідних даних для суміжних перерізів рейки менш чіткою.

Висновки

1. Використання цифрової техніки дає безперечні переваги: мобільність, простота і надійність зберігання отриманої інформації, швидкість обробки даних.

2. Висока частота дискретизації вимірювань дає змогу отримувати не тільки пікові значення напружень, а майже безперервний запис, що дає низьку додаткових можливостей для аналізу результатів досліджень.

3. Запропоновано і апробовано метод визначення модуля пружності підрейкової основи за результатами експериментальних вимірювань напружень в рейках.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Даніленко, Е. І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП-0117 [Текст] / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2004. – 64 с.
2. Бондаренко, И. А. К вопросу определения модуля упругости пути в вертикальной плоскости [Текст] // Транспортні системи і технології. – Вип. 5. – К.: КУЕТТ. 2004. – С. 16-27.
3. Курган, Д. М. Вплив стану залізничної ділянки і структури поїздопотоку на життєвий цикл колії [Текст] / Д. М. Курган, І. О. Бондаренко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. № 19. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 78-83.
4. Гавриленко, А. К. Учет жесткости железнодорожного пути [Текст] / А. К. Гавриленко // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – № 4. – С. 37-39.

5. Фришман, М. А. Исследование изменения вертикальной жесткости пути по его длине [Текст] / М. А. Фришман, И. С. Леванков // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава : Тр. ДИИТ. – Вып. 138. – Д., 1972. – С. 48-57.
6. Малявко, А. М. Устройство для экспериментального определения упругих характеристик пути [Текст] / А. М. Малявко // Вопросы исследования пути : Тр. МИИТ. – Вып. 210. – М., 1965. – С. 80-93.
7. Сисин, М. П. Вимірювання жорсткості колії із використанням відеозйомки [Текст] / М. П. Сисин, М. І. Уманов // Тр. 67-й Межд. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Д., 2007. – С. 189-190.
8. Гавриленко, А. К. Использование данных современных путеизмерительных средств для определения вертикальной жесткости пути [Текст] / А. К. Гавриленко, М. Н. Смердов // Тр. науч.-практ. конф. «Повышение эффективности работы путевого хозяйства и инженерных сооружений железных дорог». – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – С. 199.
9. ДСТУ 3004-95 Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними [Текст] : Затв.: Наказ Держстандарту України № 31 від 22.01.1995 р. – К.: Держстандарт України, 1995. – 124 с.

Надійшла до редколегії 23.12.2010.
Прийнята до друку 27.12.2010.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАТУРНОГО ВИПРОБУВАННЯ НА МІЦНІСТЬ НОВОГО СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ

Викладено обставини, за яких необхідно випробовувати стрілочний перевід на міцність, мета й завдання випробування, вимоги до укладання, експлуатації та стану дослідного перевodu до і під час випробування, наведено схеми встановлення приладів, основні вимоги до засобів вимірювань та формування дослідного поїзда, принципи обробки та аналізу експериментальних даних.

Ключові слова: схема встановлення приладів, дослідний поїзд, експериментальні дані

Изложены условия, при которых необходимо испытывать стрелочный перевод на прочность, цель и задачи испытания, требования к укладке, эксплуатации и состоянию опытного перевода до и во время испытаний, приведены схемы установки приборов, основные требования к средствам измерений и формирования опытного поезда, принципы обработки и анализа экспериментальных данных.

Ключевые слова: схема установки приборов, опытный поезд, экспериментальные данные

The conditions, which are necessary for full-scale test of a switch on strength, purpose and tasks of tests, requirements to laying, operation and state before and during tests are described; the scheme of installation of devices, the basic requirements to measuring tools and formation of a test train, the principles of data processing and experimental data analysis are presented.

Keywords: scheme of installation of devices, test train, experimental data

Через складність конструкції стрілочного перевodu та особливості його взаємодії з рухомим складом технологію випробування звичайної колії для дослідження напружено-деформованого стану перевodu застосовувати не можна.

З країн близького зарубіжжя лише в Російській Федерації в певній мірі регламентовано загальний порядок проведення цього типу випробування перевodu [1] й зазначено, що на основі даного документа розроблюються робочі методики, які враховують вимоги програми випробувань конкретного типу стрілочного перевodu. На нашу ж думку, технологія випробування більшою мірою зумовлюється особливостями взаємодії з рухомих складом, характерними для перевodu як специфічної конструкції колії, ніж конструкцією конкретного перевodu, і тому її необхідно описати детальніше.

За останні роки кафедрою колії та Колієвипробувальною ГНДЛ ДІПТу виконано багато експериментальних досліджень напружено-деформованого стану нових стрілочних переводів різних конструкцій (проекти 2215, 1740, 65109Ж-01, 1160, 65111Ж, Дн 300, Дн 355, Дн 345). Велика кількість свіжих даних і накопичений досвід організації таких експериментів дають змогу чітко сформулювати основні положення технології їх виконання, дотримання якої гарантує високу якість результатів дослід-

жень та дозволить порівнювати показники, одержані для різних конструкцій.

Чому випробування натурне, а не динаміко-міцнісне?

Так склалося, що експериментальне дослідження напружено-деформованого стану стрілочного перевodu під дією рухомого складу найчастіше називають «динаміко-міцнісним випробуванням», хоча випробування виконується задля оцінки міцності та деформації металевих частин і брусів перевodu, а не його динамічних характеристик (на відміну від динаміко-міцнісних випробувань локомотивів, моторвагонного рухомого складу та вагонів, під час яких дійсно визначаються динамічні характеристики екіпажів: коефіцієнт запасу стійкості проти сходу, рамні сили, коефіцієнти динаміки – та виконується оцінка міцності їх конструкцій [2, 3]). У нашому випадку частина «динаміко-» характеризує не одне із завдань випробування, а умови його проведення, причому нечітко: динамічне навантаження можна забезпечити й у лабораторних умовах.

Дещо інакше термін «динаміко-міцнісне випробування» трактується в [1]. Відповідно до вимог цього документа, додатково до оцінки міцності нового стрілочного перевodu необхідно визначати також його вплив на динамічні якості рухомого складу шляхом визначення

рамних сил та непогашеного поперечного прискорення кузова.

Наведені міркування дозволяють стверджувати, що термін «динаміко-міцнісне випробування» неоднозначно описує даний тип випробувань стрілочного перевodu і тому потребує коригування.

Відповідно до ГОСТ 16504-81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения» [4], «випробування – це експериментальне визначення кількісних та (або) якісних характеристик властивостей об'єкта випробувань як результату дії на нього, під час його функціонування, під час моделювання об'єкта та (або) дії» (*переклад тут і далі наш. – К. М.*). Таким чином, експериментальне дослідження напружено-деформованого стану перевodu – це випробування.

На нашу думку, для чіткого визначення цього типу випробувань його назва повинна містити: умови та місце проведення (натурне), назву об'єкта випробування (стрілочний перевід), результат дії (на міцність).

Поодинокі ці терміни, згідно з [4], мають такий зміст: «натурне випробування – випробування об'єкта в умовах, що відповідають умовам його використання за прямим призначенням з безпосереднім оцінюванням або контролем властивостей об'єкта, що визначаються»; «випробування на міцність – випробування, які проводяться для визначення значень діючих на об'єкт факторів, що викликають вихід значень характеристик властивостей об'єкта за встановлені межі або його руйнування» (фактори, що діють на об'єкт, – це швидкість та тип екіпажа, що рухається по перевodu).

Таким чином, експериментальне дослідження напружено-деформованого стану стрілочного перевodu під дією рухомого складу повинне називатися «*натурним випробуванням стрілочного перевodu на міцність*». До речі, якщо необхідно під час випробування стрілочного перевodu визначати також його дію на рухомий склад, випробування можна назвати «комплексним натурним випробуванням стрілочного перевodu на міцність та за дією на рухомий склад».

Мета і завдання випробування, допустимі та рекомендовані величини показників

Метою натурального випробування нового стрілочного перевodu на міцність є визначення допустимих швидкостей руху поїздів по прямому та(або) боковому напрямках за умови га-

рантування безпеки руху поїздів (у частині, що стосується міцності перевodu) та раціональної роботи його конструкції.

Згідно з практикою проведення випробувань та рекомендаціями Організації співробітництва залізниць [5] для досягнення цієї мети необхідно за різних швидкостей дослідного поїзда визначити та порівняти з граничними величинами максимальні значення таких показників взаємодії стрілочного перевodu та рухомого складу:

- напруження розтягу в кромках підшви рейкових елементів (рамні рейки, гостряки, рейки з'єднувальної частини, хрестовини) та неробочій грані головки контррейки;
- вертикальні та горизонтальні сили, що діють на рейки перевodu, та їх деформації;
- горизонтальні переміщення брусів.

Напруження в несучих конструкціях перевodu та контррейках – це показник, за допомогою якого оцінюється безпека руху поїздів по перевodu, решта характеристик потрібні для тлумачення одержаних напружень та прогнозування економічної ефективності його застосування.

Окреме місце займає визначення вертикальних переміщень рейкових елементів. Ця величина дозволяє оцінити якість утримання баластового шару перевodu – за наявності переміщень, що перевищують граничну величину, стрілочний перевід не може вважатися справним, а результати випробування достовірними.

Кількісні значення граничних величин характеристик взаємодії стрілочного перевodu та рухомого складу наведено в табл. 1 та 2. Більшість з них прийнято на підставі [5], величини горизонтальних сил – [1], напруження в підшві жорсткої хрестовини – [6], горизонтальні переміщення брусів – [7–9].

Аналогічно методиці розрахунку колії на міцність [10], показники взаємодії, що визначаються під час випробування, повинні мати різну вагу під час прийняття рішення стосовно допустимих швидкостей руху поїздів по перевodu. Граничні значення показників, вплив яких на безпеку руху та економічну ефективність застосування перевodu не підлягає сумніву, повинні мати статус «допустимої величини» (їх перевищення неприпустиме), решти характеристик – «рекомендованої» (їх перевищення можливе).

Допустимі швидкості руху поїздів по стрілочному перевodu визначаються як найбільші кратні 10 км/год швидкості відповідних дослідних поїздів, за яких *всі* показники напружено-деформованого стану перевodu не перевищу-

ють *допустимих* значень. Вони не повинні перевищувати максимальні величини, наведені в технічному завданні на створення перевodu.

Таблиця 1

Допустимі величини характеристик, що визначаються під час натурального випробування стрілочного перевodu на міцність

Характеристика	Величина
1. Напруження, МПа:	
– кромка підшви гостряка та осердя хрестовини з рухомими елементами, виготовленими з гострякового профілю	275
– кромка підшви рамних рейок, рейок з'єднувальної частини та рейкових закінчень хрестовини	250
– неробоча грань головки контррейки	330
2. Горизонтальні (поперечні) сили, що діють на рейки стрілочних переводів типу, кН:	
– Р65 (UIC60) і важче	150
– легше Р65 (UIC60)	120
3. Горизонтальні переміщення брусів, мм	1,5
4. Вертикальні переміщення рейкових елементів, мм	10

Таблиця 2

Рекомендовані величини характеристик, що визначаються під час натурального випробування стрілочного перевodu на міцність

Характеристика	Величина
1. Вертикальні сили, що діють на рамні рейки та рейки з'єднувальної частини, кН	200
2. Напруження в підшві жорсткої хрестовини з литим сердечником, МПа	110
3. Горизонтальні переміщення рейкових елементів, мм	4,0

Умови, за яких необхідно випробовувати стрілочний перевід на міцність. Вимоги до його укладання, експлуатації та стану до і під час випробування

Потреба випробування нового стрілочного перевodu на міцність визначається на основі його порівняння із серійними стрілочними переводами-аналогами. Якщо наявні відмінності можуть погіршити напружено-деформований стан нового перевodu відносно серійного, випробування проводити необхідно. Рішення що-

до проведення випробування на міцність ухвалює міжвідомча комісія з приймання стрілочного перевodu, склад якої затверджується Укрзалізницею. Нові стрілочні переводи, які випробовувалися останнім часом, відрізнялися від своїх аналогів геометричними характеристиками (початковий кут гостряка та радіус перевідної кривої) та (або) конструкціями окремих частин (рамні рейки, хрестовина, проміжне кріплення, відстані між брусами).

Необхідно зазначити, що серійні стрілочні переводи теж повинні випробовуватися на міцність за потреби збільшення допустимої швидкості руху поїздів по них або після модернізації, у результаті якої може погіршитися їх напружено-деформований стан. Також такі випробування потрібно включати до програми випробувань нового рухомого складу за впливом на колію.

Дослідний перевід слід укладати на ділянці, характеристики (план та поздовжній профіль) і стан колії та контактної мережі якої дозволяють реалізацію дослідним поїздом по прямому та боковому напрямках перевodu швидкостей, що на 10 км/год перевищують проектні, наведені в технічному завданні на його створення. Технологія укладення повинна бути такою, щоб склад та якість виконаних робіт відповідали вимогам [11] як для стрілочного перевodu після модернізації (тут модернізація – це різновид колійних робіт).

Досвід організації випробування вказує, що найкраще його проводити на станції, що обмежує двоколійну електрифіковану ділянку пасажирського руху з вантажнапруженістю головної колії, на якій укладено дослідний перевід, не більше 30 млн т. Звичайно, планувати випробування в такому випадку необхідно на час, коли інтенсивність руху пасажирських поїздів зменшується. Дуже зручно для організації випробування, коли станція розташована поблизу дирекції залізничних перевезень та депо, яке надаватиме локомотиви; для оперативного формування дослідного поїзда на станції повинні постійно бути присутні працівники вагонного господарства.

Стан і утримання дослідного перевodu та прилеглих ділянок колії під час випробування мають бути такими, щоб вплив таких факторів, як план, рівень, вертикальний профіль на напружено-деформований стан дослідного перевodu був мінімальним. Тільки за такої умови результати випробування відобразять зв'язок між характеристиками його напружено-деформованого стану та його конструкцією, а не ва-

дами утримання або технології укладання переводу. Тому збирання, укладання та утримання дослідного переводу повинні виконуватися в строгій відповідності з конструкторською документацією й нормативними документами щодо утримання переводів та під наглядом організації, що виконуватиме випробування.

Для досягнення необхідного стану дослідного стрілочного переводу за рівнем, у плані та поздовжньому профілі його виправлення слід виконувати сучасними колійними машинами, які спроможні забезпечити відповідну якість робіт. Останній раз перевід та прилеглі ділянки колії потрібно старанно виправити в плані та профілі за 2...3 тижні до початку випробування.

З метою усунення впливу на результати випробування зменшення модуля пружності баласту після його глибокого очищення або укладання нового, на початок випробування по стрілочному переводу повинно бути пропущено не менше 15 млн т бруто вантажу. Під час проведення випробування баласт повинен бути незамерзлим.

Стан переводу необхідно зафіксувати перед початком та в кінці випробування, також його слід контролювати протягом випробування. Перед реалізацією швидкостей, що перевищують встановлені на ділянці, стан дослідного переводу та прилеглої колії необхідно перевірити за допомогою колієвимірювального вагона.

Обсяг та технологія обмірів стрілочного переводу повинні відповідати вимогам [12]. Додатково до цього необхідно встановити фактичні відстані між осями брусів та прямолінійність прямого напрямку переводу, бажано також під час обстеження визначити його поздовжній профіль. Основні положення методики обмірів, яка використовувалася останнім часом, викладені в [13].

Досвід проведення випробувань вказує, що за наявності ретельної та відповідальної їх підготовки несправностей, які можуть перешкодити реалізації максимальних швидкостей по дослідному переводу або спотворити результати випробування, не виникає.

Схеми встановлення приладів на дослідному переводі

Як уже зазначалося, під час випробування стрілочного переводу на міцність необхідно одержати *максимальні* значення показників його напружено-деформованого стану (перелік наведено в табл. 1, 2). Природно, що вимірювальні прилади в такому випадку повинні розта-

шовуватися в місцях, де їх величини мають бути близькими до екстремальних у всьому діапазоні швидкостей руху дослідного поїзда.

Аналіз конструкції стрілочного переводу та кінематики руху екіпажа по ньому, результати випробувань на міцність (у тому числі й [7 – 9, 14]) вказують, що на звичайному одиночному стрілочному переводі незалежно від типу екіпажа максимальні для певного елемента переводу напруження завжди реєструються в таких місцях:

- передній виліт рамних рейок під час пошерстного руху дослідного поїзда (кромка підшви рамних рейок, боковий напрямок);

- кінець прямої частини, початок відхилення контррейки (неробоча грань головки контррейки);

- підшва жорсткої хрестовини в перерізах з найменшими вертикальним та горизонтальним моментами опору або з різкими змінами форми (хвіст хрестовини).

Спрогнозувати положення максимумів напружень по довжині гостриків та рейок з'єднувальної частини складніше. За даними наших натурних досліджень розташування максимумів напружень у підшві рейки або гострия для переводів різних проектів не збігаються, також вони залежать від швидкості та типу екіпажа, а найбільше та найменше по довжині цих елементів значення нерідко відрізняються у 2...3 рази. Найімовірніше причиною цього є особливості переводів різних проектів та неусталений характер руху екіпажів по переводу, зумовлений відносно невеликим радіусом та довжиною перевідної кривої, відсутністю перехідних кривих та підвищення зовнішньої рейки, наявністю стиків.

Поява та масове застосування сучасних програмних комплексів, призначених для автоматизації процесу дослідження механічних систем («Универсальный механизм», Visual Nastran, Medyna, Working Model та ін.), дозволяють сподіватися, що в недалекому майбутньому з'являться надійні верифіковані моделі, за допомогою яких можна буде визначати розташування максимумів напружень у металевих частинах нових стрілочних переводів для будь-якого екіпажа, що входить до дослідного поїзда (це дасть можливість різко зменшити кількість вимірювальних приладів), але на сьогодні єдиним способом не пропустити максимум є рівномірне розташування по довжині переводу якомога більшої кількості вимірювальних приладів, що, на жаль, для всіх частин переводу неможливо з технічних причин.

Логічним виходом із цієї ситуації є установа-лення більшої частини приладів у тих зонах переводу, де наявність максимумів зумовлюється кінематикою руху екіпажів і конструкцією переводу та підтверджується результатами випробувань, а меншою – у місцях, де поява максимумів менш імовірна.

Аналіз даних та результатів випробувань одиночних звичайних переводів [7 – 9, 14] дозволив виявити такі зони й умови появи тут максимумів:

- у порівнянні з рамними рейками та рейками з'єднувальної частини криволінійний та прямий гостряки працюють у більш несприятливих умовах (відношення максимальних ймовірних значень напружень до допустимих величин для гостряків більші на 15...30 %, ніж для рейок, а для переводів проектів Дн 300 та Дн 355 за швидкості 50 км/год по боковому напрямку досягають 0,94 [8, 9]);

- максимальні напруження, сили, деформації рейкових елементів та переміщення брусів реєструються за швидкостей, близьких до максимальних. Під час руху по боковому напрямку всі ці показники по зовнішній рейці (напрямній) більші в порівнянні з внутрішньою. Для прямого напрямку така залежність відсутня;

- напруження в зовнішніх відносно осі колії кромках підшви рейки, гостряка або рухомого сердечника більші за напруження у внутрішніх;

- прилади для вимірювання напружень повинні розташовуватися не ближче, ніж через ящик від стику – це дозволить запобігти спотворенню корисного сигналу високочастотними коливаннями, що обумовлюються ударною взаємодією колеса та рейки в межах стику.

Зображені на рис. 1 схеми установа-лення приладів відповідають наведеним вище положенням, вони апробовані в жовтні-листопаді 2009 року під час натурного випробування на міцність стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту Дн 345-08.

Під час розробки схем також враховано, що:

- на нашу думку, за максимальних швидкостей руху дослідного поїзда 40...50 км/год перерізи, у яких встановлюються прилади, потрібно розміщувати не рідше ніж через один ящик, для більших – через два;

- для полегшення інтерпретації одержаних даних якнайбільша кількість вимірювальних приладів повинна розташовуватися в одному перерізі рейки;

- гранична величина горизонтальної сили, що діє на перевід, має статус «допустимої», тому кількість перерізів, де вона вимірюється,

повинна бути максимальною, для вертикальної сили (гранична величина «рекомендована») кількість перерізів можна зменшити. За цим самим принципом розміщуються й горизонтальні прогиноміри;

- якісна оцінка стану баластного шару переводу забезпечується розташуванням вертикальних прогиномірів через 5...8 ящиків;

- найчастіше максимальні горизонтальні переміщення брусів реєструвалися в межах стрілки, тому прилади тут розташовані густіше, ніж у з'єднувальній частині.

Враховуючи те, що вертикальні переміщення рейкових елементів виконують контрольну функцію та мало залежать від швидкості, краще за все їх визначати окремо в спеціально для цього виділений день за швидкостей дослідного поїзда, близьких до встановлених на ділянці. Після цього прогиноміри потрібно зняти та застосувати для вимірювання інших деформацій та переміщень.

Схеми встановлення приладів, наведені на рис. 1, містять ту мінімальну їх кількість, яка гарантує якість результатів досліджень. За потреби детального дослідження напружено-деформованого стану окремих частин переводу (наприклад, стояки незалежної контррейки) необхідно встановлювати додаткові прилади за схемою, відповідно до конструкції цієї частини.

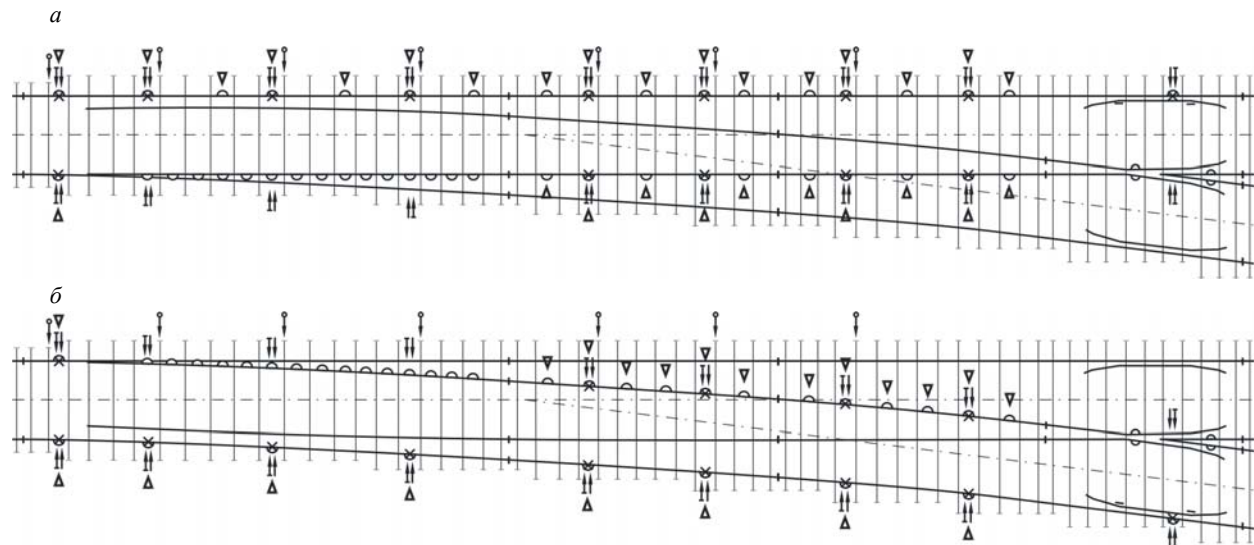
Основні вимоги до засобів вимірювань

Усі випробування, на яких ґрунтується дана стаття, були проведені з використанням розробленої в Колієвипробувальній ГНДЛ вимірювально-інформаційної системи (ВІС) «ПОНІЛ ДИИТ – 1». Детальна інформація про конструкцію окремих її частин та порядок застосування викладена в нормативних документах лабораторії, тому в даному розділі звертається увага лише на ті характеристики ВІС, які необхідно враховувати під час розробки схеми встановлення приладів та складання висновків за результатами випробувань.

Як первинний датчик під час визначення напружень у рейках та гостряках стрілочного переводу використовується прямокутний тензорезистор з базою вимірювання 20 мм. Зважаючи на форму епюр згинального моменту, що характерні для цих елементів, наявне осереднення напружень на довжині бази вимірювання практично не впливає на точність визначення напружень. Але у випадку, якщо є підстави вважати, що епюра моментів може різко змінюватися на невеликому відрізку, співмірному з довжиною датчика (через різку зміну форми

елемента в горизонтальній та(або) вертикальній площинах), у цій частині краще розташувати не один-два датчики базою 20 мм, а три-чотири – базою 10 мм або навіть менше. Такий підхід

добре себе зарекомендував під час визначення напружень у підшві хвостової частини хрестовини переходу проекту Дн 355 [9].



Умовні позначення:

- × – прилад для вимірювання вертикальної сили, що діє на рейку;
- Δ – прилад для вимірювання напруження в кромці підшви рейки, гостряка та хрестовини;
- ▽ – прилад для вимірювання напруження в неробочій кромці контррейки;
- ↑, ↓ – прилади для вимірювання відповідно вертикальних і горизонтальних переміщень рейки;
- ↔ – прилад для вимірювання горизонтального переміщення бруса;
- ▽ – місце визначення горизонтальної сили, що діє на рейку

Рис. 1. Схеми встановлення приладів: а – по прямому напрямку переходу, б – по боковому

Дуже важливою характеристикою вимірювальних каналів ВІС, яка безпосередньо впливає на висновки за результатами випробувань, є величина відносної похибки вимірювань. Для ілюстрації цього положення розглянемо такий приклад: за швидкості дослідного поїзда по боковому напрямку 50 км/год максимальна ймовірна величина напружень у підшві кривого гостряка становить 259 МПа з відносною похибкою вимірювання 5,7 %, потрібно розробити рекомендації стосовно допустимої швидкості руху поїздів. За такої відносної похибки точне значення досліджуваної величини перебуває в діапазоні 244,2...273,8 МПа, що менше за допустиму величину (табл. 1), тому по переходу можна рекомендувати встановити допустиму швидкість 50 км/год. Якби відносна похибка складала 7 %, тоді діапазон збільшився б до 240,9...277,1 МПа, а підстава для встановлення допустимої швидкості 50 км/год зникла.

Для визначення похибки засоби вимірювань повинні щорічно проходити державну перевірку, а величина похибки вимірювання має підтверджуватися документом встановленого зразка.

Непоганим засобом покращення точності вимірювань є зменшення діапазону вимірювань. На нашу думку, для оптимізації похибки діапазони вимірювань вимірювальних каналів не повинні перевищувати максимальних значень, наведених у табл. 1 і 2, більше ніж на третину.

Найголовніші характеристики ВІС для натурних випробувань стрілочного переходу на міцність наведено в табл. 3, верхні межі частотних діапазонів відповідають частотним характеристикам вимірювальних каналів ВІС «ПОНІЛ ДИИТ – 1», відносна похибка вимірювань – не більше 10 %.

Дослідний поїзд

Вплив усього різноманіття рухомого складу на дослідний перевід імітується за допомогою дослідного поїзда. Для забезпечення можливості руху «човником» поїзд складається з двох локомотивів, розташованих у голові й хвості поїзда, та вагонів.

Вантажні та пасажирські поїзди впливають на перевід по-різному: вантажний рухомий склад характеризується значним навантажен-

ням на вісь, але відносно невеликими конструктивними швидкостями руху, тоді як пасажирський – меншим навантаженням на вісь, але суттєво більшими швидкостями. Тому під час випробувань перевodu на міцність необхідно використовувати два дослідні поїзди: «вантажний» та «пасажирський». До складу першого включаються вантажні локомотиви та вагони, другого – пасажирські.

Таблиця 3

Найголовніші характеристики ВІС для натурних випробувань стрілочного перевodu на міцність

Найменування вимірювального каналу (ВК)	Верхня межа частотних діапазонів ВК, Гц	Діапазон вимірювань
ВК напружень, МПа	150	0...350
ВК переміщень, мм	150	0...13
ВК вертикальних сил, кН	1000	0...250
ВК горизонтальних (поперечних) сил, кН	150	0...200

Примітка. Для вимірювання напружень у неробочій грані контррейки краще застосовувати прилади з діапазоном вимірювань 0...400 МПа.

Наймасовішим типом вантажного вагона є піввагон на візках моделі 18-100. Результати випробувань [7, 8, 14] вказують, що в порівнянні з порожнім та завантаженим на 3/4 піввагон, завантажений повністю, впливає на стрілочний перевід більш несприятливо, тому до дослідного поїзда необхідно включати лише повністю завантажені вагони. Найкраще для цього підходять моделі піввагонів з розвантажувальними люками та нормативною вантажопідйомністю 68...69 тонн. Це дозволяє в навантаженому стані забезпечити статичне навантаження від колеса на рейку 115...120 кН.

Пасажирські вагони різного призначення менше відрізняються між собою, ніж вантажні, тому до дослідного поїзда можна включати будь-який порожній пасажирський вагон за умови, що його конструктивна швидкість відповідає вимогам випробування (маси пасажирського вагона в порожньому стані та з пасажирами різняться між собою менше ніж на 5 %, тому цією різницею можна знехтувати).

Для випробування стрілочного перевodu на міцність найбільше підходять двосекційні електровози на двовісних візках, що не мають зв'язку між собою (наприклад, ЧС7 та ВЛ11). Використання таких локомотивів дозволяє покращити точність результатів за рахунок збі-

льшення кількості даних у вибірці. Для досягнення такої самої точності для локомотивів серій ЧС2 (тривісні візки) або ВЛ8 (поздовжній зв'язок між візками) потрібно в кілька разів більше поїздок. Під час випробування технічний стан вагонів та локомотивів повинен відповідати вимогам відповідних нормативних документів з їх утримання та ремонту.

Для досягнення однакової точності результатів кількість вагонів у дослідному поїзді повинна відповідати кількості секцій локомотивів. На нашу думку, кількість пасажирських вагонів можна зменшити до двох через у дватри рази кращий вплив на перевід та значні складнощі з виділенням вагонів, пов'язані з суттєво меншим парком цих вагонів на залізницях.

Прямуювання дослідного поїзда організується в пошерстному та протишерстному напрямках. Незалежно від напрямку руху поїздки дослідного поїзда повинні розпочинатися зі швидкості 7...10 км/год. Дані, одержані під час руху з цією швидкістю, відповідають статичному навантаженню на перевід. Зрозуміло, що навіть за цієї швидкості одержані показники не зовсім відповідають статистиці, але за меншої швидкості дослідного поїзда порушується плавність його руху, що призводить до значних труднощів з інтерпретації одержаних даних.

Для бокового напрямку градації швидкостей руху дослідного поїзда приймаються через 10...15 км/год, для прямого – 20...40 км/год. З наближенням швидкості руху дослідного поїзда до максимального значення її градацію необхідно зменшувати. Поїздки виконуються в режимі вибігу.

Щоб визначити кількість поїздок, був проведений факторний дисперсійний аналіз впливу на напруження в підшві гостряків і рейок з'єднувальної частини стрілочного перевodu проекту Дн 355, зареєстровані під колесами завантажених піввагонів [9], факторів осі екіпажа та поїздки. Аналіз показав, що найчастіше основним фактором впливу є вісь екіпажа, у решті випадків вплив факторів осі та поїздки однаковий. Таким чином, у першому випадку кількість значень у вибірці дорівнює кількості осей, у другому – добутку кількостей осей та кількості поїздок.

У ході обробки даних випробувань найчастіше показання приладів, одержані під час руху екіпажа по прямому напрямку, об'єднуються в одну групу без розподілу на окремі осі, по боковому напрямку – групуються окремо для перших та других за напрямом руху осей у візку

[7 – 9, 14]. Таким чином, для описаної вище схеми дослідного поїзда мінімальна кількість значень в одній вибірці для прямого напрямку складає 16, для бокового – 8. У деяких випадках максимальні значення реєструються під першою за напрямом руху екіпажа віссю (як приклад: криволінійний гостряк, протишерстний напрямок, швидкість 40...50 км/год), що у разі руху дослідного поїзда по боковому напрямку й обумовлює мінімальну кількість поїздок – 8. Для прямого напрямку такі ситуації нехарактерні, тому для досягнення однакової точності даних кількість поїздок можна зменшити до чотирьох.

Необхідно зазначити, що за швидкостей руху дослідного поїзда більше 100 км/год потрібно збільшувати кількість поїздок, зважаючи на ймовірність погіршення показників динаміки екіпажів з наближенням їх швидкості до критичної.

Обробка та аналіз експериментальних даних

Показники напружено-деформованого стану переводу – це випадкові величини. Найчастіше вони підпорядковуються закону нормального розподілу, але в деяких випадках експериментальний закон розподілу відрізняється від нормального й має вигляд двомодального або, якщо двомодальність виражена нечітко, нормального з асиметрією. Двомодальному закону підпорядковувалися напруження в спеціальних підкладках контррейки стрілочного переводу проекту 65109Ж-01 [7], горизонтальні сили та переміщення рейок та гостряка стрілочного переводу проекту Дн 345-08 під час руху електровоза серії ЧС7 зі швидкістю 140 км/год та 160 км/год, нормальним законам з асиметрією відповідали переміщення контррейки та ходової рейки біля контррейки, зареєстровані під час випробувань переводу проекту 65111Ж [14].

У випадку, коли величина підпорядковується нормальному закону (навіть з асиметрією), для вирівнювання одержаних результатів найкраще скористатися нормальним законом, але коли розподіл двомодальний, вирівнювати дані нормальним законом не можна.

Зважаючи на особливості взаємодії стрілочного переводу з рухомим складом, що наявні в стрілці, з'єднувальній частині та хрестовинному вузлі, одержані дані аналізуються для кожної частини переводу окремо, також аналіз необхідно диференціювати залежно від типу та швидкості рухомого складу, що входить до дослідного поїзда. З цієї ж причини показання однотипних приладів, навіть розташованих в

одній частині переводу, необхідно розглядати окремо.

Таким чином, об'єднувати в групу можна тільки показання одного приладу, одержані під осями екіпажів одного типу й серії, за конкретних швидкості та напрямку руху дослідного поїзда.

Як уже зазначалося вище, завданням випробування є одержання максимальних значень показників взаємодії стрілочного переводу та рухомого складу, тому предметом аналізу є максимальне ймовірне або максимальне спостережене значення величини, що досліджується.

Максимальне ймовірне значення величини визначається, якщо експериментальний закон розподілу даних у групі відповідає нормальному, тоді для кожної такої сукупності розраховуються основні характеристики випадкової величини (статистичні середнє значення та середнє квадратичне відхилення) та максимальне ймовірне значення (для нормального закону розподілу) за прийнятого в розрахунках коїї на міцність рівня ймовірності неперевикнення 0,994 [10]. Якщо величина не підпорядковується нормальному закону, визначаються найбільше та найменше її значення (межі діапазону, у якому вона перебуває) та максимальна за модулем величина.

Далі алгоритм аналізу даних такий. Відповідно до типу екіпажа та швидкості руху: для кожного приладу визначається найбільше значення за групами осей, потім – найбільше з обох напрямків (ПШ та ПРШ), і на останок – найбільша величина з-поміж однотипних приладів, розташованих у одній частині переводу.

Після цього будуються залежності максимальних значень показників напружено-деформованого стану переводу для кожної його частини й екіпажа залежно від швидкості та приймається рішення щодо допустимих швидкостей руху вантажних та пасажирських поїздів по новому переводу, які можна рекомендувати.

Остаточне рішення стосовно допустимих швидкостей руху поїздів по дослідному переводу приймає Укрзалізниця.

Висновки

У статті викладено та обґрунтовано основні вимоги до порядку проведення натурних випробувань стрілочних переводів на міцність. Їх дотримання гарантує достовірність результатів досліджень та дозволить об'єктивно оцінювати та порівнювати між собою різні конструкції переводів.

Наведені положення також необхідно вра-

ховувати під час натурних випробувань на міцність симетричних і перехресних переводів та глухих перетинів, випробувань нових типів рухомого складу за критерієм впливу на стрілочні переводи.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. СТ ССФЖТ ЦП 13-98 Стандарт системы сертификации на федеральном железнодорожном транспорте. Стрелочная продукция для федеральных железных дорог. Типовая методика динамико-прочностных испытаний [Текст]. – М., 1998. – 14 с.
2. СТ ССФЖТ ЦТ 15-98 Стандарт системы сертификации на федеральном железнодорожном транспорте. Тяговый подвижной состав. Типовая методика динамико-прочностных испытаний локомотивов [Текст]. – М., 1999. – 27 с.
3. СТ ССФЖТ ЦТ 16-98 Стандарт системы сертификации на федеральном железнодорожном транспорте. Тяговый подвижной состав. Типовая методика динамико-прочностных испытаний электропоездов и дизель-поездов [Текст]. – М., 1999. – 25 с.
4. ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения [Текст]. – М.: ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, 2003 – 22 с.
5. Рекомендации по определению параметров, необходимых для оценки работы стрелочных переводов при взаимодействии их с подвижным составом. Р755/2 [Текст]: Утв.: Совещание V комиссии ОСЖД 12-15 ноября 2002 года / Организация сотрудничества железных дорог. – 2002. – 8 с.
6. НБ ЖТ ЦП 015-99 Нормы безопасности на железнодорожном транспорте. Продукция стрелочная для железнодорожного транспорта. Нормы безопасности [Текст]. – М., 1999. – 27 с.
7. Орловський, А. М. Результати натурного випробування на міцність стрілочного переводу типу Р65 марки 1/9 проекту 65109Ж-01 [Текст] / А. М. Орловський, В. П. Гнатенко, К. В. Мойсеєнко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 31. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 144-152.
8. Мойсеєнко, К. В. Напружено-деформований стан стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту Дн 300 [Текст] / К. В. Мойсеєнко, В. П. Гнатенко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 103-115.
9. Мойсеєнко, К. В. Напружено-деформований стан стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту Дн 355 за даними натурного випробування [Текст] / К. В. Мойсеєнко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 35. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 114-123.
10. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП-0117 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 13.12.04. № 960-Ц / Укрзалізниця. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
11. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України. ЦП-0113 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 10.08.04. № 630-ЦЗ / Укрзалізниця. – К.: Видавничий дім «Мануфактура», 2004. – 37 с.
12. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП-0138 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 22.12.05. № 427-Ц. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2006. – 336 с.
13. Курган, М. Б. Положення суміжних стрілочних переводів у плані й поздовжньому профілі [Текст] / М. Б. Курган, Т. А. Сенченко, К. В. Мойсеєнко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 75-82.
14. Гнатенко, В. П. Результати натурного випробування на міцність стрілочного переводу типу Р65 марки 1/11 проекту 65111Ж [Текст] / В. П. Гнатенко, К. В. Мойсеєнко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 32. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 186-192.

Надійшла до редколегії 12.11.2010.

Прийнята до друку 16.11.2010.

В. В. РИБКІН, В. А. ЛИСАК (ДІПТ), О. Л. БУРДЮЖА (Керченський стрілочний завод)

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ ПРОЕКТУ КС1002.00.000 У БЕЗСТИКОВІЙ КОЛІЇ

У цій статті досліджується можливість безпечної роботи стрілочного переводу проекту КС1002.00.000 в безстиковій колії при дії температурних сил. Наведено залежності коефіцієнту запасу міцності від класу сталі болтів.

Ключові слова: стрілочний перевід, безстикова колія, безпечна робота, температурні сили, коефіцієнт запасу міцності

В данной работе исследуется возможность безопасной работы стрелочного перевода проекта КС1002.00.000 в бесстыковом пути по условию прочности заднего стыка крестовины при действии температурных усилий.

Ключевые слова: стрелочный перевод, бесстыковой путь, безопасная работа, температурные усилия, коэффициент запаса прочности

In the article the possibility of safe operation of the switch (project КС1002.00.000) in the jointless track affected by thermal forces is under study.

Keywords: switch, jointless track, safe operation, thermal forces, strength limit coefficient

На залізницях України безстикова колія є найбільш прогресивною і основною конструкцією колії. Переваги безстикової колії, а також широке використання на залізницях України в якості підрейкової основи залізобетонних шпал, роблять її основною конструкцією залізничної колії незалежно від розмірів вантажонапруженості [1]. Тому виникає необхідність дослідження роботи стрілочних переводів, що примикають до безстикової колії.

Відповідно до рекомендацій ОСЖД [3], при примиканні стрілочного переводу до безстикової колії необхідно влаштовувати захист у вигляді таких конструкцій:

- зрівнюючі ділянки;
- анкерні ділянки;
- зрівнювальні стики;

Відповідно до діючих норм Укрзалізниці [1], примикання ділянок безстикової колії необхідно здійснювати лише одним способом - через два зрівнювальні прольоти, довжиною 12,5 метрів.

Стрілочний перевід типу Р65 марки 1/11 проекту КС6511-03.00.000 на залізобетонних брусах розроблено ВАТ «Керченський стрілочний завод» для застосування на ділянках з безстиковою конструкцією колії. Особливістю даного переводу є те, що хрестовина має подовжений задній виліт. Він закінчується особливою конструкцією стику заднього вильоту хрестовини. З'єднання рейок з хрестовиною відбувається не торець у торець, як у звичайних стрілочних переводах, а під кутом $4^{\circ}48'$ (рис. 1). Через це виникає загроза зрізу болтів

під дією температурних сил, при недотриманні існуючих інструкцій по утриманню зрівнюючих прольотів безстикової колії.

Ось чому **метою роботи** є визначення параметрів міцності хвостового скріплення хрестовини дослідного стрілочного переводу за умови забезпечення безпеки руху поїздів під дією осьових температурних сил.



Рис. 1. Схема примикання рейок з литою частиною хрестовини

Примикання безстикової колії до стрілочного переводу може відбуватися по декільком схемам: примикання безстикової плити з перегону, плити, що розташована між хрестовиною одного стрілочного переводу та рамною рейкою іншого переводу, між хрестовинами стрілочних переводів. Розподіл температурних зусиль між стрілочними переводами був показаний у багатьох роботах. Так, приклад, на рис. 2 показаний розподіл температурних зусиль найнебезпечнішого варіанту розташування безстикової плити.

Розрахунок хвостового з'єднання даної хрестовини зводиться до розрахунку стикових болтів на зріз. При чому, найбільш небезпечним є випадок вичерпання зазору між отворами та болтами.

Згідно з [1], рекомендований температурний інтервал закріплення безстикової колії на території України складає від 25 до 35 °С, а максимальна температура рейки досягає +61 °С. Таким чином, при закріпленні колії у даному діапазоні, найбільшим підвищенням температури відносно температури закріплення складатиме 36 °С. При укладанні безстикової колії не в рекомендованому температурному діапазоні це число може збільшуватися.

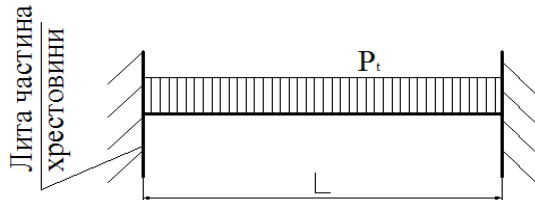


Рис. 2. Схема розподілу температурних зусиль між хрестовинами стрілочних переводів

Поздовжній розподілений опір зсуву рейки по шпалі складає 25 кН/м, а максимально можливе підвищення температури від температури закріплення з умов стійкості досягає 56 °С для рейок типу Р65 [1]. Провівши елементарні розрахунки, легко отримати максимальну довжину «дихаючих кінців», яка досягатиме 46 метрів. Оскільки, згідно до [1] мінімальна довжина пліти безстикової колії складає 100 метрів, то на стрілочні переводи буде діяти повна величина температурної сили, що не залежатиме від довжини пліти.

Основним принципом розрахунку є визначення коефіцієнта запасу міцності, який визначається як відношення утримуючих сил до зрізаючих [4].

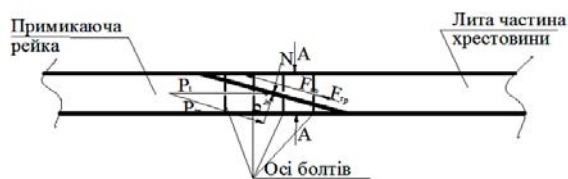


Рис. 3. Схема розподілу сил та реакцій, що діють на стик заднього вильоту даної хрестовини:

P_t – температурна сила в пліті; P_{tx} – проекція температурної сили на вісь X ; P_{ty} – проекція температурної сили на вісь Y ; N – нормальна реакція основи; F_{tr} – сила тертя; $F_{оп}$ – сила опору зрізу болтів; A – сила притискування болтів; γ – кут стругання рейок в задньому стику хрестовини

Як видно з рис. 3, утримуючими силами є сила опору болтів зрізу та сила тертя. Зрізаючою є проекція температурної сили на лінію з'єднання рейок (див. рис. 3).

Температурна сила, що виникає у рейках, залежить від площі поперечного перерізу рей-

ки, матеріалу рейки та зміни температури рейки відносно температури закріплення. Для розрахунку найбільш небезпечного випадку, необхідно приймати значення площі поперечного перерізу рейки без зносу.

Відповідно вимогам [1], температурні зусилля в рейках визначаються за формулою

$$P_t = \alpha E F \Delta t, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт температурного розширення сталі, що дорівнює $1,18 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

E – модуль пружності рейкової сталі, що дорівнює $2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$;

F – площа поперечного перерізу рейки;

Δt – різниця між температурою рейки, при якій визначають напруження, і температурою закріплення пліти на шпалах, °С;

Так як рейки примикають до заднього стику хрестовини під кутом γ , то сила тертя буде визначатися за формулою

$$F_{тр} = N \mu, \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт тертя рейкової сталі, що визначається згідно з [4] ($\mu = 0,25$);

Сила реакції опори визначається з умови рівності нулю суми усіх проекцій сил на вісь дії сили реакції опори. Тому вона буде складатися з проекції температурної сили та сили притискування болтів:

$$N = P_t \sin \gamma + A \cos \gamma. \quad (3)$$

Якщо при затягуванні болта гайкою знехтувати скручуванням, що допустимо при змазаній різьбі, то величину поздовжньої сили, що діє на болт можна визначити за формулою:

$$A = \frac{2 \cdot \pi \cdot M}{h + \pi \cdot \mu \cdot (d + D)}, \quad (4)$$

де M – зовнішній крутячий момент, що прикладений до гайки, рівний, згідно до [1], $M = 600 \text{ Нм}$;

h – крок нарізки різьби на болтах (для рейок типу Р65 $h = 3,5 \text{ мм}$);

d – діаметр середнього круга тертя нарізки гайки по нарізці болта;

D – діаметр середнього круга тертя гайки по рейці;

Підставивши формулу (4) та (1) в (3), а результат в формулу (2) отримаємо розрахункову формулу, за якою буде визначатися сила тертя:

$$F_{тр} = \left(\alpha E F \Delta t \sin \gamma + \frac{2 \pi M}{h + \pi \mu (d + D)} \cos \gamma \right) \mu. \quad (5)$$

Розрахункове зусилля, що може витримати болтове з'єднання, розраховується за формулою:

$$F_{\text{оп}} = R_{bs} \gamma_b A_b n_s n, \quad (6)$$

де R_{bs} – розрахунковий опір болтових з'єднань, що залежить від класу сталі болтів;

γ_b – коефіцієнт умов роботи;

A_b – розрахункова площа перерізу стержня болта;

n_s – кількість поверхонь зрізу;

n – кількість болтів;

Утримуюче від зрізу зусилля (див. рис. 3) буде рівним алгебраїчній сумі сили тертя та сили опору болтів зрізу:

$$F_{\text{ут}} = F_{\text{оп}} + F_{\text{тр}}. \quad (7)$$

Підставивши в формулу (7) формули (6) та (5), отримаємо розрахункову формулу визначення зусилля, утримуючого від зрізу:

$$F_{\text{ут}} = R_{bs} \gamma_b A_b n_s n + \left(\alpha E F \Delta t \sin \gamma + \frac{2\pi M}{h + \pi \mu (d + D)} \cos \gamma \right) \mu. \quad (8)$$

При схемі, розглянутій на рис. 3 зрізаюча сила буде чисельно рівною проекції температурного зусилля в рейці на лінію зрізу рейки

$$F_{\text{зр}} = P_{\text{тх}} = \alpha E F \Delta t \cos \gamma. \quad (9)$$

Оскільки коефіцієнт запасу міцності визначається як відношення утримуючих зусиль до зрізаючих, то його формула буде мати вигляд:

$$K = \frac{F_{\text{зр}}}{F_{\text{ут}}}, \quad (10)$$

Підставивши в формулу (10) формули (8) та (9), отримаємо розрахункову формулу визначення коефіцієнту запасу міцності при зрізанні болтів температурною силою:

$$K = \alpha E F \Delta t \cos \gamma / \left[R_{bs} \gamma_b A_b n_s n + \left(\alpha E F \Delta t \sin \gamma + \frac{2\pi M}{h + \pi \mu (d + D)} \cos \gamma \right) \mu \right], \quad (11)$$

Міцність буде забезпечуватися, якщо коефіцієнт запасу міцності буде залишатися більшим одиниці на протязі усього інтервалу можливого підвищення температури.

Очевидно, що найнебезпечнішим варіантом буде момент часу найбільшої різниці температур між температурою закріплення пліти на

шпалах та існуючою температурою рейок на момент виміру. Тому коефіцієнт запасу міцності визначали для різних класів сталі при максимально можливому, згідно з рекомендаціями [1], підвищенню температури рейки в порівнянні з температурою закріплення, що складає 36 °С. На рис. 4 приведений графік залежності коефіцієнту запасу міцності від класу сталі болтів. Даний графік нелінійний з непостійним приростом при зміні класу сталі, з якого виконані болти, що доводить неможливість перерахунку даного параметру шляхом добутку на сталий коефіцієнт.

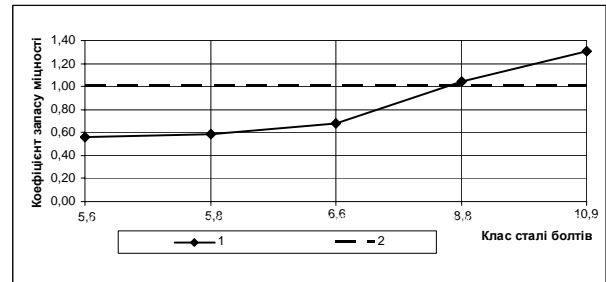


Рис. 4. Залежність коефіцієнту запасу міцності від класу сталі болтів:
1 – коефіцієнт запасу міцності;
2 – граничний коефіцієнт запасу міцності

Проаналізувавши рис. 4, були зроблені висновки про клас болтів, що задовольняють умовам міцності. Тому подальші розрахунки для максимально можливого підвищення температури рейки в порівнянні з температурою закріплення проводилися для класів сталі 8.8 та 10.9. Для інших класів сталі було проведено дослідження границі міцності в залежності від зміни температури. Графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення пліти для болтів зі сталі класу 8.8 зображений на рис. 5.

Проаналізувавши рис. 5, стає ясно, що міцність заднього стику хрестовини буде забезпечуватися при дії поздовжньої сили, що менша температурної сили в рейці, яка відповідає різниці температур у 36 °С. Допустиме підвищення температури з умов міцності більше, ніж максимальне значення підвищення температури при укладанні плітей у рекомендованому [1] інтервалі, тому болти зі сталі класу 8.8 витримують температурні навантаження.

Для дослідження даного питання для болтів зі сталі класу 10.9 був побудований графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення пліти, який зображений на рис. 6.

З рис. 6 легко побачити, що міцність заднього стику хрестовини буде забезпечуватися на

віль у тому випадку, якщо пліть буде укладена не в рекомендований температурний діапазон і буде витримувати поздовжню силу, еквівалентну температурному зусиллю при різниці температур закріплення та температури рейки при вимірі зусиль. Стикові болти зі сталі класу 10.9 будуть забезпечувати міцність заднього стику хрестовини при дії температурних зусиль навіть при укладанні безстикових плит з заниженням рекомендованого температурного діапазону на 10 °C. Тобто мінімальна температура укладання безстикової колії, що примикатиме до дослідного стрілочного перевалу, буде складати 15 °C.

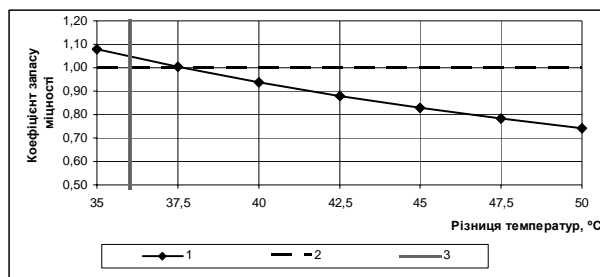


Рис. 5. Графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення пліті для болтів зі сталі класу 8.8: 1 – коефіцієнт запасу міцності; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності; 3 – максимально можлива зміна температури згідно ЦП 0081

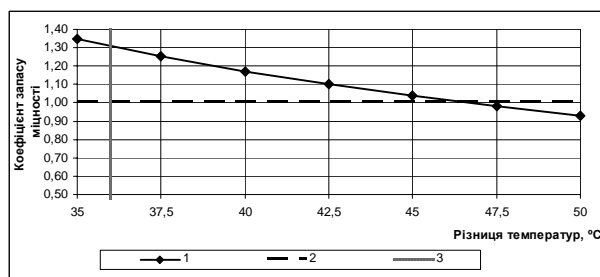


Рис. 6. Графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення пліті для болтів зі сталі класу 10.9: 1 – коефіцієнт запасу міцності; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності; 3 – максимально можлива зміна температури згідно ЦП 0081

На рис. 7–9 показані залежності коефіцієнтів запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення пліті для болтів зі сталі класів 5.6, 5.8, 6.6 відповідно.

Аналізуючи графіки 7–9, можна зробити висновок, що болти зі сталі класу до 6.6 включно забезпечують міцність заднього стику хрестовини, при дії поздовжньої сили, еквівалентної дії температурної сили у рейці, при різниці температур закріплення та температури рейки при вимірі зусиль 20...25 °C. Тобто мінімальна температура укладання безстикової колії, що

примикатиме до дослідного стрілочного перевалу, повинна складати 36...41 °C.

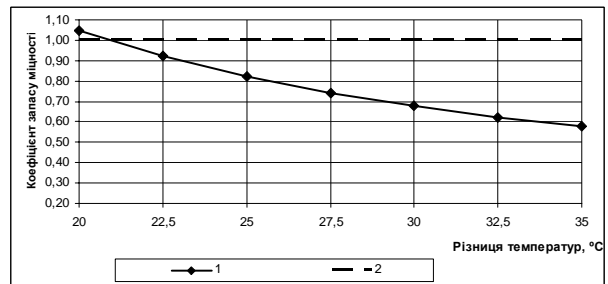


Рис. 7. Графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення пліті для болтів зі сталі класу 5.6: 1 – коефіцієнт запасу міцності; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності

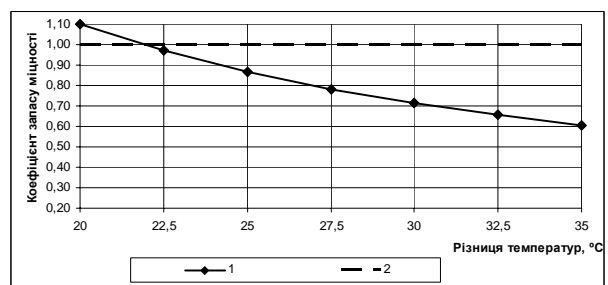


Рис. 8. Графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення пліті для болтів зі сталі класу 5.8: 1 – коефіцієнт запасу міцності; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності

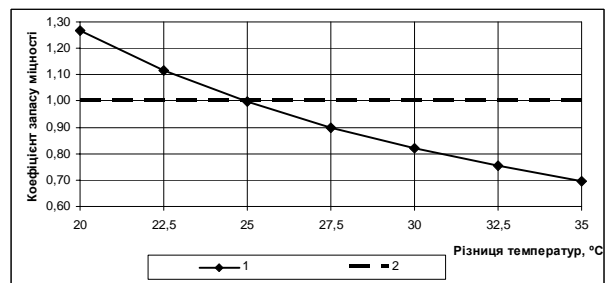


Рис. 9. Графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення пліті для болтів зі сталі класу 6.6: 1 – коефіцієнт запасу міцності; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності

Враховуючи діапазони температур на території України та точність виміру температури рейок за діючими методиками, можна зробити висновок, що міцність заднього стику хрестовини для вказаних класів болтів знаходяться в одному температурному діапазоні, а результати є тотожними.

Наведені вище дані були отримані при врахуванні нормативного моменту затягування болтів. Під час експлуатації стикові болти можуть ослабнути і цим зменшити запас міцності заднього стику хрестовини. Тому був проведений

розрахунок коефіцієнта запасу міцності заднього стику хрестовини без урахування сили тертя:

$$K = \frac{\alpha E F \Delta t \cos \gamma}{R_{bs} \gamma_b A_b n_s n} \quad (12)$$

По результатах розрахунку були побудовані графіки, які зображені на рис. 10–11.

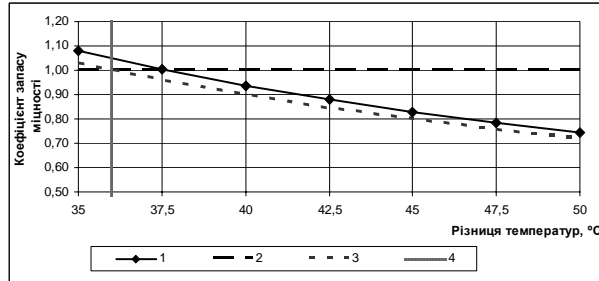


Рис. 10. Графік дослідження впливу сили тертя на коефіцієнт запасу міцності для болтів зі сталі класу 8.8:

1 – коефіцієнт запасу міцності з урахуванням сили тертя; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності; 3 – коефіцієнт запасу міцності без урахування сили тертя; 4 – максимально можлива зміна температури згідно ЦП 0081

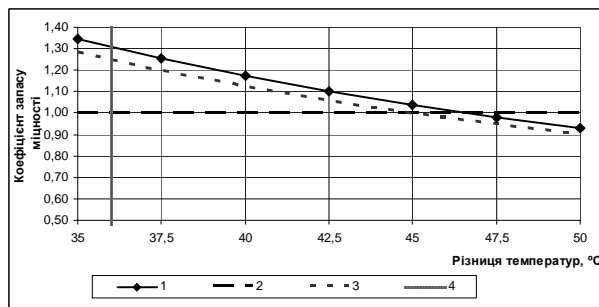


Рис. 11. Графік дослідження впливу сили тертя на коефіцієнт запасу міцності для болтів зі сталі класу 10.9:

1 – коефіцієнт запасу міцності з урахуванням сили тертя; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності; 3 – коефіцієнт запасу міцності без урахування сили тертя; 4 – максимально можлива зміна температури згідно ЦП 0081

Проаналізувавши рис. 10 та 11, можна з упевненістю сказати, що сила тертя слабо впливає на коефіцієнт запасу міцності заднього стику хрестовини на зріз, і, враховуючи існуючу методику виміру температури та динаміку зміни температури рейки, силою тертя можна знехтувати для даного розрахунку. Крім того, вплив сили тертя зменшується зі збільшенням різниці температур рейки та температури закріплення пліти, тому при невеликій різниці згаданих температур сила тертя має суттєвий вплив на коефіцієнт запасу міцності.

Сила тертя між рейкою та литою частиною хрестовини несуттєво впливає на коефіцієнт запасу міцності для заднього стику даної хрестовини на зріз при максимальній можливій різниці

температур рейки під час визначення зусилля та під час закріплення пліти на шпалі 36 °C.

ВИСНОВКИ

При використанні болтів зі сталі класів 8.8 та 10.9 буде забезпечуватися міцність заднього стику хрестовини типу Р65 марки 1/11 проекту КС1002.00.000 при укладанні плітей безстикової колії у рекомендованому діапазоні температури закріплення [1]

При використанні болтів зі сталі класу 10.9 буде забезпечуватися міцність заднього стику даної хрестовини, навіть, при укладанні плітей безстикової колії з порушенням рекомендованого температурного діапазону [1] до 10 °C у сторону його пониження.

Для визначення ступеню впливу подовження рейкової пліти в результаті вичерпання зазорів між болтами та отворами в рейках на коефіцієнт запасу міцності заднього стику хрестовини необхідно провести додаткові розрахунки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України. ЦП-0081 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 25.01.02. №34-Ц / Мін-во трансп. та зв'язку України. – К., 2002. – 106 с.
2. Практичні рекомендації щодо проведення вхідного контролю якості матеріалів верхньої будови колії [Текст] : рекомендації / за ред. В. О. Яковлева. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 196 с.
3. Протокол ради експертів з технічних питань по темі 3 колійної тематики: «Розробка матеріалів по залізобетонним шпалам, брусам та стрілочним переводам» [Текст]. – Угорщина, 2000.
4. Стальные конструкции. СНиП II-23-81 [Текст] Утв.: Постановление Госстроя СССР 14.08.81 № 144 / Госстрой СССР. – М.: 1990. – 96 с.
5. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / под ред. М. А. Фришмана. – М.: Гос. трансп. ж.-д. изд-во, 1956. – 181 с.
6. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП-0117 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 13.12.04. № 960-Ц / Мін-во трансп. та зв'язку України. К.: 2006. – 168 с.
7. Болты для рельсовых стыков железнодорожного пути. Технические условия. ГОСТ 11530-93 [Текст] : Утв.: Постановление Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации 02.06.94 №160. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 10 с.

Надійшла до редколегії 27.01.2011.

Прийнята до друку 28.01.2011.

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

У статті викладено основні положення розробленої технології відновлення несучої здатності конструкцій транспортних і гідротехнічних споруд. Запропонований пневмоструминний спосіб ремонту й відновлення несучої здатності транспортних і гідротехнічних споруд дозволяє економити 30...40 % цементу, збільшити щільність бетону, отже, відповідно, зменшити масу конструкцій.

Ключові слова: несуча здатність конструкцій, щільність, пневмоструминний спосіб ремонту та відновлення

В статье изложены основные положения разработанной технологии восстановления несущей способности конструкций транспортных и гидротехнических сооружений. Предложенный пневмоструйный способ ремонта и восстановления несущей способности транспортных и гидротехнических сооружений позволяет экономить 30...40 % цемента, увеличить плотность бетона, а, следовательно, уменьшить массу конструкций.

Ключевые слова: несущая способность конструкций, плотность, пневмоструйный способ ремонта и восстановления

The article is dealt with basic statements of the developed technology of recovering the supporting power of transport and hydraulic structures. The proposed pneumatic jet method of repair and recovery of the supporting power of transport and hydraulic structures permits saving 30...40 per cent of cement, increasing the cement density and hence decreasing the mass of structures.

Keywords: supporting power of structures, density, pneumatic jet method of repair and recovery

Министерством транспорта Украины начато осуществление программы восстановления и ремонта различных искусственных сооружений, обеспечивающих переход транспортных магистралей через водные препятствия. Выполнение этой программы должно обеспечить бесперебойное движение транспортных потоков, несмотря на возраст и техническое состояние транспортных сооружений [1].

Эксплуатация транспортных и гидротехнических сооружений существенно осложняется в условиях обводненности. Подземные воды приводят к изменению эксплуатационных характеристик конструкций, находящихся в зоне воздействия грунтовых вод, что требует проведения ремонтно-восстановительных работ на сооружениях.

Цель исследований состоит в разработке технологии восстановления несущей способности конструкций транспортных и гидротехнических сооружений.

Технология ремонта и восстановления транспортных и гидротехнических сооружений основана на следующих позициях: приготовлении цементной системы с предельным насыщением ее твердой фазой (минимальным водоцементным отношением) и наиболее полной гидратацией цементных частиц независимо от их прочности; нанесении слоя цементной системы на зерна заполнителей, которое должно обеспечивать заполнение микрорельефа их поверхно-

сти и, следовательно, достижение высокой степени адгезии клея и заполнителя. Прочность бетона регулируется уплотнением частиц заполнителя с цементирующей обмазкой до заданной плотности. При этом обеспечивается снижение расхода цемента до уровня, необходимого для образования объема цементного клея с оптимальным количеством воды, достаточного для обмазки зерен заполнителя слоем минимальной толщины [2].

Предложенный пневмоструйный способ ремонта и восстановления несущей способности транспортных и гидротехнических сооружений позволяет экономить 30...40 % цемента, увеличить плотность бетона, а, следовательно, уменьшить массу конструкций.

Схема мобильной установки, применяемой при струйной технологии бетонирования, представлена на рис. 1. Такая установка может эксплуатироваться также при бетонировании путем втапливания крупного заполнителя в цементно-песчаную смесь.

Преимуществом трубопроводного транспорта является изоляция перемещаемого материала от неблагоприятного влияния окружающей среды. По трубопроводу возможна подача материалов под любым углом к горизонту, что позволяет не предъявлять жесткие требования к трассе. Трубопроводный транспорт используется и для подачи больших объемов бетонной

смеси, где невозможен подъезд автотранспорта. Немаловажное значение имеет и возможность непрерывной подачи бетонной смеси.

Ряд экспериментальных и теоретических исследований [3 – 5] свидетельствует о структур-

ном режиме движения бетонной смеси в трубопроводе с характерным наличием пристенного слоя из цементного теста и мелких фракций песка, по которому происходит скольжение развитого ядра потока.

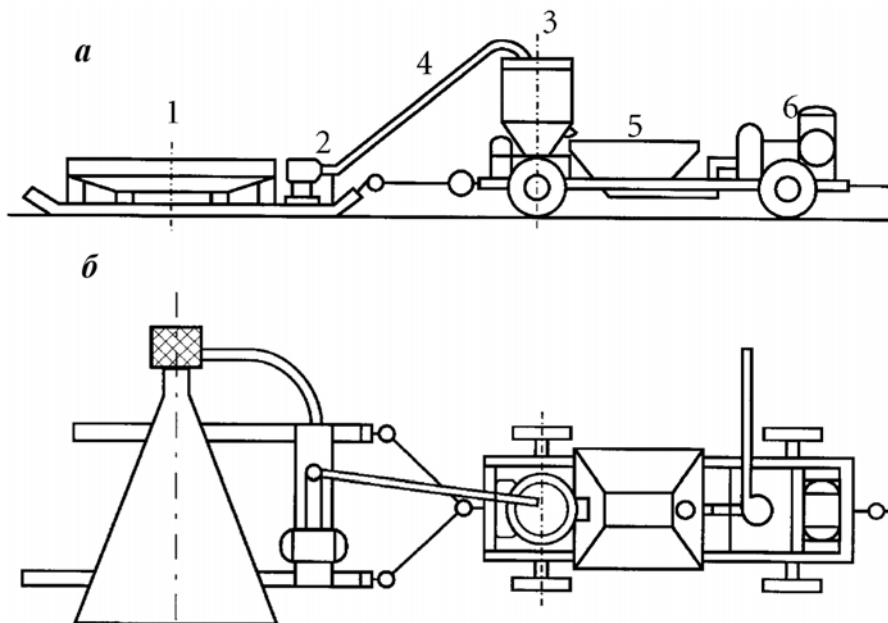


Рис. 1. Передвижная установка для укладки цементно-песчаной смеси: а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – приемный бункер; 2 – насос; 3 – реактор-активатор; 4 – трубопровод; 5 – растворосмеситель; 6 – струйная установка

Между слоями движущегося материала, начиная от пристенного слоя, действуют касательные напряжения, соизмеримые с определенным напряжением сдвига бетонной смеси. Успешное применение трубопроводного транспорта при выполнении бетонных работ возможно при использовании бетонных смесей оптимальных реологических характеристик подвижностью 11...14 см. Бетонные смеси низкой подвижности требуют увеличения давления в рабочем цилиндре бетононасоса (в пределах 5 МПа близко к максимально возможному давлению) без резкого повышения водоотжима. Дальнейшее увеличение давления приводит к обезвоживанию смеси за счет выдавливания воды через манжеты рабочих цилиндров и другие неплотности.

Высокоподвижные бетонные смеси могут расслаиваться при перекачке. Таким образом, бетонные смеси должны иметь определенную подвижность, обладать повышенной связностью и однородностью. С учетом показателей эффективности раздельной технологии укладки бетонной смеси установлена целесообразность транспортирования по трубопроводу растворной части бетонной смеси с укладкой крупного заполнителя одним из двух предложенных способов.

В соответствии с руководством по укладке

бетонных смесей бетононасосными установками [6], устанавливаются критерии удобоперекачиваемости $X_{Ц}$, $X_{П}$, $X_{Щ}$, определяющие соответственно соотношения между содержанием цемента, цементного теста и цементного раствора в бетоне, к объему раствора и бетона с учетом межзерновой пустотности песка и щебня:

$$X_{Ц} = \frac{B/C}{K_{нг}}; \quad (1)$$

$$X_{П} = \frac{V_T}{V_P \cdot \Pi_{П}}; \quad (2)$$

$$X_{Щ} = \frac{V_P}{V_B \cdot \Pi_{Щ}}, \quad (3)$$

где B/C – фактическое водоцементное отношение цементного теста в бетонной смеси;

$K_{нг}$ – коэффициент нормальной густоты;

V_T – абсолютный объем цементного теста в бетонной смеси;

V_P – объем растворной части бетонной смеси;

V_B – объем бетонной смеси;

$\Pi_{П}$ и $\Pi_{Щ}$ – межзерновая пустотность песка и щебня, соответственно.

При диаметре трубопровода $d = 125$ мм указанные критерии находятся в следующих пределах: $X_{Ц} = 1,2...2,4$; $X_{П} = 1,1...1,9$; $X_{Щ} =$

= 1,2...1,9.

Исходя из требований к гранулометрическому составу заполнителя, максимальная крупность используемых заполнителей составляет 0,33...0,4 диаметра бетонопровода. Суммарное содержание цемента и мелких фракций песка должно быть не менее 350 кг/м³. Однако следует отметить, что избыток мелких фракций нежелателен, так как при этом повышается водопотребность и вязкость растворной смеси, что приводит к росту сопротивления движению смеси по трубопроводу.

Количество цемента в бетоне назначается таким, чтобы содержание цементного теста могло обеспечить необходимую вязкость бетонной смеси. Количество цементного теста регламентируется раздвижкой зерен песка для формирования несжимаемой дисперсионной среды, через которую передается давление от насоса. При этом количество цементного теста не может быть увеличено дополнительным введением воды, так как это приводит к снижению физико-механических характеристик твердеющего бетона и к ухудшению условий перекачивания из-за отжатия слабо связанной воды.

Растворная смесь воспринимает и передает давление при ее трубопроводном транспортировании. Согласно кривой гранулометрического состава заполнителей, оптимальная доля песка в смеси заполнителей (по массе) находится в пределах 0,4...0,52. Меньшие значения приемлемы для смесей на гравии, большие – на щебне. Количество песка в пределах 0,36...0,38 с обеспечением достаточного коэффициента раздвижки зерен крупного заполнителя может быть достаточным при повышении содержания цементного теста. С учетом вышеизложенных требований коэффициент α составляет 1,3...2,0.

Очень важно учитывать фракционный состав песка. Особое внимание уделяется содержанию мелких фракций (до 0,2 мм). Недостаточное количество мелких фракций приводит к увеличению расхода цемента. Для бетонной смеси, подвергаемой перекачиванию, рекомендуется песок непрерывной гранулометрии, при этом доля песка в составе заполнителей должна составлять 40...50 %.

Таким образом, успешное использование бетононасосной техники возможно при выполнении определенного ряда условий:

- использование оптимизированного гранулометрического состава заполнителей;
- использование вяжущего, оптимизированного по дисперсности, нормальной густоте и активности;

– использование растворных смесей оптимальных реологических характеристик.

Выводы

1. Разработанная технология раздельного бетонирования позволяет повысить производительность серийно выпускаемых инъекционных установок, сократить обслуживающий персонал; сократить расходы при транспортировании и подготовке оборудования к работе, обеспечить надежность и безопасность при работе установки, механизировать операции по загрузке заполнителей; обеспечить механизированное дозирование цемента, повысить качество бетонных работ, восстановить эксплуатационные свойства отремонтированного сооружения.

2. Преимущество разработанной технологии состоит в возможности укладки бетонной смеси тремя способами, не требующими сложной переналадки действующих технологических линий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пшинько, А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений [Текст] / А. Н. Пшинько. – Д.: Пороги, 2000. – 412 с.
2. Пшинько, А. Н. Особенности ремонта искусственных транспортных сооружений [Текст] / А. Н. Пшинько, Н. Н. Руденко // Заліз. трансп. України. – 2001. – № 2. – С. 14-16.
3. Кислий, Г. П. Проблемы ремонту транспортных споруд [Текст] / Г. П. Кислий, О. М. Пшінько // Автомобільні дороги та дорожнє будівництво. – К., 2000. – Вип. 59. – С. 190-192.
4. Матвиенко, В. А. Электрические явления и активационные воздействия в технологии бетона [Текст] / В. А. Матвиенко, С. М. Толчин. – Макеевка: ОМС ДГАСА, 1998. – 154 с.
5. Прочность, структурные изменения и деформации бетона / под ред. А. А. Гвоздева; НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1987. – 299 с.
6. Михайлов, К. В. Бетон и железобетон в строительстве [Текст] / К. В. Михайлов, Ю. С. Волков. – М.: Стройиздат, 1987. – 104 с.
7. Пшінько, О. М. Технологічні правила підводного ремонту бетонних та залізобетонних штучних споруд: затв. Держ. адміністрацією заліз. трансп. Мінтранса України [Текст] / О. М. Пшінько, В. М. Пунагін, Н. М. Руденко. – К., 2000. – 36 с.

Поступила в редколлегию 05.11.2010.

Принята к печати 23.11.2010.

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД. ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ

Промислові труби є невід'ємною частиною комплексу споруд підприємств металургійної, хімічної й ряду інших галузей промисловості з моменту їх виникнення. Їх призначення полягає у викиді на значну висоту відходів виробництва із залишковим змістом шкідливих речовин. У статті представлено результати моделювання напружено-деформованого стану башти на основі методу скінчених елементів. Розглянуто та проаналізовано 6 варіантів конструктивного рішення башти, серед яких варіанти з використанням полімерів.

Ключові слова: димова башта, напружено-деформований стан, чисельне моделювання, витрати матеріалів, сталь, полімери

Промышленные трубы являются неотъемлемой частью комплекса сооружений предприятий металлургической, химической и ряда других отраслей промышленности с момента их возникновения. Их назначение состоит в выбросе на значительную высоту отходов производства с остаточным содержанием вредных веществ. В статье представлены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния башни на основе метода конечных элементов. Рассмотрены и проанализированы 6 вариантов конструктивного решения башни, среди которых варианты с использованием полимеров.

Ключевые слова: дымовая башня, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование, расход материалов, сталь, полимеры

Industrial pipes are an integral part of the complex structures of enterprises of metallurgical, chemical and other industries from the moment of their advent. Their purpose is to exhaust industrial wastes with residual content of hazardous substances on a considerable height. The paper presents the simulation results of stress-strain state of the tower based on the finite element method. Six different constructive solutions of the tower including options for using polymers are reviewed and analyzed.

Keywords: exhaust tower, stress-strain state, numerical simulation, expenditure of materials, steel, polymers

Огляд розвитку витяжних споруд

Швидкий ріст промисловості та енергетичної бази протягом останнього сторіччя, що викликав збільшення обсягів специфічних відходів виробництва, висунув у якості однієї з найважливіших світових проблем сучасності охорону чистоти атмосферного повітря.

Масштаби забруднення атмосфери і його шкідливих наслідків у народному господарстві, економіці й природі такі, що боротьба із забрудненням на сучасному етапі прийняла міжнародний характер. Одним з типів інженерних споруд, за допомогою яких відходи виробництва із залишковим змістом шкідливих речовин викидаються на значній висоті, є витяжні башти. Витяжні башти являють собою складні інженерні споруди. Витяжні башти зводяться на об'єктах таких основних галузей промисловості, як хімічна, чорна й кольорова металургія, енергетична та ін.

Промислові труби є невід'ємною частиною комплексу споруд підприємств металургійної, хімічної й ряду інших галузей промисловості з

моменту їх виникнення. Призначення й умови роботи цих споруд внаслідок безперервного росту промисловості й удосконалювання технології перетерплювали істотні зміни, що накладало певні, мінливі згодом вимоги до їхньої конструкції відносно як матеріалів, так і конструктивних форм.

Перші труби зводили зі звичайної червоної цегли, вони були невеликої висоти. Тенденція до збільшення висоти труб виявила основний недолік цегли як будівельного матеріалу цих споруд – низький опір стиску. Внаслідок цього виникла потреба в значній кількості високоякісної цегли, сильно зросли обсяг і вага кладки, а звідси й необхідність у дорогому фундаменті. Неможливість механізації робіт зі зведення труб вимагала висококваліфікованих майстрів-трубокладів. Всі ці фактори різко підвищували вартість цегляних труб.

На початку ХХ ст. з'явився новий, більш міцний матеріал – залізобетон, що і став використовуватися для зведення труб.

Перші невдачі в будівництві залізобетонних труб пояснювалися відсутністю теорії розраху-

нку залізобетонних конструкцій. Однак відповідне коло досліджень уже в першій чверті ХХ ст. дозволило зведення залізобетонних труб висотою більше 100 м. Хімічні реакції, що відбуваються в стінках труби під впливом конденсату, руйнують бетон і викликають корозію арматури, що в остаточному підсумку приводить до руйнування залізобетонної труби. Таким чином, використання залізобетонних труб, що не мають додаткових захисних покриттів, для видалення газів, що пройшли очищення й зберігають певний ступінь агресивності, виявилось неможливим. Разом з тим, для викиду неагресивних відходів виробництва залізобетонні труби досить надійні.

Більшість труб зводиться зі сталі бо цей матеріал має найбільш підходящі властивості для такого типу споруд, але вже довгий час ведеться пошук альтернативних варіантів, наприклад, у Японії на плавильному заводі гірничорудних підприємств Міцуї наприкінці 1971 р. введена в експлуатацію витяжна башта висотою 160 м з газовідвідним стовбуром діаметром 3 м з поліефірного скловолокнистого пластику. За конструктивним рішенням, залежно від ступеня суміщення технологічних і інженерних функцій у споруді, промислові труби можуть бути розділені на три основних типи: вільно оперті труби, підкріплені труби, витяжні башти.

Конструктивні рішення

Вільно оперті труби характеризуються повним сполученням технологічних і інженерних функцій, вони переважно використовуються як димові труби. Підкріплені труби (комбіновані конструктивні рішення промислових труб) характеризуються тим, що газовідвідні стовбури, виконуючи технологічні функції, одночасно беруть участь у роботі споруди, забезпечуючи разом з іншими несучими елементами споруди його міцність, жорсткість і стійкість.

Витяжні башти являють собою споруди баштового типу, що характеризуються чітким поділом інженерних і технологічних функцій і складаються із сталеві несучої конструкції й одного або декількох газовідвідних стовбурів. Несучою конструкцією, як правило, є гратчаста вежа, а газовідвідні стовбури – елемент технологічних комунікацій.

Схеми несучої башти. Відповідно до геометричних схем несучі вежі можна класифікувати за наступними характеристиками:

- за кількістю граней – трьох-, чотирьох- і багатогранні (з кількістю граней більше чотирьох);

- за конфігурацією башти – без переломів граней по висоті й з переломами граней;

- за схемою грат – із хрестовими, ромбічними й трикутними гратами, крім того, певний різновид являє вежа з розрідженими гратами.

Поперечна жорсткість чотиригранних і багатогранних веж забезпечується діафрагмами. Відстань між ними, як правило, в 1,5...2,5 рази перевищує ширину грані вежі й становить для розглянутих веж приблизно 6...15 м. Постановка діафрагм особливо необхідна в площині зламу граней вежі.

Газовідвідний стовбур витяжної вежі знаходиться під впливом горизонтальних і вертикальних сил. Горизонтальні силові впливи виникають від тиску вітрового потоку й при сейсмічних явищах; вертикальні – від ваги стовбура, теплоізоляції, антикорозійного захисту, а також ваги конденсату, пилу й інших відкладень на його стінках. Застосовувані схеми опирання газовідвідного стовбура на несучі конструкції вежі забезпечують, як правило, роздільну передачу горизонтальних і вертикальних силових впливів.

Якщо газоходи розташовані нижче нульової відмітки, то газовідвідний стовбур опирається на самостійний фундамент. Якщо газоходи підходять до газовідвідного стовбуру вище основи вежі, то залежно від рівня уведення газоходів він може опиратися одним із трьох способів, а саме на самостійний фундамент або на спеціальну гратчасту опору, розташовану всередині основної несучої вежі, або на одну з нижніх діафрагм несучої вежі за умови, що витрата металу на цю діафрагму не буде перевищувати витрати металу на спеціальну опору.

Типи перерізів поясів, грат і діафрагм. Як відомо, для високих споруд баштового типу основним розрахунковим навантаженням є вплив швидкісного напору вітру на його несучі та огорожуючі конструкції. У зв'язку із цим особливого значення набуває питання вибору типу перерізів елементів споруди, оскільки від розмірів і форми прийнятих профілів багато в чому залежить сумарна величина вітрового навантаження, що діє на споруду.

У витяжних вежах, як правило, основна частка вітрового навантаження виникає від тиску вітру на газовідвідний стовбур, і все-таки тип перерізів елементів несучої вежі має також істотний вплив на загальну величину вітрового навантаження, отже, й на вагові показники споруди в цілому. На основі узагальнення досвіду проектування витяжних веж установлено, що вага вежі з елементів хрестового перерізу пере-

вершує вагу вежі з елементів трубчастого профілю в середньому на 15...20 %. От чому вибір профілю елементів вежі повинен бути досить чітко обґрунтований з урахуванням таких показників, як витрата металу, його вартість залежно від профілю, трудомісткість виготовлення й монтажу, експлуатаційні показники.

Вихідні дані для дослідження

Об'єктом дослідження є витяжна башта газотурбінної електростанції власних потреб на Ванкорському родовищі. Башта висотою 74,5 м з одним газовідвідним стовбуром діаметром 3,6 м. Несучі функції у споруді виконує гратчаста чотирихгранна вежа без зламу граней по висоті з постійним нахилом граней висотою 67,5 м, схема грат – хрестова з розпірками. Газохід вводиться вище відмітки 0,00. Стовбур виконує функції елемента технологічних комунікацій та несучі функції для навісної площадки, він опирається на поперечні діафрагми розташовані через 12 м, що забезпечують поперечну жорсткість споруди. Грати виконані зі спарених кутників таврового профілю, стійки з труб, для площадок використані двотаври, кутники, швелери.

Несучі елементи споруди виконані із сталі класів С345-3 та С345-4, другорядні елементи із сталі С245, стовбур із сталі класу С345-4.

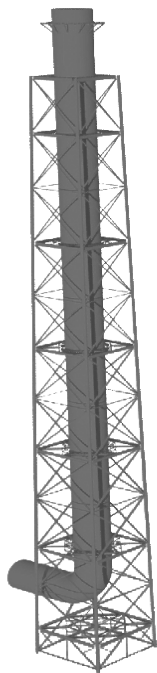


Рис. 1. Візуалізація вихідної башти в пакеті 3ds Max Design 2011

Ця робота має наступні цілі:

- підбір полімерного матеріалу за відповідними вимогами до властивостей;
- оцінка можливості використання обраного полімеру в якості конструкційного матеріалу для несучої вежі витяжної башти або окремих її частин;

- порівняння обрахованих варіантів за характером роботи під навантаженнями, за витратами матеріалів для їх виготовлення та за масою конструкцій;

В ході дослідження визначені наступні варіанти для порівняння:

- металева башта з кутниковою решіткою та металевим стовбуром;
- металева башта з трубною решіткою та металевим стовбуром;
- металева башта з полімерним стовбуром;
- полімерна башта з металевим стовбуром та діафрагмами;
- башта з металевими стійками, діафрагмами та полімерними елементами грат;
- металева башта з полімерною насадкою.

Характеристики матеріалів

Для основних несучих металевих елементів діафрагм та стовбура використовується сталь класу С345-4 та С345-3 для несучої башти. В ході дослідження було обрано полімер для дослідження та розрахунків, це – поліамід ПА-6 «Арамід» вуглецеонаповнений – Арамід ПА УВ 30, введені добавки у базовий поліамід дозволяють істотно змінити його якості та надати композиціям на його основі:

- більш високу теплостійкість;
- підвищити його жорсткість та міцність;
- підвищити стійкість матеріалу до атмосферних факторів впливу;
- надати матеріалу властивості негорючості і т.д.

Цей матеріал має, порівняно, досить високі показники жорсткості та міцності, нормально поводить себе в не обхідних температурних умовах та сприймає атмосферні впливи. Важливим фактором, що вплинув на вибір матеріалу це його довговічність, яка гарантується в залежності від виробника до 25...30 років і в цей же час відповідно до додатку В ДБН В.1.2-2-2006 «Навантаження та впливи» строк експлуатації даного виду споруд складає 30 років. Так як дана споруда обслуговує нафтове родовище то для таких споруд немає потреби у продовженні строку експлуатації.

Основні положення до моделювання та розрахунку

Для розрахунків даної споруди була створена тривимірна модель споруди у програмному комплексі Autodesk Revit Structure 2011. Ця програма обрана для роботи бо має зручний та динамічний інтерфейс та необхідні можливості для подібного моделювання. Дана програма включає спеціалізовані функції для проектування та розрахунку будівельних конструкцій. В основі ПК лежить технологія інформаційного моделювання будівель (BIM).

Серед концептуального проектування являє собою різновид редактора сімейств; в ній передбачені складні засоби і методики розробки нових сімейств формують елементів, призначені для проектувальників. Принципові конструкції містять інтелектуальні дані моделі, що дозволяє вносити необхідні зміни без повторного створення конструкції.

Після цього за допомогою спеціальних програмних надбудов модель створена в Revit Structure імпортується у Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011. Ця програма для скінченно-елементного розрахунку і аналізу будівельних конструкцій. Імпортована модель приводиться до розрахункової у напівручному режимі, тобто визначаються типи скінченних елементів, їх властивості, зв'язки між елементами, переробляються ті частини споруди які були не вірно імпортовані або ж ті які мають відмінності у конструктивній та розрахунковій схемах.

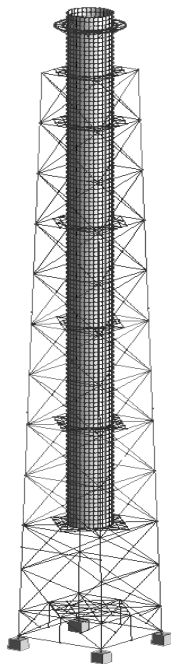


Рис. 2. Скінченно-елементна модель башти, створена в ПК Robot Structural Analysis 2011

Модель побудована на поверховому принципі, тобто створюється сітка вертикальних та горизонтальних рівнів, які співпадають з основними змінами в конструкціях – рівні площадок, перепади перерізів стійок та ін. Основних рівнів 15 та 4 додаткових.

Опис моделі:

Кількість вузлів: 4500

Стрижньові скінченні елементи: 1138

Площинні скінченні елементи: 3904

Об'ємні скінченні елементи: 0

При моделюванні стрижньові скінченні елементи використовуються для елементів несучої башти та діафрагм, а площинні скінченні елементи використовуються для моделювання стовбура.

Дослідження напружено-деформованого стану виконувалось для наступних навантажень:

- власна вага конструкцій;
- снігове навантаження;
- корисне навантаження на площадки;
- вітрове навантаження;

Власна вага прикладається автоматично до кожного елемента з відповідним коефіцієнтом у розрахунковій програмі.

Корисне та снігове навантаження збираються з площі усіх площадок та прикладаються рівномірно розподіленим завантаженням до несучих балок площадок.

Основним для цього виду конструкцій є вітрове навантаження, на відміну від башт та щогл основним є навантаження не на елементи башти, а на стовбур.

Вітрове навантаження прикладається у вигляді двох осьових складових із трапецієвидних розподілень навантажень до кожного елемента башти.

Вітрове навантаження на стовбур прикладається у вигляді трапецієвидного розподіленого по поверхні стовбура завантаження.

Аналіз результатів

Варіанти при яких загальна вага конструкцій зростає не має сенсу, бо однією з цілей використання полімерних матеріалів є зменшення ваги, це варіанти з повністю полімерною баштою та полімерною насадкою.

Варіант з решіткою із труб економніший за витратами сталі на 9 %, але треба враховувати місце будівництва і доступний для транспортування прокат.

Полімерний стовбур дозволяє значно полегшити конструкції, бо важить на 85 % менше.

При використанні полімерних пов'язів загальна вага конструкцій знижується на 12 %.

Таблиця 1

Зведена таблиця витрат матеріалів, кг

№ варіанту	Арамід ПА УВ 30		Сталь С345	
	Стовбур	Башта	Стовбур	Башта
1			32478	61321
2			32478	53199
3	4913			61321
4		68273	32478	17630
5		11141	32478	38775
6		22094	32478	47241

Висновки

За результатами досліджень можна визначити наступне. Цілком полімерна башта не є доцільним рішенням, принаймні для споруд такої висоти, оскільки для виконання умов граничних переміщень потрібно через мірно збільшувати перерізи. Комбіновані варіанти – металеві стійки і полімерні пов'язи; металева башта з полімерною насадкою; – досить добре працюють під навантаження, мають меншу загальну вагу конструкцій, але вимагають розрахунку у кожному окремому випадку у відношенні до того яку частину конструкцій можна виконувати із полімерів аби споруда виконувала свої функції у межах норм. Металева башта із полімерним стовбуром – досить ефективне рішення, окрім того що полімерний стовбур має приблизно в 6 разів меншу вагу він ще вимагає меншого захисту від агресивного середовища, тому що його стійкість більша за стійкість сталі.

Загалом рішення з використанням полімерів можуть бути досить ефективні але мають буду прораховані для конкретного проекту і розроблені більш детально ніж в межах учбового проекту. До основних питань які належить вирішити відносяться наступні вдосконалення методик розрахунків конструкцій з полімерів, розробка конкретних конструктивних рішень полімерних конструкцій, вирішення вузлів металевих та полімерних елементів, вдосконалення технологій виготовлення полімерів.

Але всі ці проблеми з часом вирішуються, тому що розвивається наука, полімерні матеріали дешевшають з часом, на відміну від сталі, яка буде тільки дорожчати, бо її поклади не безмежні та виробництво прив'язане до них територіально, тому завжди буде стояти питання транспортування.

Полімерні споруди – це майбутнє будівництва, тому щоб наша країна не відставала від світу потрібно вже сьогодні починати активні дослідження з приводу можливості використання полімерів в будівництві.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Коренев, Б. Г. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия [Текст] / Б. Г. Коренев, И. М. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.
2. Солодарь, М. Б. Металлические конструкции вытяжных башен воздействия [Текст] / М. Б. Солодарь, М. В. Кузнецов. – Л.: Стройиздат, 1975. – 186 с.
3. Беленя, Е. И. Металлические конструкции [Текст] / Е. И. Беленя, А. А. Васильев, Д. И. Стрелецкий. – М.: Стройиздат, 1976. – 588 с.
4. СНиП II-23-81* Нормы проектирования. Стальные конструкции [Текст]. – М.: Стройиздат, 1980. – 70 с.
5. СНиП 2.09.03-85 Сооружения промышленных предприятий [Текст]. – М.: Стройиздат, 1987. – 91 с.
6. ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження та впливи. Норми проектування [Текст]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 60 с.
7. Суханов, В. В. Проектно-вычислительный комплекс Autodesk Robot Structural Analysis 2011 [Текст] / В. В. Суханов.
8. Металлические конструкции (справочник проектировщика) [Текст] : в 3 т. / под ред. В. В. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1998. – 102 с.
9. Металлические конструкции. Элементы конструкций. – Т. 1 [Текст] / под ред. проф. В. В. Горева. – М.: Высш. шк., 2004. – 552 с.
10. Металлические конструкции. Элементы конструкций. – Т. 3 [Текст] / под ред. проф. В. В. Горева. – М.: Высш. шк., 2004. – 275 с.

Надійшла до редколегії 02.12.2010.

Прийнята до друку 21.12.2010.

МОДЕЛЬ НОРМУВАННЯ РІВНІВ РЕНТАБЕЛЬНОСТІ В БУДІВНИЦТВІ

У статті розглянуто питання нормування рівнів економічної ефективності в залежності від співвідношень змінних (собівартості, постійних та змінних витрат, кошторисної вартості зданих робіт) для забезпечення контролю вартості та строків реалізації будівельних проектів.

Ключові слова: економічна ефективність, постійні та змінні витрати, кошторисна вартість

В статье изложены вопросы нормирования уровней экономической эффективности в зависимости от соотношений переменных (себестоимости, постоянных и переменных расходов, сметной стоимости сданных работ) для обеспечения контроля стоимости и сроков реализации строительных проектов.

Ключевые слова: экономическая эффективность, постоянные и переменные расходы, сметная стоимость

In the article the issues of setting norms for levels of economic efficiency depending on ratios of variables (prime price, constant and variable costs, estimate cost of works performed) for providing a control of cost and dates of realization of build projects.

Keywords: economic efficiency, constant and variable expenses, estimate cost

Актуальність проблеми

Внутрішнє та зовнішнє середовище будівельного підприємства визначають сукупність факторів, які впливають на успішність реалізації інвестиційних проектів. Якість реалізації проекту можна визначити як різницю між плановою та фактичною кошторисною вартістю об'єкта будівництва, тому вся інформація про зміни повинна постійно аналізуватися для оцінки ризику перевищення фінансового бюджету. Оскільки фактичні витрати під час будівництва можуть відхилятися від запланованих через ряд обставин, вся інформація щодо незапланованих змін повинна зводитися до одного – розрахунку ефективності інвестиційних витрат, які впливають на термін окупності інвестиційного проекту.

Аналіз останніх наукових досліджень і публікацій

Методи нормування рівнів економічної ефективності та співвідношень змінних для їх забезпечення розглядалися багатьма вченими: М. С. Абрютіною, Б. А. Анікіним, І. А. Бланком, Р. Брейлі, М. Вебером, Р. А. Радіоновим, Г. В. Савицькою, В. А. Швандаром, А. Д. Шерметом, Р. А. Фатхутдиновим та ін. Проте, незважаючи на достатність досліджень, такі моделі практично не застосовуються в управлінні будівництвом через специфіку та складність системи ціноутворення.

Мета роботи

Метою статті є розробка нормованої моделі

визначення рівнів економічної ефективності для вибору альтернативних управлінських рішень щодо досягнення оптимального результату під час реалізації проекту.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розвиток та рух є філософськи близькими поняттями, вперше цей факт відмітив російський вчений В. Данилов-Данил'ян. Видатний математик А. Пуанкаре першим ввів у математику поняття «стійкий рух», який, почавшись у точці деякої трубки, не виходить за її межі. На мові бізнесу стійкість означає збалансований економічний приріст підприємства, стабільність у майбутній перспективі. Як вказують Ю. Максимов, С. Митяков, стійкість підприємства можна визначити як його здатність розробляти та реалізовувати конкурентноздатні стратегії, відповідні темпам розвитку внутрішнього і світового ринків, здатність до інноваційного розвитку, росту конкурентноздатності та корпоративної структури [1].

Система управління розглядається не в сталому режимі, в статичі, а в динаміці. Це призводить до необхідності забезпечення стійкості системи й розгляду загальних положень динаміки систем керування. Як відмічає М. Павловський, «систему керування називають стійкою, коли невеликі збурення її координат і швидкостей викликають незначні відхилення системи від положення рівноваги, які з часом не зростають або зменшуються до нуля» [2, с. 86]. Він також дає таке визначення стійкості економічних систем: «система виробництва (економічна

система) називається стійкою, якщо невеликі збурення її призводять до незначного падіння виробництва, яке з часом не зростає; якщо ж воно з часом відновляється, то таку систему виробництва назвемо асимптотично стійкою» [2, с. 87].

Класична схема управління включає два компоненти: об'єкт управління (яким управляють) та суб'єкт управління (який управляє). Суб'єкт управління часто називають керуючим

органом чи органом управління. Управлінські рішення (управлінські сигнали) здатні впливати на поведінку об'єкта управління. В ході прийняття рішень аналізуються всі можливі альтернативи розвитку системи й вибираються найбільш рентабельні та найменш ризиковані.

Для того, щоб система керування чи система економіки була стійкою необхідний зворотний зв'язок (рис. 1).

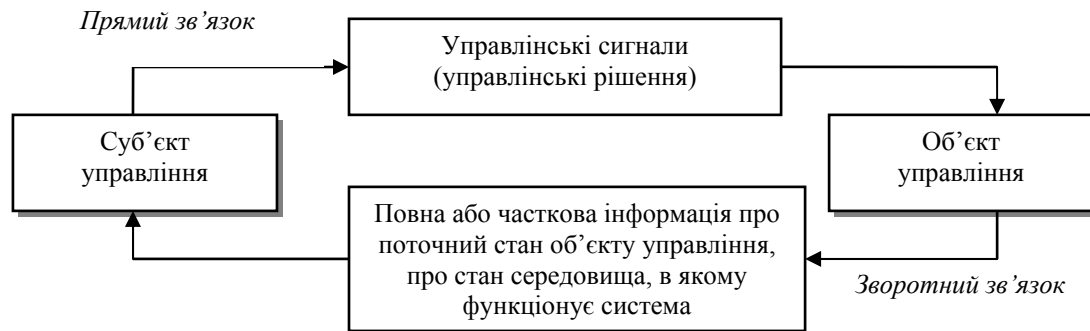


Рис. 1. Схематичне відображення стійкості керованої системи

В ході керування системами в разі відхилення від заданої траєкторії руху внаслідок збурення розглядається від'ємний та додатний зворотний зв'язок. При перевиконанні бюджету проекту утворюється від'ємний зворотній зв'язок. Регулюючі інвестиції, видача кредитів та випередження в розрахунках виступають підсилювачами відхилення, але в правильному напрямку. В даному випадку система залишається стійкою. Затримки в розрахунках призводять до запізнення виконання бюджету та нестійкості системи, відхиленню в неправильному напрямку, так званому додатному зв'язку. Відсутність зворотного зв'язку також призводить до нестійкості системи.

Під час реалізації проектів контролюватися повинен не результат, а процес його досягнення. Як відмічається в роботі І. Мазура, В. Шапіро: «доход от проекта является случайной, а не детерминированной величиной»; «неопределенность конечного результата инвестиционных вложений является универсальным законом экономики» [3, с. 677; с. 680]. Корегування параметрів проекту потрібне для запобігання негативних наслідків. «Бажання знизити бюджетні витрати може затримати виконання проекту в цілому або погіршити якість проектного продукту, що набагато гірше, ніж перевитрати бюджету» [3, с. 265].

В діяльності підприємства джерела можливих стабільних доходів, інвестицій, кредитів можуть з'являтися, змінюватися або зовсім

зникати. Крім того, партнери можуть стрибкоподібно змінювати обсяги та асортимент продукції, що постачається. Такі дії призводять до нерівномірного впливу зовнішнього середовища на окреме підприємство. Як вказує А. Колобов, саме тому в таких випадках треба говорити про формування стійкості підприємства [4].

Вірогідності (стохастичні) методи дослідження *стійкості результативних*, критеріальних показників по відношенню до варіювання початкових параметрів (розподілу вірогідностей, областей зміни величин та ін.) аналізують чутливість проекту. Метод Монте-Карло дозволяє розподілити вірогідності розподілу можливих результатів проекту. Як правило, функцію розподілу кожної випадкової змінної приймають за нормальним законом. Для її завдання визначають математичне очікування (m_x) та дисперсію (σ_x).

Аналітик повинен приблизно визначити вид вірогідності з двох категорій розподілу: симетричних (*нормальне* (закон Гаусса), *постійне* (рівномірне, трикутне)) та несиметричне (*кроковий розподіл*). На жаль, трикутний та кроковий розподіл не розглядаються у вітчизняній літературі. В рамках цієї моделі проводиться велике число ітерацій, що дозволяють встановити, як себе веде результативний показник (в яких межах коливається, який має розподіл) при підстановці в модель різноманітних змінних відповідно до заданого розподілу [3].

В якості результативного показника частіше

всього використовуються показники ефективності. Для будівельних проектів таким показником є рентабельність, доходність проекту, який значною мірою залежить від постійного контролю рівня витрат на виконання робіт (кошторисної вартості)

$$P = \frac{Pr}{C_3}, \quad (1)$$

де Pr – прибуток; C_3 – собівартість зданих будівельно-монтажних робіт.

Як відомо, величина прибутку залежить від обсягів зданої будівельної продукції та рівня собівартості. Оскільки в будівництві норми витрат встановлені тільки на прямі витрати, постійно виникає проблема планування непрямих витрат під час реалізації проектів. В промисловості непрямі витрати спочатку формуються в центрах відповідальності, а потім розподіляються між окремими видами продукції в залежності від бази розподілу. В будівництві кожен об'єкт є унікальним, тому використання інформації про непрямі витрати за попередні періоди діяльності з подальшим розподілом на заплановані обсяги робіт, буде носити абсолютно імовірнісну прогнозу величину.

Також є доречним розподіл витрат на змінні та постійні для складання гнучких кошторисів, які дають змогу оперативно обчислювати кошториси та перераховувати планові витрати на фактичні для різних варіантів обсягу виконаних робіт.

В управлінні існує вираз для закону «масового виробництва», який виглядає наступним чином:

$$B = Z_o + \frac{P}{O_B},$$

де B – собівартість одиниці продукції (питома собівартість); Z_o – змінні витрати на одиницю продукції; P – постійні витрати, що відносяться на дану продукцію; O_B – обсяг випуску продукції (кількість одиниць продукції).

Зміна обсягів виконаних будівельно-монтажних робіт також призводить до відносного зменшення (при зростанні) чи збільшення (при скороченні) постійних витрат. Постійні витрати не можуть бути прямо віднесені на собівартість будівельних об'єктів.

Питома вага постійних витрат для кожної будівельної компанії є різною. На це впливає багато організаційно-технологічних факторів.

Умовна економія від зниження постійних витрат у відсотках визначається за формулою:

$$E = \frac{T_{O_{БМР}} \cdot ПВ}{100},$$

де $T_{O_{БМР}}$ – темп приросту обсягу будівельно-монтажних робіт; $ПВ$ – абсолютна величина постійних витрат в звітному періоді.

Якщо раніше собівартість будівельно-монтажних робіт складалася з прямих витрат та накладних розходів, то зараз за вимогами міжнародних стандартів ведення бухгалтерського обліку, її розрахунок надто ускладнився через виділення цілої низки витрат в окремі статті. Накладні витрати включали затрати по обслуговуванню робочих, організації та виробництву робіт, адміністративно-господарські витрати та інші витрати. Зараз їх розрахунок в будівництві здійснюється за різними алгоритмами, тому велика кількість показників витрат ускладнює аналіз варіантів управлінських рішень щодо зміни рівня прибутковості, успішності реалізації проекту.

Серед робіт вітчизняних та зарубіжних вчених та спеціалістів в області оптимізації економічної ефективності функціонування підприємств та корпорацій, виділяються роботи А. Денисова та С. Жданова [5], в яких була розроблена еталона універсальна нормована модель прибутковості (збитковості) випуску продукції. Ця модель дозволяє в залежності від співвідношень постійних та змінних витрат, витрат та відносної ціни визначити фіксований рівень прибутковості чи збитковості в частках чи відсотках до собівартості.

Проте ця модель не може використовуватися в управлінні будівництвом через неможливість використання базової формули для розрахунків [6, с. 58]:

$$K_p \cdot Ц = (KZ_1 + П) + Н,$$

де K_p – обсяг реалізованої продукції, платежі за яку поступають в поточному періоді; $Ц$ – ціна одиниці продукції; K – кількість продукції, що виготовляється в поточному періоді; Z_1 – змінні витрати; $П$ – постійні витрати на продукцію, що розглядається в аналізованому періоді; $Н$ – сума податків, які треба сплатити в цьому періоді.

Оскільки система ціноутворення в будівництві суттєво відрізняється від калькулювання ціни продукції в промисловості, це потребує перегляду та вдосконалення існуючої моделі.

В результаті проведених досліджень було отримано закономірність зміни прибутковості (P) в десятих долях від зміни співвідношення постійних (B_n) та змінних витрат (B_3) та кошторисної вартості (K_B)

$$\frac{B_n}{B_3} = \frac{K_B}{B_3} \left(\frac{1}{1+P} \right) - 1. \quad (2)$$

З формули (2) можемо знайти вираз для рентабельності:

$$P = \frac{K_v}{B_3} \cdot \frac{1}{1 + \frac{B_n}{B_3}} - 1. \quad (3)$$

Оскільки дані про витрати акумулюються з метою бухгалтерського контролю, а не для прийняття рішень, то правильно виділити постійні та змінні витрати за короткий термін практично неможливо. Спеціальний аналіз витрат потребує часу та додаткових грошей, крім того, він може дати неправильні результати через брак інформації. Саме тому розділення витрат на постійні та змінні є умовним. Стаття витрат може включати як постійні, так й змінні витрати. Це стосується насамперед витрат на оплату праці, матеріальних витрат, амортизації.

В кошторисній документації є чітке розділення витрат на прямі, що розраховуються в локальних кошторисах за допомогою нормативної документації в будівництві та непрямі, які розраховуються та виділяються окремо в договірній ціні та зведеному кошторисному розрахунку. Як відомо, прямі витрати в будівництві включають затрати на придбання та доставку матеріалів, деталей і конструкцій; основну заробітну плату робочих; витрати по експлуатації будівельних машин та механізмів; інші прямі витрати. Непрямі витрати включають загально-виробничі витрати; витрати на тимчасові будівлі та споруди; сезонні дорожчання, адміністративні витрати; кошти на покриття ризику; інфляційні втрати; проектні та дослідницькі роботи; витрати на утримання служби замовника та авторський нагляд; інші витрати. Відносити до непрямих витрат кошторисний прибуток, як цього вимагає ДБН 1.1-1-2000, було б недоречним, оскільки формула (3) втрачає свій сенс.

Якщо розділення витрат на прямі та непрямі не потребує додаткового часу, тоді формулу (3) можна записати у такому вигляді:

$$P = \frac{K_v}{ПВ} \cdot \frac{1}{1 + \frac{НВ}{ПВ}} - 1, \quad (4)$$

де *ПВ* – прямі витрати на виконання будівельно-монтажних робіт; *НВ* – непрямі витрати.

Якщо інвестор займається капіталовкладеннями на початковому етапі (наприклад, приватні інвестори – фізичні особи, які купують квартиру на стадії нульового циклу), то за аналізований період ціни на робочу силу, матеріали можуть зрости, при стабільних цінах це призведе до зниження прибутку. Зростання ж ефе-

ктивності може відбутися в тому числі й за рахунок зниження постійних витрат через збільшення обсягів виробництва та інших заходів.

Розподіл непрямих витрат може змінюватися періодично. Тому співвідношення непрямих та прямих витрат повинне постійно переглядатися. Розрахунок загально-виробничих, адміністративних витрат можливий з використанням коефіцієнтів переходу від нормативно-розрахункової трудомісткості робіт в прямих витратах до трудомісткості робітників, заробітна плата яких враховується в загально-виробничих витратах.

Висновки

Отже, існуючий рівень управління будівельними підприємствами не відповідає сучасним умовам оперативності та обґрунтованості схвалюваних рішень. В роботі розроблено модель, яка дозволяє на основі фіксованого рівня ефективності знаходити аналітичні та графічні функції від основних змінних для їх оптимального поєднання. Таке планування рентабельності під час реалізації проектів дає уявлення про успішність комплексу заходів, що визначають тактичну та стратегічну лінію поведінки учасників інвестиційного процесу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Максимов, Ю. М. Устойчивое развитие социально-экономических систем на основе инновационных преобразований: основные определения [Текст] / Ю. М. Максимов, С. Н. Митяков // Инновации. – 2010. – № 1. – С. 54-57.
2. Павловський, М. А. Суспільство та економіка перехідного періоду: Шлях України [Текст] / М. А. Павловський. – К.: Техніка, 1997. – 152 с.
3. Мазур, И. И. Управление проектами [Текст]: справ. пособие / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро. – М.: Высш. шк., 2001. – 875 с.
4. Колобов, А. А. Менеджмент высоких технологий. Интегрированные производственно-корпоративные структуры: организация, экономика, управление, проектирование, эффективность, устойчивость [Текст] / А. А. Колобов. – М.: Экзамен, 2008. – 621 с.
5. Кучеренко, В. Р. Управління діловими проектами [Текст]: навчальний посібник / В. Р. Кучеренко, О. С. Мракітан. – К.: Центр навчальної літератури, 2005. – 280 с.
6. Денисов, А. Ю. Экономическое управление предприятием и корпорацией [Текст] / А. Ю. Денисов, С. А. Жданов. – М.: Дело и сервис, 2002. – 416 с.

Надійшла до редколегії 30.12.2010.

Прийнята до друку 24.01.2011.

ОЦІНКА ВАЖЛИВОСТІ ВРАХУВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИСТЕМИ «СПОРУДА–ГРУНТОВИЙ МАСИВ» ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЇЇ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

Розглядаються різні види нелінійності, які притаманні системі «споруда–грунтовий масив», та з використанням програмного комплексу ЛІРА досліджується їх вплив на результати скінченно-елементного аналізу залізобетонних конструкцій, що взаємодіють із ґрунтом.

Ключові слова: система «споруда–грунтовий масив», нелінійність

Рассматриваются различные виды нелинейности, свойственные системе «сооружение–грунтовый массив», и с использованием программного комплекса ЛИРА исследуется их влияние на результаты конечно-элементного анализа железобетонных конструкций, взаимодействующих с грунтом.

Ключевые слова: система «сооружение–грунтовый массив», нелинейность

The article is devoted to consideration of soil and reinforced concrete physical nonlinearity, structural nonlinearity and genetic nonlinearity at numerical simulation of system «structure–soil massif» by using the structural engineering analysis software LIRA.

Key words: system «structure–soil massif», nonlinearity

Постановка проблеми

На сьогодні все більшої актуальності набуває розрахунок споруд з урахуванням взаємодії з ґрунтовим масивом, оскільки це дозволяє більш точно визначити параметри напружено-деформованого стану як конструкції, так і ґрунтового масиву. Сприяє цьому процесу стрімкий розвиток комп'ютерної техніки та обчислювальних комплексів на їх основі.

Також при цьому на достовірність отриманих результатів буде впливати здатність обчислювального комплексу враховувати різного роду нелінійності і, таким чином, більш точно визначати особливості поведінки системи «споруда–грунтовий масив», зокрема на стадіях, що передують руйнуванню.

Розрізняють такі основні види нелінійних задач [1, 2].

Фізично нелінійні задачі. До них належать задачі, в яких закони деформування матеріалів конструкцій не відповідають закону Гука, тобто залежність між напруженнями та деформаціями є нелінійною. Закони деформування можуть бути симетричними та несиметричними – з різними границями опору розтягу та стиску.

Геометрично нелінійні задачі. В цих задачах відсутня пряма пропорційність між деформаціями та переміщеннями. Це дозволяє враховувати вплив зміни форми та розмірів конструкції на її напружено-деформований стан.

Конструктивно нелінійні задачі (контактні задачі). Задачі цього типу враховують можливу зміну розрахункової схеми в процесі де-

формування конструкції. Наприклад, можуть виникати нові зв'язки або, навпаки, руйнуватись старі.

Генетично нелінійні задачі. Ці задачі містять в собі нелінійності, пов'язані з накопиченням напружень та деформацій в процесі зміни конструкції при її створенні. Цей тип нелінійності можна розглядати, як варіант конструктивної нелінійності, оскільки розглядаються системи з розрахунковою схемою, що змінюється, але ці зміни відбуваються не внаслідок впливу навантажень, а цілеспрямовано, за задумом проектувальника.

Всі згадані вище види нелінійності притаманні системі «споруда–грунтовий масив», яка розглядається при розрахунку конструкцій, що взаємодіють з ґрунтовим масивом. Фізична нелінійність обумовлена тим, що більшість таких конструкцій є залізобетонними, а залізобетон вже на ранніх стадіях деформування проявляє нелінійні властивості. Також нелінійні властивості проявляє ґрунт при досить великих навантаженнях. Конструктивна нелінійність наявна завдяки можливості порушення контакту між конструкцією і ґрунтовим масивом в процесі деформування (особливо для гнучких конструкцій). Також в цих задачах необхідне врахування генетичної нелінійності, а саме врахування вже існуючого напружено-деформованого стану ґрунтового масиву ще до початку зведення споруди. І крім цього, в найскладнішому випадку, якщо споруда розташована на зсувонебезпечному схилі, необхідно також враховувати можливі зсувні процеси, тобто зміну геометрії

розрахункової схеми, а отже, геометричну нелінійність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В результаті аналізу існуючої наукової літератури, присвяченої врахуванню різних типів нелінійності при розрахунку конструкцій, що взаємодіють з ґрунтом, було встановлено, що в основному дослідження стосувались фізичної нелінійності, пов'язаної з нелінійністю залізобетону і ґрунту [3–5]. При цьому іншим типам нелінійності увага не приділялась, але ж виявилось, що нехтування ними може призвести до результатів, що зовсім не відповідають реальній роботі конструкції [6].

Мета досліджень

Порівняти результати лінійного та нелінійного розрахунків конструкцій, що взаємодіють з ґрунтом. Оцінити ступінь впливу кожного типу нелінійності на результати розрахунків.

Викладення основного матеріалу досліджень

В якості об'єкта досліджень були обрані залізобетонні балки різної гнучкості на ґрунтовій основі. Гнучкість балок оцінювалась показником гнучкості, що визначався за відомою формулою [3]:

$$t \approx 10 \frac{El^3}{E_k h^3}, \quad (1)$$

де E та E_k – модуль деформації ґрунту і матеріалу конструкції; l та h – довжина і товщина конструкції. Характеристики балок: довжина $l = 5$ м, висота перерізу $h = 0,5$ м, модуль деформації $E_k = 27106$ кН/м² (бетон класу В20). Показник гнучкості варіювався в залежності від модуля деформації ґрунту E , з яким контактує балка. В залежності від показника гнучкості під час досліджень були виділені такі категорії балок: абсолютно гнучкі, балки скінченої жорсткості та абсолютно жорсткі. Балки завантажувались зосередженим і рівномірно розподіленим навантаженням. Розрахункові схеми балок приведені на рис. 1.

Розрахунок проводився методом скінчених елементів (МСЕ) із застосуванням ПК «Ліра» [7] в лінійній постановці та з урахуванням нелінійності: фізичної, конструктивної і генетичної. Моделювання проводилось згідно з рекомендаціями розробленої методики спільного статичного розрахунку системи «споруда–ґрунтовий масив» [8]. Балки моделювались

стрижневими скінченими елементами (СЕ), а ґрунтовий масив – пластинчастими СЕ.

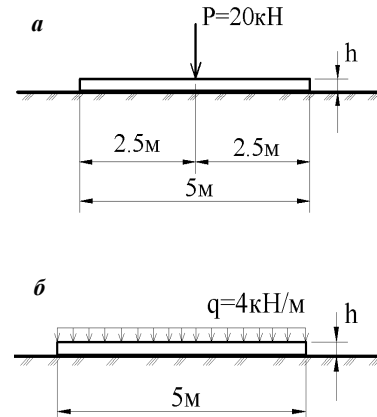


Рис. 1. Розрахункові схеми балок на ґрунтовій основі: а) навантаження у вигляді зосередженої сили; б) рівномірно розподілене навантаження

Оцінка впливу фізичної нелінійності залізобетону і ґрунту

Залізобетонна балка і ґрунтовий масив при цьому моделювались в ПК «Ліра» за допомогою фізично нелінійних СЕ [9], властивості яких змінюються згідно з заданим законом деформування матеріалу (діаграма $\sigma - \varepsilon$). Особливості залізобетону в ПК «Ліра» реалізуються, перш за все, через фізичні співвідношення, що зв'язують напруження і деформації бетону (основного матеріалу) та сталі (армуючого матеріалу) (рис. 2).



Рис. 2. Вибір нелінійного закону деформування матеріалу в ПК «Ліра»

Критерієм міцності при застосуванні даних моделей матеріалів прийнято досягнення деформаціями бетону та арматури певних граничних значень. Для стрижневих елементів матриця жорсткості на кожному кроці будується на основі функцій, що задовольняють однорідним рівнянням рівноваги при інтегральних жорсткостях попереднього кроку. Інтегральні жорсткості

кості визначаються на кожному кроці для перерізів, що розташовані в точках інтегрування по довжині стрижня, за значеннями модулів Юнга в дискретних точках поперечного перерізу відповідно із заданим користувачем подрібненням (рис. 3).

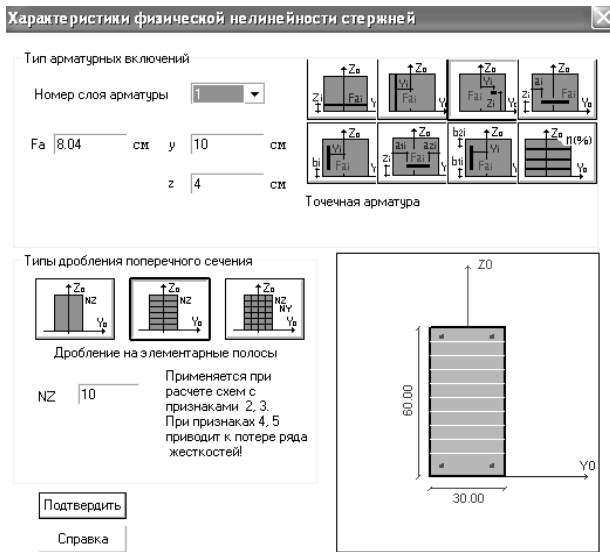


Рис. 3. Вибір типу арматурних включень та подрібнення поперечного перерізу в ПК «ЛІРА»

В стрижневих скінченних елементах визначаються такі інтегральні жорсткості:

$$\begin{aligned}
 EF &= \int_F E_6 dF + \int_{F_a} E_a dF_a, \\
 EI_y &= \int_F E_6 z^2 dF + \int_{F_a} E_a z^2 dF_a, \\
 EI_z &= \int_F E_6 y^2 dF + \int_{F_a} E_a y^2 dF_a, \\
 ES_y &= \int_F E_6 z dF + \int_{F_a} E_a z dF_a, \\
 ES_z &= \int_F E_6 y dF + \int_{F_a} E_a y dF_a, \\
 ES_{yz} &= \int_F E_6 yz dF + \int_{F_a} E_a yz dF_a,
 \end{aligned} \quad (2)$$

де E_6 – значення модуля Юнга в точці для основного матеріалу перерізу (бетону); E_a – значення модуля Юнга в точці для армуючого матеріалу. Поточні значення модулів Юнга в точці визначаються за обраною залежністю σ - ε з пропонованого набору бібліотеки законів деформування. Узагальнена деформація в точці визначається з гіпотези плоских перерізів:

$$\varepsilon = \frac{du}{dx} - y \frac{d^2v}{dx^2} - z \frac{d^2w}{dx^2}. \quad (3)$$

Міцність арматури в елементі з тріщинами визначається з урахуванням нагельного ефекту, при цьому фіксується плинність, розриви або зминання (зріз) арматури.

Моделювання односторонньої роботи ґрунту на стиск з урахуванням зсуву за схемою плоскої деформації здійснюється у відповідності із законом Кулона-Мора для максимального допустимого напруження:

$$\sigma_1 - \sigma_2 \leq -\sin(\varphi) \cdot (\sigma_1 + \sigma_2) + 2c \cdot \cos(\varphi), \quad (4)$$

де $\sigma_1 \geq \sigma_2$ – головні напруження, c – питоме зчеплення ґрунту, φ – кут внутрішнього тертя.

Навантаження на балку покроково збільшувалось аж до руйнування балки. Криві деформування залізобетонних балок з різним процентом армування ($\mu = 0,63\%$, $\mu = 1,26\%$) при лінійному і нелінійному розрахунках наведено на рис. 4. Отримані в результаті скінченно-елементного аналізу епюри згинальних моментів та прогинів (рис. 5) свідчать про те, що різниця у результатах лінійного і нелінійного розрахунків залізобетонних балок на ґрунтовій основі значна. Вона позначається як на величинах внутрішніх зусиль (зокрема, згинальних моментів), так і на величинах прогинів. Причому, зі збільшенням рівня навантаження різниця в значеннях, отриманих при лінійному і нелінійному розрахунках теж збільшується. У деяких випадках змінюється навіть характер епюр. Отримані результати підтверджуються результатами досліджень, приведеними в [4].

Оцінка впливу конструктивної нелінійності

Найважливішою особливістю задач з конструктивною нелінійністю є наявність в системі односторонніх зв'язків, тобто зв'язків, що працюють або тільки на розтяг, або тільки на стиск (контактні задачі). До класу контактних задач слід віднести і задачі розрахунку конструкцій, що взаємодіють з ґрунтовим масивом.

Контактні елементи-стрижні (СЕ № 262), передбачені в ПК «ЛІРА», є двовузловими СЕ одностороннього (що сприймає або розтяг, або стиск) пружного зв'язку між вузлами. Кожен контактний стрижень, який додається між вузлом СЕ-моделі балки і вузлом СЕ-моделі ґрунтового масиву в системі «споруда-ґрунтовий масив» працює тільки на стиск і при виникненні розтягувальних напружень (у випадку відриву конструкції від ґрунту) виключається з роботи. Однак, слід при цьому зауважити, що не завжди задачі такого типу розв'язуються з урахуванням порушення контакту між конструкцією та ґрунтом. Але ж урахування цього факто-

ру дозволяє наблизити результати розрахунку до адекватного відтворення справжньої роботи конструкції.

Аналіз результатів розрахунку (табл. 1) свідчить про те, що врахування даного типу нелі-

нійності є актуальним для гнучких конструкцій. Неврахування можливого відриву конструкції від поверхні ґрунту дає помилку в розрахунку 11,2 % у порівнянні з експериментальними даними, приведеними в науковій літературі [3, 4].

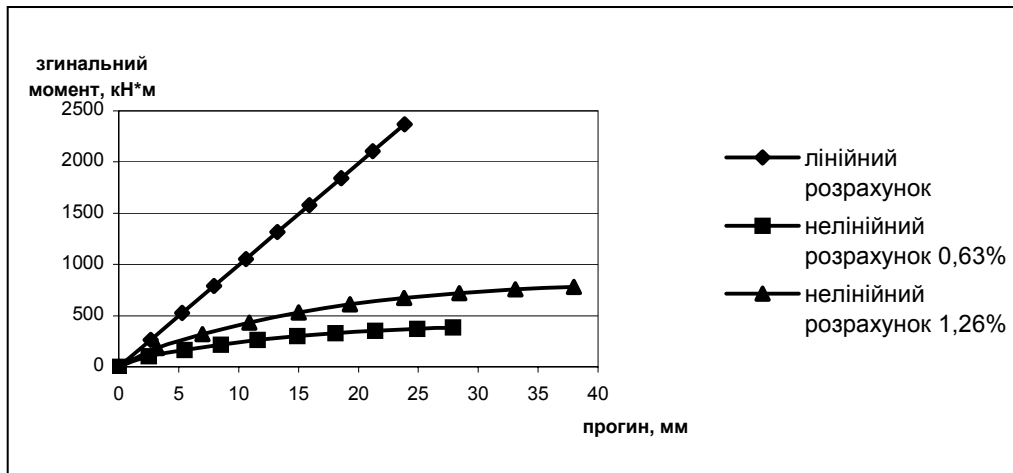


Рис. 4. Криві деформування залізобетонних балок під дією рівномірно розподіленого навантаження

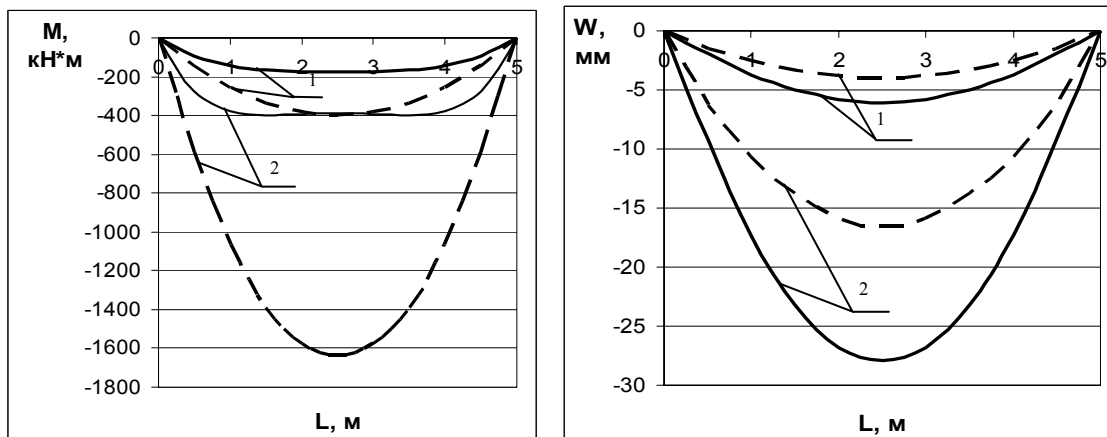


Рис. 5. Епюри згинальних моментів і прогинів для гнучкої балки на ґрунтовій основі ($\mu=0,63\%$) під дією рівномірно розподіленого навантаження: 1 – $q=757$ кН/м, 2 – $q=3115$ кН/м (лінійний розрахунок – штрихова лінія, нелінійний – суцільна)

Таблиця 1

Результати розрахунку балок на ґрунтовій основі з урахуванням та без урахування конструктивної нелінійності

Умови моделювання	Значення згинального моменту в середині балки, кН·м					
	абсолютно гнучка балка			абсолютно жорстка балка		
	ПК Ліра	експеримент	розходження, %	ПК Ліра	експеримент	розходження, %
без урахування конструктивної нелінійності	1,90	2,14	11,2	16,15	16,00	0,9
з урахуванням конструктивної нелінійності	2,11		1,4	15,70		1,9

Оцінка впливу генетичної нелінійності

Під час розрахунку конструкцій, що взаємодіють з ґрунтом, дуже важливим є врахування такого фактору як технологія зведення, тобто спосіб зведення.

Цей фактор має великий вплив на величину тиску ґрунту, як основного навантаження на огорожувальні конструкції, а також на величини напружень і деформацій самої споруди.

Відомі різні способи зведення заглиблених та підземних споруд: у відкритих котлованах, метод «опускного колодезя», «стіна в ґрунті» і т.ін.

Спосіб зведення визначає тип ґрунтових умов.

За впливом ґрунтового середовища на умови спільної роботи зі спорудою виділяють два принципово різні типи ґрунтових умов: *тип 1* – передача на споруду бічного тиску від ґрунтів *порушеної структури* (ґрунтів засипки); *тип 2* – робота споруди в ґрунтовому масиві *непорушеної структури* [4].

При розрахунку балки на ґрунтовій основі маємо тип 2 ґрунтових умов, тобто, ґрунтовий масив ще до початку зведення на ньому конструкції вже перебуває в певному напружено-деформованому стані (від дії власної ваги ґрунту).

В цьому випадку процес СЕ-моделювання має проводитись поетапно. На першому етапі обов'язково має бути змодельований тільки ґрунтовий масив під дією навантаження від власної ваги ґрунту. Моделювання всіх інших конструкцій, що зводяться на даному ґрунтовому масиві, має відбуватись вже на наступних етапах.

Для поетапного моделювання в ПК «Ліра» застосовується процесор МОНТАЖ, який дозволяє моделювати процес зведення споруди, коли на різних етапах з'являються (монтуються) або видаляються (демонтуються) елементи [8, 9].

Неврахування генетичної нелінійності стає особливо відчутним при моделюванні системи «споруда–ґрунтовий масив» з урахуванням фізичної нелінійності ґрунту (рис. 6). Це пов'язане з тим, що нелінійні скінченні елементи ґрунту є дуже чутливими до початкових напружень, що діють у них (зазвичай це напруження від власної ваги ґрунту). І якщо в цих елементах не виконується умова Кулона–Мора (4), то вони вважаються зруйнованими при зсуві.

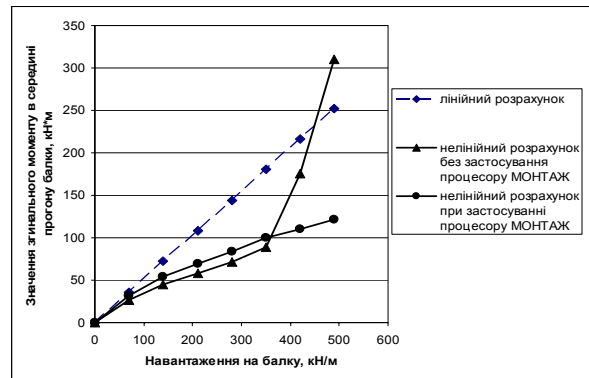


Рис. 6. Результати лінійного та нелінійного розрахунків залізобетонної балки на ґрунтовій основі під дією рівномірно розподіленого навантаження

Висновки та перспективи подальших досліджень

За результатами проведених досліджень встановлено, наскільки важливим є врахування нелінійної поведінки системи «споруда–ґрунтовий масив» при визначенні її напружено-деформованого стану:

1. При врахуванні фізично нелінійних властивостей залізобетону та ґрунту під час розрахунку конструкцій спостерігається трансформація епюр внутрішніх зусиль. Згинальні моменти при цьому в 3...4 рази зменшуються, а прогини в 2...5 разів збільшуються.
2. Врахування можливості порушення контакту між конструкцією та ґрунтовим масивом (врахування конструктивної нелінійності) дозволяє отримати на 11 % точніший результат, ніж без урахування цього фактору. Це є особливо відчутним для гнучких конструкцій.
3. Ігнорування поетапності створення розрахункової схеми (генетичної нелінійності), коли на першому етапі моделюється тільки ґрунтовий масив з певним вже існуючим напружено-деформованим станом, призводить до значних помилок при розрахунку залізобетонних конструкцій з урахуванням фізично нелінійних властивостей залізобетону та ґрунту.
4. Розрахунок залізобетонних конструкцій споруд, що взаємодіють з ґрунтовим масивом, в нелінійній постановці дозволяє отримувати результати, які є більш адекватними реальній роботі таких конструкцій. В зв'язку з цим перспективними є дослідження взаємодії більш складних залізобетонних конструкцій різних типів з ґрунтовим масивом (в тому числі протизсувних) з урахуванням різних видів нелінійності.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – К.: Сталь, 2002. – 600 с.
2. Лукаш, П. А. Основы нелинейной строительной механики [Текст] / П. А. Лукаш. – М.: Стройиздат, 1978. – 204 с.
3. Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании [Текст] / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 679 с.
4. Соломин, В. И. Методы расчета и оптимальное проектирование железобетонных фундаментных конструкций [Текст] / В. И. Соломин, С. Б. Шматков. – М.: Стройиздат, 1986. – 208 с.
5. Савицкий, М. В. Дослідження роботи конструкцій, що взаємодіють з ґрунтом, з урахуванням фізичної нелінійності залізобетону [Текст] / М. В. Савицький, Г. Е. Гуслиста // Строительство. Материаловедение. Машиностроение: сб. науч. тр. ПГАСА. – Вып. 37: «Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения». – Д.: ПГАСА, 2006. – С. 418-425.
6. Гуслиста, Г. Урахування різних видів нелінійностей при комп'ютерному моделюванні заглиблених споруд [Текст] / Г. Гуслиста, М. Савицький // Теоретичні основи будівництва: зб. наук. пр. ПДАБА та Варшавського техн. ун-ту. – Вип. 15. – Варшава, 2007. – С. 225-230.
7. ЛИРА® 9.4. Руководство пользователя. Основы [Текст] : учеб. пособие / Е. Б. Стрелецкий, В. Е. Боговис, Ю. В. Гензерский; под ред. А. С. Городецкого. – К.: ФАКТ, 2008. – 164 с.
8. Гуслиста, Г. Е. Методика спільного статичного розрахунку системи «споруда–ґрунтовий масив» для будівель, розташованих на схилах [Текст] / Г. Е. Гуслиста // Строительство. Материаловедение. Машиностроение: сб. науч. тр. ПГАСА. – Вып. 56: «Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения». – Д.: ПГАСА, 2010. – С. 128-137.
9. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А. С. Городецкий, И. Д. Евзоров. – К.: Факт, 2005. – 344 с.

Поступила в редколлегию 17.01.2011.

Принята к печати 20.01.2011.

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПАКЕТА AutoCAD 2009 ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРИЛОЖЕНИИ К СТРОИТЕЛЬНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

У статті розглядаються можливості пакету AutoCAD 2009 в побудові тривимірних твердотільних моделей і аналізуються оптимальні способи проектування для будівельного креслення. Наведено приклади і обґрунтування вибору способу побудови твердотільної моделі.

Ключові слова: тривимірне моделювання, будівельне моделювання, твердотільні моделі

В статье рассматриваются возможности пакета AutoCAD 2009 в построении трехмерных твердотельных моделей и анализируются оптимальные способы проектирования для строительного черчения. Приведены примеры и обоснования выбора способа построения твердотельной модели.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, строительное моделирование, твердотельные модели

AutoCAD 2009 possibilities of the 3D solid-body modeling are described in the article. The optimum design methods for construction drawing tasks are analyzed. The choice of methods for 3D solid-body drawing is proved by samples.

Keywords: three-dimensional design, construction drawing, solid-body drawing

Введение

С развитием информационных технологий появились новые возможности их использования в процессе проектирования.

Применение пакета AutoCAD 2009 в процессе проектирования позволяет достичь повышения производительности и качества труда. При этом возможности пакета реализованы таким образом, что:

- 1) проектировщик работает как с графической, так и с текстовой информацией;
- 2) возможно многократное редактирование работы без существенных потерь времени и усилий работника;
- 3) система AutoCAD дает возможность проектировщику пользоваться возможностями пакета в различных режимах: обучающем, контролирующем, консультирующем и подсказывающем;
- 4) качественно реализованная визуализация результатов работы развивает пространственное воображение и мышление [1].

Возможности пакета позволяют создавать двумерные объекты и пространственные трехмерные модели, с которых методами проектирования можно легко получать плоские чертежи. В процессе проектирования различных объектов большая часть графических работ приходится на формирование каркасных, поверхностных и твердотельных моделей. Отображение объектов на экране дисплея происходит в реальном времени, что в свою очередь

облегчает представление о конечном результате работы. Как правило, по завершении работы над моделью, а иногда и в процессе проектирования, требуется максимально правдоподобное изображение сконструированного объекта. Данный подход в последнее время получил широкое распространение благодаря формированию в пакете AutoCAD сложных трехмерных объектов [2].

Постановка проблемы

Кроме AutoCADa, существуют еще некоторые другие программные комплексы, которые могут применяться для выполнения задач строительного проектирования, связанных с созданием трехмерных моделей проектируемых объектов. Ознакомление с этими пакетами показало, что все они, кроме явных преимуществ, имеют определенные недостатки, которые влияют на процесс проектирования, а именно – не позволяют видеть весь объем работы над проектом, затрудняют работу с систематизацией ввода данных об объекте, имеют более высокую стоимость, загромождают лишней графической информацией поле работы, а также усложняют выполнение отдельных частей проекта, что значительно сужает область их применения. Для упрощения использования пакетов САПР следует использовать методики, позволяющие облегчить использование пакетов проектирования и уменьшающие трудозатраты в работе над проектом, что необходимо для ра-

боты со строительными проектами, создание и редактирование которых затруднительно без оптимальных навыков использования работы САПР.

Анализ последних источников

Использование пакета AutoCAD для обучения строительному черчению, инженерной графике и строительному черчению рассматривается в современной литературе таких авторов, как И. Полещук, Н. Карпушкина, Н. Нартов, Д. Якунин, А. Уваров, А. Хейфец, в учебнике по черчению под редакцией Преображенского и др. Однако проблема использования AutoCAD при усвоении альтернативных, но зачастую более оптимальных и менее трудоемких способов построения моделей и плоских чертежей существует и связана в первую очередь с тем, что проектировщиками применяется самый простой и легкий метод моделирования – сочетание твердотельных примитивов, и игнорируются такие способы, как «вращение» и «выдавливание». [3,4]

Цель исследования

Необходимо рассмотреть способы использования возможностей пакета AutoCAD для твердотельного трехмерного моделирования, используя:

- гибкость и адаптивность к различным способам построения;
- возможность реализации многоуровневой системы подготовки пользователей;
- планирование и стимулирование самостоятельной познавательной деятельности пользователей.

Результаты исследования

Формирование трехмерных объектов.

Создание трехмерных моделей – более трудоемкий процесс, чем построение их проекций на плоскости, но при этом трехмерное моделирование обладает рядом преимуществ, среди которых:

- возможность рассмотрения моделей из любой точки;
- автоматическая генерация основных и дополнительных видов на плоскости;
- построение сечений на плоскости;
- проверка взаимодействий;
- экспорт модели в анимационные приложения;
- инженерный анализ;

Извлечение характеристик, необходимых для производства (рис. 1).

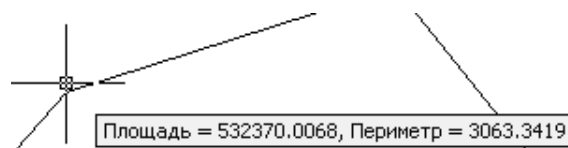


Рис. 1. Характеристики для производства

AutoCAD поддерживает три типа каркасных моделей: каркасные, поверхностные и твердотельные. Каждый из них обладает определенными достоинствами и недостатками. Для моделей каждого типа существует своя технология создания и редактирования.

Поскольку перечисленным типам моделирования присущи собственные методы создания пространственных моделей и способы редактирования, не рекомендуется смешивать в одном объекте несколько типов. AutoCAD предоставляет ограниченные возможности преобразования тел в поверхности и поверхностей в каркасные модели, однако обратные преобразования недопустимы.

Покажем использование команды «выдавливание» (рис. 2) для построения твердотельной модели такого распространенного объекта строительного черчения как ребристого пролетного строения.

1. В «модели» чертим рамку, грань будущего объекта.
2. Выбираем нужный вид.
3. Команда «выдавить», указываем направление и глубину выдавливания.
4. Результат.

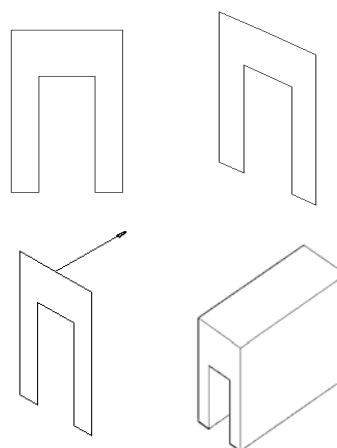


Рис. 2. Команда «выдавливание»

Кроме того, программный комплекс AutoCAD позволяет создавать детали интерьера, что позволяет показать не только внешний вид проектируемого здания заказчику, но и отдельные части внутренних помещений.

1. Бильярдный стол, шары, два кия – все выполнено в AutoCAD (рис. 3).

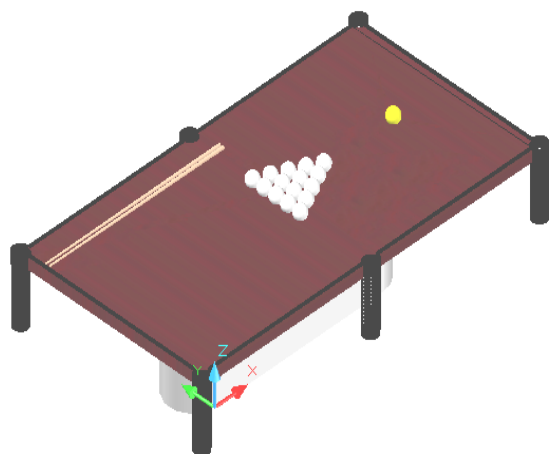


Рис. 3. Бильярдный стол.

2. Штанга и шведская стенка (рис. 4).

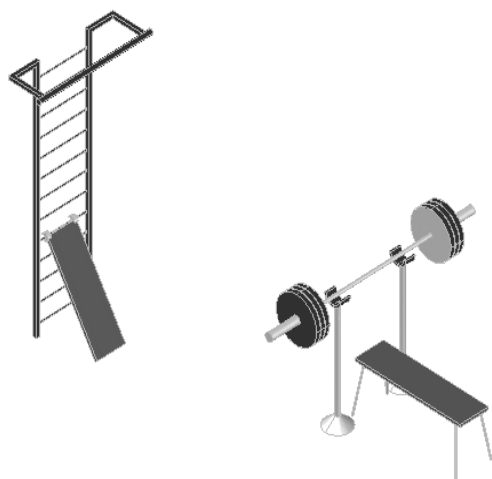


Рис. 4. Спортивный комплекс

В программном комплексе AutoCAD 2009 заложены разные типы материалов, используемые при визуализации для получения более красочной картины. Кроме того, хороший результат дает использование точечного источника света – тени придают реалистичность и завершенность деталям интерьера.

3. Винтовая лестница.

С помощью команд «Выдавливание» и «Круговой массив» можно создать такую деталь, как Винтовая лестница, этапы построения которой видны ниже (рис. 5).

Таким образом, детали интерьера, создание которых не требует особых трудозатрат в AutoCAD 2009, могут сыграть решающую роль в презентации проекта, ведь при их использовании модель дома носит более реалистичный

характер. Кроме того, интересной предоставляется возможность сдвигать в сторону готовую стену (рис. 6) или крышу дома (рис. 7), открывая внутреннюю планировку, оформление стен, мебель и др.

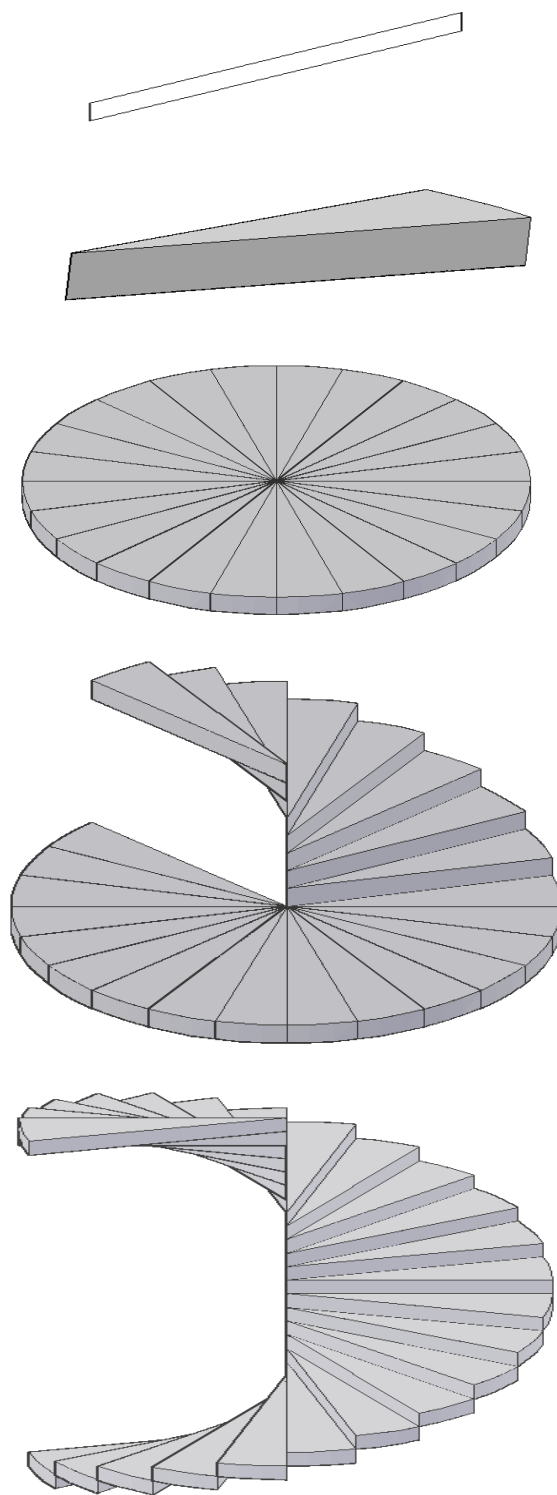


Рис. 5. Винтовая лестница, последовательность построения



Рис. 6. Сдвиг стены

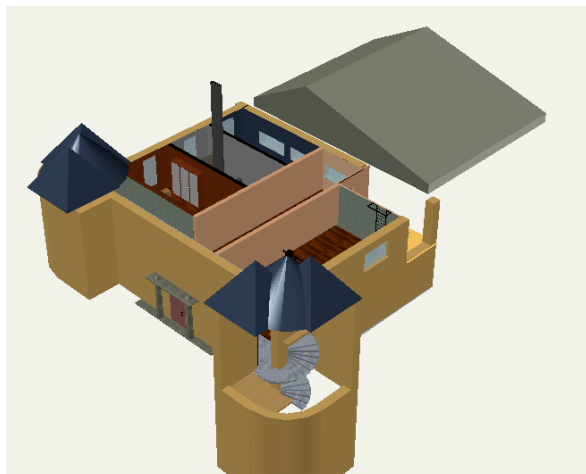


Рис. 7. Сдвиг крыши

Выводы

Программный комплекс AutoCAD позволяет не только получить трехмерную модель проектируемого сооружения, но и сделать проект более реалистичным путем использования различных деталей интерьера или материалов для отделки. Кроме того, не составляет труда из готового проекта получить проекции трехмерной модели на различные плоскости, сделать необходимые разрезы, убрать или передвинуть

часть сооружения, что позволяет рассмотреть проект со всех сторон, не упуская из виду ни малейшей детали. Также следует отметить операцию облета готовой модели камерой по заданной траектории с возможностью сохранять видеофайл на компьютере либо съемном носителе.

Таким образом, AutoCAD позволяет выполнять любые операции, необходимые для качественного выполнения проектов строительных объектов, а также их визуализации для более простого восприятия, что позволяет обойтись без более дорогих комплексов. Кроме того, акцент, сделанный на использовании деталей интерьера, может иметь решающее значение при представлении проекта заказчику, так как внешний вид целостного здания выигрывает, если имеет большое сходство с оригиналом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полещук, И. AutoCAD в инженерной графике [Текст] / И. Полещук, Н. Карпушкина. – СПб.: Питер, 2005. – 496 с.
2. Нартова, Л. Г. Начертательная геометрия [Текст] / Л. Г. Нартова, В. И. Якунин. – М.: Академия, 2005. – 288 с.
3. Каламейя, А. Дж. Курс инженерной графики в AutoCAD [Текст] / А. Дж. Каламейя. – М.: Диалог-МИФИ, 2002. – 432 с.
4. Уваров, А. С. AutoCAD для конструкторов [Текст] / А. С. Уваров. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 399 с.

Поступила в редколлегию 17.12.2010.
Принята к печати 21.12.2010.

А. П. ПРИХОДЬКО, Е. С. ХАРЧЕНКО (ПГАСА, Днепропетровск)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СЦЕПЛЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ВОССТАНАВЛИВАЕМЫМИ АРХИТЕКТУРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЗДАНИЙ

У статті наведено основні результати досліджень процесів зчеплення модифікованих полімерних композицій з архітектурними елементами будівель, що відновлюються. Показано процеси, що відбуваються в контактній зоні полімерного розчину з ремонтною поверхнею, вивчено вплив стану ремонтної поверхні на міцність зчеплення з полімерним розчином.

Ключові слова: модифіковані полімерні композиції, контактна зона, полімерний розчин

В статье приведены основные результаты исследований процессов сцепления модифицированных полимерных композиций с восстанавливаемыми архитектурными элементами зданий. Показаны процессы, происходящие в контактной зоне полимерного раствора с ремонтируемой поверхностью, изучено влияние состояния ремонтируемой поверхности на прочность сцепления с полимерным раствором.

Ключевые слова: модифицированные полимерные композиции, контактная зона, полимерный раствор

In the article the basic research results of adhesion processes of modified polymeric compositions with the recovered architectural elements of buildings are presented. The processes taking place in the contact area of polymeric solution with the repaired surface are shown; the influence of the repaired surface state on strength of adhesion with the polymeric solution is studied.

Keywords: modified polymeric composition, contact area, polymeric solution

Експлуатаційні характеристики гетерогенних систем, такими являються омоноличені полімерними адгезивами бетонні і залізобетонні споруди, визначаються як властивостями і природою з'єднуються матеріалів – субстрата і адгезива, так і комплексом явищ, визначаючих процес склеювання. Основу склеювання складає адгезія, тому для направленої управління експлуатаційними параметрами полімерних композицій необхідно забезпечити контроль над явищами, що відбуваються при формуванні адгезійних зв'язей між бетоном елемента споруди і полімерним адгезивом [1, 2].

На адгезійні і когезійні властивості полімерів велике впливають ряд технологічних факторів і їх різноманітне поєднання. Різниця в температурних коефіцієнтах лінійного розширення полімера і відновлюваного матеріалу, іноді приводящая до руйнування з'єднання, може бути зменшена наповнювачем і модифікатором [3–5].

Поверхність бетону або цементного каменя в основному складає з SiO_2 . Дійсно, в портованому цементі міститься приблизно 20 % SiO_2 , заповнювачем в бетонах і розчинах служить кварцевий пісок. С тетрадрами кремній

кислородної сітки структурно пов'язані поверхнісні гідроксильні групи.

Високою адгезією до бетону і розчину володіють полімери, що містять гідроксильні, карбоксильні, епоксидні і інші полярні групи. Ці групи здатні забезпечувати водородні зв'язі з поверхнісними гідроксилами, а також іон-дипольне і особливо хімічне взаємодія.

Проведеним аналізом літературних даних встановлено, що, незважаючи на значительні успіхи, досягнуті в області дослідження адгезійних взаємодій, до цього часу не створена єдина теорія склеювання матеріалів.

Одна з перших теорій – механічна – пояснює процес склеювання проникненням клею в пори склеюваних поверхностей. При цьому вважається, що міцність адгезії залежить від площі поверхності і форми пор. Ці фактори грають важливу роль при з'єднанні пористих матеріалів. Але ця теорія не пояснює процес склеювання гладких непористих поверхностей. В тому випадку якщо поверхність гладка і непориста, міцність склеювання визначається специфічним сполученням склеюваної плівки і матеріалу і міцно-

стью пленки на разрыв после отвердевания. В общем случае на прочность склеивания оказывают влияние оба фактора: специфическое сродство склеивающей пленки и материала и проникание клея в поры.

В последующем высказывалось мнение о том, что в ряде случаев между клеем и склеиваемыми поверхностями происходят химические реакции, поэтому склеивающее действие изучалось как с точки зрения самого клея, так и склеиваемых материалов. Кроме того, большое значение придавалось поверхностным явлениям. Предполагалось, что на взаимодействие между клеем и поверхностью можно оказывать влияние с помощью адсорбционных слоев ориентированных молекул, названных «молекулярным припоем». При этом значительное место отводится смачиваемости, причем отмечается, что склеивать могут только те клеи, которые смачивают соединяемые поверхности; смачивание увеличивается при введении в состав клеевого соединения поверхностно-активных добавок, которые будут адсорбироваться на границе раздела «адгезив–субстрат».

Широким признанием пользуется адсорбционная теория (теория межмолекулярных сил), объясняющая адгезию и когезию главным образом взаимодействием сил Ван-дер-Ваальса между молекулами твердых тел и рассматривающая адгезию как поверхностный процесс. Согласно этой теории, высокая адгезия возможна в тех случаях, когда обе поверхности материалов либо полярны, либо неполярны и адгезия затруднена, когда одна поверхность полярна, а другая неполярна. Основным фактором, определяющим склеивание, является химический характер склеиваемых поверхностей. Образование прочного клеевого шва объясняется как результат действия специфических молекулярных сил физико-химического характера.

Согласно диффузионной теории, предложенной С. С. Воюцким, адгезия обеспечивается образованием цепочечной связи между клеем и склеиваемым веществом. Основные положения этой теории связаны со строением полимеров и наличием в их составе полярных групп.

Б. В. Дерягин и Н. А. Кротова разработали электрическую теорию адгезии на основании представлений о двойном электрическом слое, возникающем у поверхности раздела пленки и основания в момент пленкообразования. Причиной адгезии считается наличие сил электри-

ческого происхождения, действующих между молекулами, атомами, ионами. При этом основная роль отводится химической природе вещества. Следует отметить, что эта теория не находится в большом противоречии с адсорбционной теорией адгезии.

Однако ни одна из существующих теорий – механическая, адсорбционная, молекулярная, химическая, диффузионная – не могут в полной мере объяснить многообразие и специфичность явлений, развивающихся на различных стадиях склеивания. Затрудняет создание единой теории адгезии также тот факт, что основное внимание исследователей переносится на анализ роли отдельных явлений, обуславливающих закономерности процесса склеивания, в частности, определяется влияние реологических свойств полимеров, состояния поверхности субстрата, межфазных взаимодействий на качество адгезионной связи. Как следствие, специфика соответствующих процессов требует акцентирования на определенных явлениях в рамках концепции или теории. В то же время, каждая из существующих теорий адгезионного взаимодействия, раскрывая лишь один из аспектов сложного явления склеивания, позволяет определить пути направленного регулирования адгезионных свойств полимерных материалов, что может быть использовано при разработке и оптимизации рецептур инъекционных полимерных растворов с заданными свойствами.

С учетом того, что цементный камень бетона сооружений содержит в составе SiO_2 , с которым структурно связаны гидроксильные группы, полимерные инъекционные растворы должны содержать компоненты, обладающие дифильными свойствами, что обеспечит повышение избирательной смачиваемости и обменной адсорбции. Увеличение молекулярного контакта может быть достигнуто при нанесении адгезива в растворе, а также при повышении температуры при склеивании. Для улучшения адгезионных свойств и повышения релаксационной способности полимерных композиций в их состав эффективно введение модификаторов структуры, в частности, синтетических каучуков. Эти добавки оказывают легирующее действие, находясь в составе композиции в виде гетерофазных включений. На прочность адгезионных связей оказывают влияние строение и масса молекул полимеров, причем

отсутствие разветвлений в цепи молекул повышает прочность сцепления.

Проведенные исследования поверхностных явлений, возникающих при взаимодействии цементного камня с полимерами на микрошлифах, показали, что контактный слой цементного камня с полимеррастворами на основе эпоксидных, полиэфирных смол не имеет новообразований между полимером и продуктами гидратации цемента. Под микроскопом отчетливо видно, что полимер хорошо заполняет все шероховатости и поры цементного камня. Граница между полимером и цементным камнем четкая, переходной слой отсутствует (рис. 1).

Для обеспечения эффективного ремонта и защиты архитектурных элементов зданий и сооружений важно обеспечить хорошую адгезию эпоксидного раствора с поверхностью старого бетона. При этом необходимо, чтобы в процессе эксплуатации полимеррастворный камень не потерял своих адгезионных свойств.

Ратинов считает, что при омоноличивании бетонных конструкций полимерными составами химическое взаимодействие отсутствует, и прочность склеивания обеспечивается только адгезионными силами. Таким образом, исследования сводятся к изучению адгезионных свойств оптимальных составов полимеррастворов к ремонтируемым поверхностям.

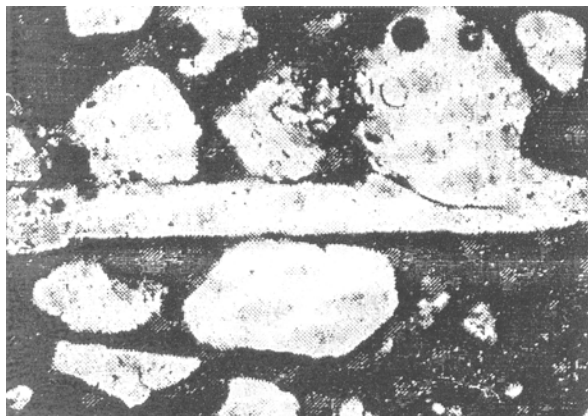


Рис. 1. Микрофотография контактного слоя цементного камня и модифицированного эпоксидного полимера ($\times 41$)

Технологические факторы также оказывают существенное влияние на адгезионные и когезионные свойства инъекционных полимерных композиций. К ним относятся состояние поверхности субстрата, толщина полимерного слоя, температура и влажность окружающей среды, т.е. те факторы, которые могут регулироваться в зависимости от условий применения полимерного материала. Основные требования

к полимерным композициям состоят в определении пределов допустимой вариации численных значений их основных структурных параметров: прочности при сжатии, растяжении и изгибе, модуля упругости, коэффициента линейного расширения, а также адгезионной прочности к бетону. В общем случае установление таких пределов производится путем вынесения компромиссного решения, при котором показатели деформативных свойств полимерных композиций должны быть близки к аналогичным показателям бетона ремонтируемого сооружения. При этом адгезионная прочность материала должна быть максимально высокой, не ниже прочности при растяжении бетона, а показатели долговечности должны быть не ниже показателей для бетона сооружения. Исходя из этого, можно определить требования к основным конструкционным параметрам полимерной композиции, что позволит в свою очередь их оптимизировать.

Для получения результатов по адгезионной прочности к бетону использовали образцы с площадью контакта, равной 5, 10, 20 см². Кроме того, испытания производились на гладкой и шероховатой поверхности. Для получения шероховатой поверхности образцы обрабатывали напильником, затем обезжиривали, после чего наносили слой эпоксидного материала. Испытания на разрыв производили на 7 срок после склеивания. По данным проведенных экспериментов были построены кривые адгезии, представленные на рис. 2.

Можно отметить следующие закономерности: адгезия к шероховатой поверхности выше, чем к гладкой.

Приведенные экспериментальные данные показывают, что разработанные модифицированные эпоксидные полимеррастворы на основе смолы ЭД-22 являются надежными восстановительными и защитными материалами для декоративных элементов зданий и сооружений.

Исследования показали, что там, где отсутствуют химические связи, и взаимодействие обуславливается образованием водородных и слабых дипольных связей, адгезионная прочность оказывается значительно ниже.

Вместе с тем отмечается, что адгезия различных полимеров к щелочному стеклу (15 % NaO) обычно ниже, чем к силикатным стеклам других марок. Поэтому, если учесть, что поверхность цементного камня состоит из зерен кварца и гидратированного цемента, то адгезия полимера не будет равнопрочна по контакту

адгезива и субстрата. Наибольшую адгезию следует ожидать в точках контакта полимера с SiO_2 .

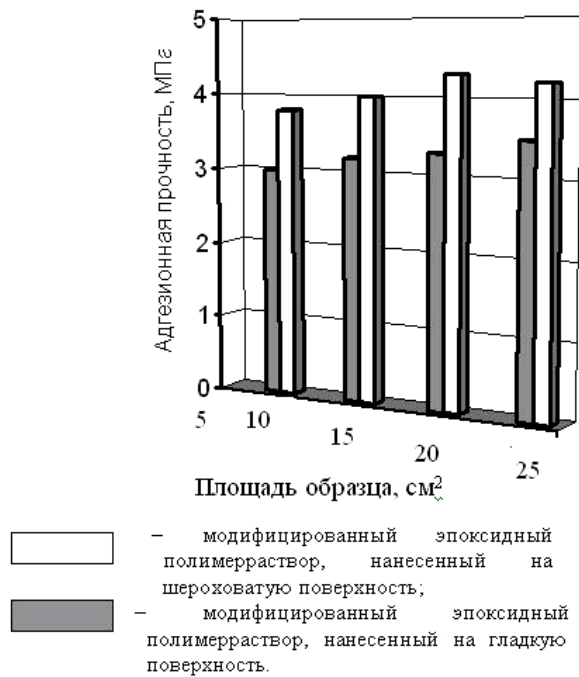


Рис. 2. Зависимость адгезионной прочности эпоксидных модифицированных полимер-растворов от типа бетонной поверхности

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ДБН Д.2.2-13-99. Захист будівельних конструкцій та устаткування від корозії [Текст]. – Введ. 01.02.2000. – К.: Держбуд України, 2000. – 88 с.
2. Пахаренко, В. А. Переработка полимерных композиционных материалов [Текст] / В. А. Пахаренко, Р. А. Яковлева, А. В. Пахаренко. – К.: Воля, 2006. – 552 с.
3. Выровой, В. Н. Особенности структурообразования и формирования свойств полимерных композиционных материалов [Текст] / В. Н. Выровой, И. В. Довгань, С. В. Семенова. – О.: ТЭС, 2004. – 168 с.
4. Елшин, М. М. Полимербетоны в гидротехническом строительстве [Текст] / М. М. Елшин. – М.: Стройиздат, 1980. – 192 с.
5. Соломатов, В. И. Полимерцементные бетоны и пластбетоны [Текст] / В. И. Соломатов. – М.: Стройиздат, 1988. – 346 с.

Поступила в редколлегию 02.12.2010.

Принята к печати 08.12.2010.

М. В. САВИЦЬКИЙ, О. Г. ЗІНКЕВИЧ (ПДАБА, Дніпропетровськ),
А. М. ЗІНКЕВИЧ (ДІПТ)

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НА ЖОРСТКІСТЬ СТІН-ДІАФРАГМ В КАРКАСНИХ БУДІВЛЯХ З ЛСТК

Отримано залежності впливу конструктивних особливостей діафрагм каркасних будівель із ЛСТК на їх жорсткість. На основі залежностей розроблено методику оцінки жорсткості діафрагми будь-якої конфігурації, яка дозволяє приймати конструктивні рішення для забезпечення просторової жорсткості будівлі.

Ключові слова: каркаси з легких сталених конструкцій, жорсткість вертикальних та горизонтальних діафрагм, обшивка діафрагм, сталі тонкостінні холодногнуті профілі

Получены зависимости влияния конструктивных особенностей диафрагм каркасных зданий из ЛСТК на их жесткость. На основании зависимостей разработана методика оценки жесткости диафрагмы какой-либо конфигурации, позволяющая принимать конструктивные решения для обеспечения пространственной жесткости здания.

Ключевые слова: каркасы из легких стальных конструкций, жесткость вертикальных и горизонтальных диафрагм, обшивка диафрагм, стальные тонкостенные холодногнутые профили

The dependences of influence of structural features of diaphragms of lightweight steel framing braced wall structures on their stiffness are determined. On the basis of dependences the procedure for estimation of stiffness of a diaphragm of any configuration that allows making decisions for maintenance of building stiffness is developed.

Keywords: lightweight steel framing, stiffness of braced walls and diaphragms, diaphragm sheeting, steel cold-formed thin gauge members

Вступ

Для зведення малоповерхових будівель значне поширення отримали каркасні технології. Один з напрямків – виконання елементів каркасу будівлі з легких сталених тонкостінних конструкцій (ЛСТК) – тонкостінних металевих оцинкованих профілів.

Особливістю таких каркасів є те, що в більшості випадків всі вузли з'єднань конструктивних елементів шарнірні – визначальний вплив на просторову жорсткість при дії горизонтальних зусиль мають діафрагми (горизонтальні – перекриття, покриття і вертикальні – стіни).

Зсувна жорсткість (далі – жорсткість) діафрагм, сприймаючих зусилля в своїй площині забезпечується наступними прийомами:

- використання в стіновій панелі хрестових зв'язків з оцинкованих сталевих смуг;
- врахування роботи листів обшивки стіни.

За результатами попередніх розрахунків, найбільший недолік діафрагм з хрестовими зв'язками полягає в значній величині зусиль у вузлі з'єднання зв'язку з каркасом. Оскільки елементи тонкостінні, отримані зусилля можуть привести до місцевих деформацій профілів і зминання листів. Виконання вузлів із забезпеченням конструктивних вимог призводить до їх ускладнення, зменшення технологічності.

Виходячи з цього, хрестові зв'язки розглядаються як елемент жорсткості діафрагм і каркасу в цілому тільки на період монтажу. Необхідна жорсткість каркасу з ЛСТК в процесі експлуатації забезпечується діафрагмами з урахуванням роботи з'єднання елементів каркасу з листами обшивки (гіпсокартон, ОСП і т.д.).

Постановка проблеми

Для забезпечення просторової жорсткості будівлі конструктивні елементи, що виконують функцію діафрагм, повинні задовольняти встановленим вимогам з їх жорсткості. В свою чергу, жорсткість діафрагм може значно змінюватись в залежності від їх конструктивних особливостей. Тобто, необхідна жорсткість може бути отримана шляхом призначення певних конструктивних параметрів, які підбираються за розрахунковою методикою.

В [1, 2] наведені методики оцінки жорсткості діафрагм шляхом їх співставлення з діафрагмою-еталоном, що враховують обмежену кількість факторів та не відображають особливості діафрагм в каркасах з ЛСТК.

Мета роботи

На основі результатів розрахунку моделей діафрагм методом скінченних елементів (МСЕ)

отримати залежності впливу конструктивних особливостей на їх жорсткість.

Встановити значення жорсткості діафрагми будь-якої конфігурації, пов'язуючи її параметри з відповідними характеристиками діафрагми-еталону через встановлені залежності.

Фактори, що впливають на жорсткість діафрагм

На основі моделювання МСЕ попередньо аналізувався вплив конструктивних особливостей на показники роботи діафрагми, для подальшого моделювання й врахування в залежностях приймалися значимі.

За результатами попереднього аналізу тип профілю каркасу (згинна жорсткість), товщина і жорсткість матеріалу листів обшивки незначно впливають на жорсткість діафрагм (умовно не враховувався їх безпосередній вплив на зсувну жорсткість зв'язків обшивки з елементами каркасу). Таким чином, як фактори, що впливають на жорсткість діафрагми (зміна величини до 5 %) тип профілю, товщина і жорсткість листів можуть не розглядатися.

Для подальшого розгляду прийняті наступні фактори:

- жорсткість зв'язків між обшивкою і елементами каркасу, ν_c , кН/см (встановлюється експериментальним шляхом [3, 4] і залежить від товщини, модуля пружності, матеріалу листа, діаметра елементів кріплення);
- співвідношення розмірів діафрагми h/L (висота / довжина);
- крок стійок каркасу;
- крок вузлів кріплення листів обшивки до елементів каркасу;
- кількість і конфігурація прорізів у діафрагмі.

Жорсткість діафрагми (ν , кН/см) оцінювалась за величиною переміщення верхнього поясу при прикладенні горизонтального навантаження:

$$\nu = P/f, \text{ кН/см}, \quad (1)$$

де P – зосереджене горизонтальне навантаження (вітрове, сейсмічне), прикладене до верхнього поясу діафрагми, кН;

f – переміщення верхнього поясу діафрагми в горизонтальній площині, см.

Для оцінки жорсткості діафрагм будь-яких розмірів використовується приведенне до довжини значення

$$\nu_0 = \frac{\nu}{L} = \frac{P}{f} \cdot \frac{1}{L}, \text{ кН/(см}\cdot\text{мп)}, \quad (2)$$

де L – довжина діафрагми.

Вплив кількості і конфігурації прорізів у діафрагмі

Оскільки більшість діафрагм (внутрішніх і зовнішніх стін будівель) експлуатується з прорізами, оцінювався вплив їх кількості та конфігурації.

Розглядалися моделі з рівною сумарною довжиною сегментів (фрагмент діафрагми з обшивкою на всю висоту) при різній довжині окремих сегментів. Крім того, оцінювався вплив способу моделювання обшивки в діафрагмі на результати розрахунку для наступних випадків:

- а) суцільна обшивка з вирізаними прорізами (рис. 1, а);
- б) враховані тільки сегменти діафрагми з обшивкою на всю висоту (рис. 1, б);
- в) обшивка складається із сегментів на всю висоту і фрагментів над і під прорізами, кожний з яких з'єднаний з каркасом (рис. 1, в).

Приклад конфігурації прорізів в діафрагмі та способів їх моделювання наведені на рис. 1.

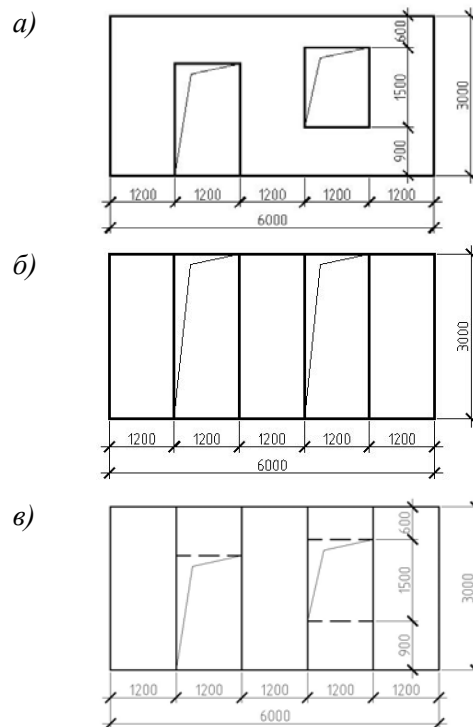


Рис. 1. Способи врахування прорізів при моделюванні роботи діафрагм

Діафрагма з суцільною обшивкою (прорізи вирізані) має найбільшу жорсткість, але внаслідок складності виконання та обмежень типових розмірів листів є непрактичною. Як правило, обшивка стін над і під прорізами виконується з окремих фрагментів, що кріпляться до каркасу з влаштуванням швів (спосіб «в»).

За отриманими результатами жорсткості діафрагм при моделюванні обшивки за способа-

ми «б» та «в» відрізняються незначно (деяке зменшення для способу «б»), тому для спрощення розрахункової схеми будівлі в цілому рекомендується задавати діафрагми тільки з урахуванням сегментів на всю висоту (спосіб «б»).

Оскільки надалі діафрагма з прорізами розглядається як сукупність окремих сегментів з обшивкою на всю висоту, передбачається, що жорсткість окремого сегмента буде залежати від співвідношення його геометричних розмірів (h/L) і може визначатись за тими ж залежностями, що і для діаграм із певним h/L .

Вплив розмірів діафрагми і жорсткості зв'язків обшивки з каркасом

Залежності жорсткості діафрагми, приведені до одиниці її довжини (1 мп) від співвідношення розмірів h/L і жорсткості зв'язку обшивки з елементами каркасу наведені на рис. 2.

Оскільки залежності жорсткості діаграм від фактору, що розглядається, є ізопараметричними, апроксимуючі рівняння наводяться для моделей з певним його значенням. Зміна величини фактору враховується відповідним коефіцієнтом.

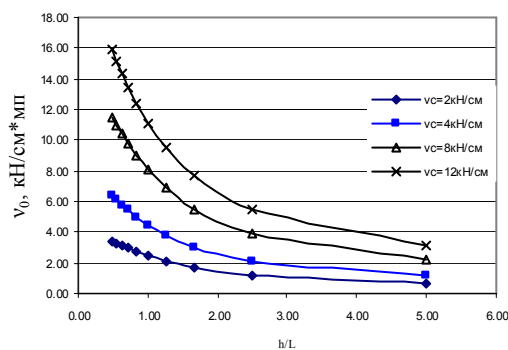


Рис. 2. Залежності приведенної жорсткості діафрагми від співвідношення розмірів діафрагми при різних жорсткостях зв'язків

Залежності приведенної жорсткості діафрагми від жорсткості зв'язків листів обшивки з елементами каркасу наведені на рис. 3.

Вплив кроку стійок каркасу та кроку вузлів кріплення листів обшивки до елементів каркасу

Оцінка впливу кроку стійок каркасу, а також, кроку вузлів кріплення листів обшивки до елементів каркасу по контуру та в середній частині діафрагми виконувалася на моделях діаграм (рис. 4) з наступними параметрами: довжина діафрагми $L = 6000$ мм, висота $h = 3000$ мм, жорсткість зв'язків обшивки з каркасом $v_c = 2$ кН/см, крок стійок каркасу $S_s = 200$;

400; 600; 1000 мм, крок вузлів кріплення обшивки до елементів каркасу по контуру діафрагми $S_{ce} = 100; 200; 300$ мм, в середній частині діафрагми – $S_{ci} = 100; 200; 300$ мм.

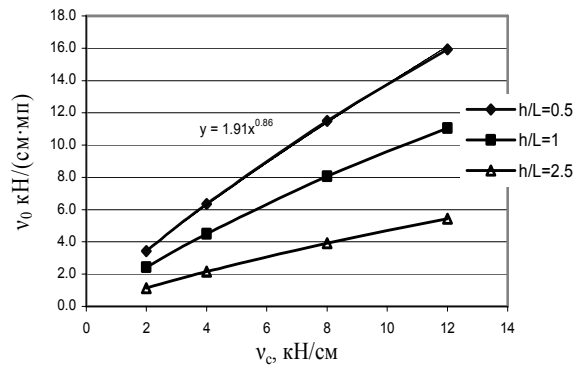


Рис. 3. Залежності приведенної жорсткості діафрагми від жорсткості зв'язків обшивки з каркасом

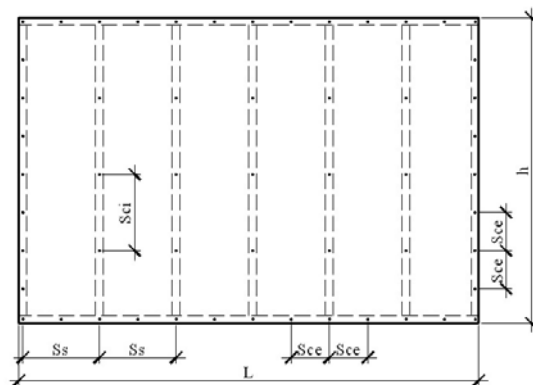


Рис. 4. Схема моделі діафрагми для оцінки впливу кроку стійок каркасу і вузлів з'єднання листів обшивки з каркасом

Залежності приведенної жорсткості діафрагми від кроку стійок каркасу наведені на рис. 5 (в позначенні рядів чисельник – крок внутрішніх вузлів, знаменник – крок вузлів контуру).

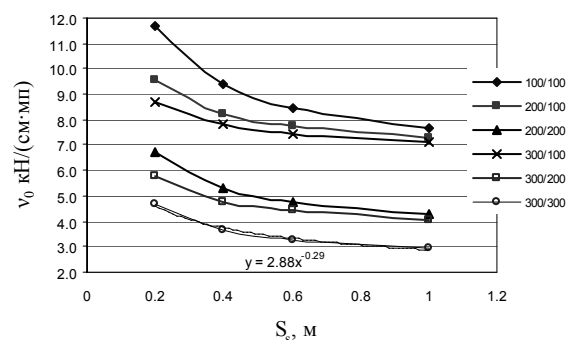


Рис. 5. Залежності приведенної жорсткості діафрагми від кроку стійок каркасу при зміні кроку вузлів з'єднання аркушів обшивання з каркасом

На рис. 6 наведено залежності приведенної жорсткості діафрагми від кроку внутрішніх ву-

злів і вузлів контуру для діафрагми з кроком стійок каркасу $S_s = 600$ мм. При побудові залежностей прийнято наступні умови:

- залежність жорсткості діафрагми від кроку внутрішніх вузлів побудована з врахуванням кроку вузлів контуру 300 мм (ряд – внутрішні вузли);

- залежність жорсткості діафрагми від кроку вузлів контуру побудована з врахуванням кроку внутрішніх вузлів 300 мм (ряд – вузли контуру).

За отриманими залежностями (рис. 6) можна зробити висновок, що крок вузлів контуру має більший вплив на жорсткість діафрагми порівняно з кроком внутрішніх вузлів.

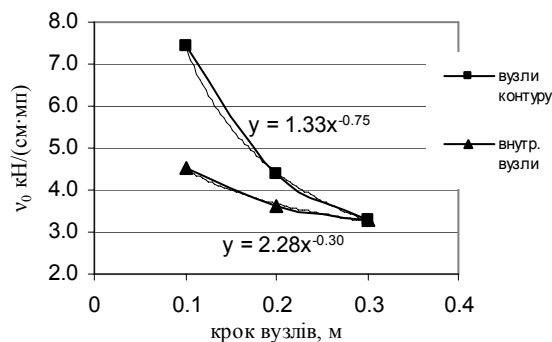


Рис. 6. Вплив кроку вузлів (контур і внутрішніх) з'єднання аркушів обшивання з каркасом на твердість діафрагми

Визначення жорсткості діафрагми

На основі отриманих кореляційних залежностей розроблено методику оцінки зсувної жорсткості діафрагм, що дозволяє врахувати вплив їх конструктивних особливостей.

Жорсткість одиниці довжини діафрагми (1 мп) із врахуванням конструктивних особливостей визначається за формулою:

$$v_n = v_0 \cdot k_i, \text{ кН/(см·мп) }, \quad (3)$$

де v_0 – жорсткість одиниці довжини діафрагми-еталону, кН/(см·мп);

k_i – коефіцієнти, що враховують конструктивні відмінності розглянутої діафрагми від діафрагми-еталону:

k_c – коефіцієнт, що враховує вплив жорсткості вузлів з'єднання листів обшивки з елементами каркасу діафрагми;

k_s – коефіцієнт, що враховує вплив кроку стійок каркасу;

k_{ci} – коефіцієнт, що враховує вплив кроку внутрішніх вузлів з'єднання листів обшивки з елементами каркасу діафрагми;

k_{ce} – коефіцієнт, що враховує вплив кроку вузлів з'єднання листів обшивки з контурними елементами каркасу діафрагми.

Жорсткість діафрагми будь-якої конфігурації визначається як:

$$v = \sum v_{ni} L_{si} k_{ar_i}, \text{ кН/см }, \quad (4)$$

де v_{ni} – жорсткість одиниці довжини певного сегменту, кН/(см·мп).

L_{si} – довжина сегменту діафрагми (фрагменту діафрагми з обшивкою на всю висоту), м;

k_{ar_i} – коефіцієнт, що враховує співвідношення геометричних розмірів сегменту діафрагми (висота / довжина).

Значення коефіцієнтів приймаються за співвідношенням кореляційних залежностей для розглянутої діафрагми і діафрагми еталону.

Наприклад, визначення в загальному вигляді коефіцієнту k_c , що враховує вплив жорсткості вузлів з'єднання листів обшивки з елементами каркасу на жорсткість діафрагми виконується наступним чином

$$k_c = \frac{1,91 \cdot v_c^{0,86}}{1,91 \cdot v_{ce}^{0,86}} = \left(\frac{v_c}{v_{ce}} \right)^{0,86}, \quad (5)$$

де v_{ce} – жорсткість вузлів з'єднання листів обшивки з елементами каркасу діафрагми-еталону.

Достовірність розробленої методики оцінювалась порівнянням результатів, отриманих при розрахунку тестових діафрагм (розрахункові дані) з результатами розрахунку моделей діафрагм МКЕ.

Жорсткість діафрагми-еталону визначалась експериментально (в даній роботі – чисельним експериментом) і використовувалась як вихідні дані для розрахунку.

Визначались переміщення верхнього поясу діафрагм в горизонтальній площині при прикладенні горизонтального навантаження.

Відхилення результатів отриманих за розробленою методикою та розрахунками моделей не перевищує 15 %.

Висновки

Розроблено спрощену методику оцінки впливу основних конструктивних особливостей діафрагм на їх жорсткість, яка дозволяє встановлювати вимоги до конструкції на попередньому етапі формування об'ємно-планувальних рішень каркасних будівель із ЛСТК.

За отриманими результатами можна зробити висновок, що розроблена розрахункова методика є достатньо достовірною для оцінки жорсткості діафрагм та каркасу будівлі в цілому.

Отримані залежності впливу вищенаведених факторів та методика оцінки жорсткості діафрагм можуть бути використані для забезпечення просторової жорсткості будівлі за рахунок:

- призначення вимог до конструкції вертикальних та горизонтальних діафрагм;
- обмеження відстані між діафрагмами (зменшення вантажної площі)
- обмеження кількості прорізів у діафрагмі.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по учету жесткости диафрагм из стального профилированного настила в покрытиях одноэтажных производственных зданий

при горизонтальных нагрузках [Текст] – М., 1980. – 25 с.

2. Residential structural design guide: 2000 Edition [Text] – W., 2000. – 434 p.
3. Iuorio, O. Compilation of k values [Electron. resource] / O. Iuorio, B. W. Schafer; Johns Hopkins University. – 2008. – Access mode: <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/sheathedwalls>
4. Савицкий, Н. В. Влияние жесткости обшивки на расчетную длину сжатой стойки каркаса из ЛСТК между узлами закрепления [Текст] / Н. В. Савицкий, О. Г. Зинкевич, А. Н. Зинкевич // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 32. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 115-117.

Надійшла до редколегії 25.10.2010.

Прийнята до друку 31.10.2010.

СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ ЭМИССИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОРБЕНТАМ, ПРИМЕНЯЕМЫМ ДЛЯ ИХ ЛИКВИДАЦИИ

У статті розглянуто процеси та фактори, які пов'язані з розвитком аварійної емісії вуглеводнів при їх транспортуванні залізничним транспортом. Запропоновано загальні вимоги до сорбентів, які використовують для ліквідації аварійних емісій вуглеводнів на залізничному транспорті.

Ключові слова: аварійна емісія вуглеводнів, вимоги до сорбентів, сорбенти вуглеводнів, залізничний транспорт

В статье рассмотрены процессы и факторы, связанные с развитием аварийной эмиссии углеводородов при их перевозке железнодорожным транспортом. Предложены основные требования к сорбентам, применяемым для ликвидации аварийных эмиссий углеводородов на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: аварийная эмиссия углеводородов, требования к сорбентам, сорбенты углеводородов, железнодорожный транспорт

The processes and factors associated with the development of emergency emissions of hydrocarbons during their transportation by rail are considered in the article. Basic requirements to sorbents used to eliminate emergency emissions of hydrocarbons on railway transport are offered.

Keywords: emergency emissions of hydrocarbons, requirements to sorbents, sorbents of hydrocarbons, railway transport

1. Введение

В последние годы проблема экологически безопасной транспортировки опасных грузов становится все более актуальной. В особенности это касается наземного транспорта. Более пяти тысяч наименований экологически опасных грузов ежегодно транспортируется железнодорожными дорогами во всех направлениях. Особое место среди них занимают грузы группы нефтепродуктов, к которым относятся различные углеводороды и их композиции. В последние годы наблюдается увеличение объема перевозок нефтепродуктов железнодорожными дорогами Украины [1]. В свою очередь увеличение объемов транспортировок и использования углеводородов в различных отраслях народного хозяйства приводит к увеличению числа внештатных ситуаций при транспортных операциях и общего объема эмиссий углеводородов в окружающую среду.

Аварийные эмиссии углеводородов на железнодорожном транспорте происходят вследствие нарушения правил транспортировки грузов [2] – разливы в процессах налива и слива грузов, негерметичность котлов цистерн, неисправность запорной арматуры. Наиболее значительные эмиссии характерны для аварий при непосредственной транспортировке углеводородов – на магистралях и железнодорожных

узлах. Подобные аварии сопровождаются выбросами загрязнителей в окружающую среду на уровне десятков тонн и представляют значительную угрозу экологической безопасности. Именно подобные эмиссии выбраны объектом исследования в данной работе.

Решение проблем, связанных с ликвидацией подобного рода эмиссий, является важной научно-технической задачей по обеспечению экологической безопасности наземного транспорта.

2. Постановка цели и задачи исследования

В результате аварийной эмиссии углеводородов в окружающую среду образуется сложная, многокомпонентная система «углеводород – окружающая среда», обладающая рядом общих и индивидуальных физико-химических свойств. Данные свойства и особенности подобной системы непосредственно влияют на применение того или иного поглотителя углеводородов, технологию ликвидации и эффективность иммобилизации эмитента в целом. Поиск и описание специфических свойств системы «углеводород – окружающая среда», нахождение устойчивых связей между данными свойствами и эффективностью иммобилизации (сорбции в частности) эмитента является ключевым в вопросе выбора наиболее рациональ-

ного поглотителя углеводородов и технологии его применения.

Большое количество научных работ посвящено поиску новых сорбентов углеводородов и технологий их применения [3 – 9]. Общей их чертой является отсутствие направленного анализа свойств полученных сорбентов на условия их применения. В некоторых работах [4, 6, 8, 10, 11] мы можем найти выборочные обобщения факторов, влияющих на эффективность работы сорбентов углеводородов. Зачастую эти факторы связаны с природой самих сорбентов и не раскрывают условия окружающей среды, влияющие на эффективность ликвидационных мероприятий. Наиболее детальный анализ в этом направлении проведен для аварийных эмиссий нефтепродуктов на водных объектах [12].

Исходя из сказанного выше, целью данной работы является обоснование базового набора требований к материалам ликвидации эмиссий углеводородов с учетом специфики протекания аварийной ситуации на железнодорожном транспорте.

Для реализации поставленной цели в работе необходимо выполнить анализ факторов, влияющих на процесс ликвидации аварийных эмиссий углеводородов на железнодорожном транспорте, выявить взаимосвязи этих факторов с эффективностью иммобилизации эмитента в окружающей среде и сформулировать обоснованные требования к поглотителям (сорбентам) углеводородов.

3. Результаты исследования

Для того чтобы сформулировать основные требования, предъявляемые к материалам ликвидации (поглотителям) эмиссий углеводородов, необходимо определить условия протекания процессов иммобилизации (поглощения) эмитента и специфические характеристики системы «углеводород – окружающая среда». Для этого было рассмотрено несколько сценариев развития аварийных ситуаций при перевозке углеводородов железнодорожным транспортом. Организация и построение сценариев развития аварийной ситуации основаны на рассмотрении случаев аварийных эмиссий углеводородов на железнодорожном транспорте, опыте ликвидационных мероприятий и рекомендациях, представленных в ряде отечественной и зарубежной литературы [2, 3, 6, 13 – 15]. Подобный анализ позволит прогнозировать сценарии развития аварий при транспортировке углеводородов, моделировать пути распространения загрязне-

ния в окружающей среде и определить условия и факторы проведения ликвидационных мероприятий.

3.1 Анализ условий, характерных для эмиссии углеводородов

За основу анализа принято крушение состава цистерн на железнодорожном перегоне на пересеченной местности вблизи поверхностного водоема и зоны смешанной растительности. Это позволит учесть различные условия развития аварийной ситуации и построить схемы сценария в нескольких уровнях анализа, таких как:

- источники эмиссии углеводородов;
- места локализации пролитых углеводородов;
- миграция углеводородов в окружающей среде;
- факторы риска.

Источники эмиссий углеводородов. Во время аварий при транспортировке углеводородов железнодорожным транспортом первичными источниками эмиссии являются непосредственно цистерны с различной степенью разгерметизации котла. В условиях высокой миграционной способности загрязнителя и элементов ландшафта место локализации разлива углеводородов также следует отнести к источникам эмиссии. К вторичным источникам эмиссии возможно отнести зоны накопления пролитого груза в условиях его перегрева, возгорания или взрыва.

Места локализации углеводородов. Железные дороги сосредоточены во всех природных и искусственных типах ландшафтов – пересеченная местность, горы, водоемы, леса, земли сельскохозяйственного назначения и прочее. Это в особенности увеличивает спектр возможных мест локализации загрязнителя и усложняет анализ. В условиях разгерметизации котла цистерны вблизи железнодорожного полотна эмиссия груза будет сосредоточена в природных понижениях рельефа, в местах стекания груза к зонам локализации, на поверхности искусственных сооружений и водных объектов. Таким образом, углеводороды, требующие иммобилизации в окружающей среде, будут сосредоточены на поверхности грунта, растительности, железобетонных и металлических конструкций верхнего строения пути и подвижного состава.

Миграция углеводородов. Специфика локализации пролитого груза тесно связана с его миграцией. Он мигрирует в окружающей среде,

стекая по поверхности грунта и элементам дренажной системы земляного полотна, проникая в различные природные среды. В случае загрязнения водоемов, эмитент растекается по поверхности воды и мигрирует в ее толщу. Пролитые углеводороды могут инфильтроваться в грунт, заполняя его поровое пространство и загрязняя подземные водоносные горизонты. Аспектом миграции в атмосферу является испарение загрязнителя как непосредственно с его поверхности, так и со смоченных им поверхностей различного рода.

Факторы риска. Все углеводородные грузы, перевозимые железнодорожным транспортом, относятся к горючим и легковоспламеняющимся веществам. Поэтому фактором риска, в рамках данного анализа, рационально выбрать способность груза к воспламенению, горению и взрыву. С учетом фактора риска следует дополнить некоторые уровни анализа. Например, при воспламенении углеводорода основные загрязнители – продукты горения, при этом место локализации пролитого груза станет источником загрязнения окружающей среды. В дополнении к выше сказанному, в подобных условиях проведение ликвидационных мероприятий по локализации и иммобилизации разлива в окружающей среде будет затруднено. Многие этапы, характерные для мероприятий с использованием сорбционных технологий, будут невозможны.

3.2 Построение структурно-логической схемы развития аварийной эмиссии при перевозке углеводородов

Для определения доминирующих факторов, влияющих на процессы поглощения пролитого груза необходимо представлять четкие взаимосвязи между условиями протекания аварийной ситуации и параметрами окружающей среды. Для этого нами были обобщены данные, характеризующие развитие залповых эмиссий углеводородов при крушении железнодорожного состава. В рамках данной схемы предусмотрено распространение углеводородов в окружающей среде в трех направлениях, которые зависят от масштаба и специфики протекания аварийной ситуации, а именно:

- растекания углеводородов по ландшафту, локализация загрязнения на поверхности грунта, миграция в атмосферу, грунтовые воды и поверхностные водоемы;
- распространение загрязнения по зеркалу природного или искусственного водоема;

- распространение загрязнения в окружающую среду с учетом факторов возгорания, перегрева или взрыва груза.

Результаты данного обобщения представлены на структурно-логической схеме (рис. 1). Данные анализа условий, характерных для аварийных эмиссий углеводородов были сгруппированы в блоки и представлены в виде дерева событий.

4. Обсуждение результатов исследования

В сорбционных технологиях ликвидации аварийных эмиссий углеводородов иммобилизация эмитента в окружающей среде достигается использованием специальных поглощающих материалов различной природы – сорбентов [2]. Эффективность их применения характеризуется несколькими показателями, которые зависят от природы и способа действия сорбента, свойств поглощаемого вещества и показателей окружающей среды. Наиболее значительные из них – максимальная поглощающая способность, скорость насыщения (достижения максимальной поглощающей способности) и влияние влажности на показатели сорбции.

Данные показатели эффективности использования сорбентов были проанализированы в рамках структурно-логической схемы развития аварийной эмиссии углеводородов. Подобный анализ выявил основные требования, которые необходимо предъявить к поглотителям углеводородов для максимальной эффективности их применения (табл. 1).

Общие требования, предъявляемые к сорбентам углеводородов, продиктованы общей спецификой проведения ликвидационных мероприятий.

Фактором риска в представленных сценариях развития аварийной ситуации выступает возможность возгорания или взрыва углеводородов или их газовоздушных смесей. Поэтому для снижения риска ликвидационные команды будут использовать водяные завесы и создание водно-пенной пленки на поверхности груза в зоне локализации. Это в свою очередь вызовет ухудшение оптимальных условий сорбции за счет сильного повышения влажности окружающей среды. Возможность образования системы «углеводород – вода» и тонких пленок углеводородов на поверхности воды объясняет требование к высокой гидрофобности сорбента, возможности селективной сорбции и плавучести в ненасыщенном и насыщенном состоянии.

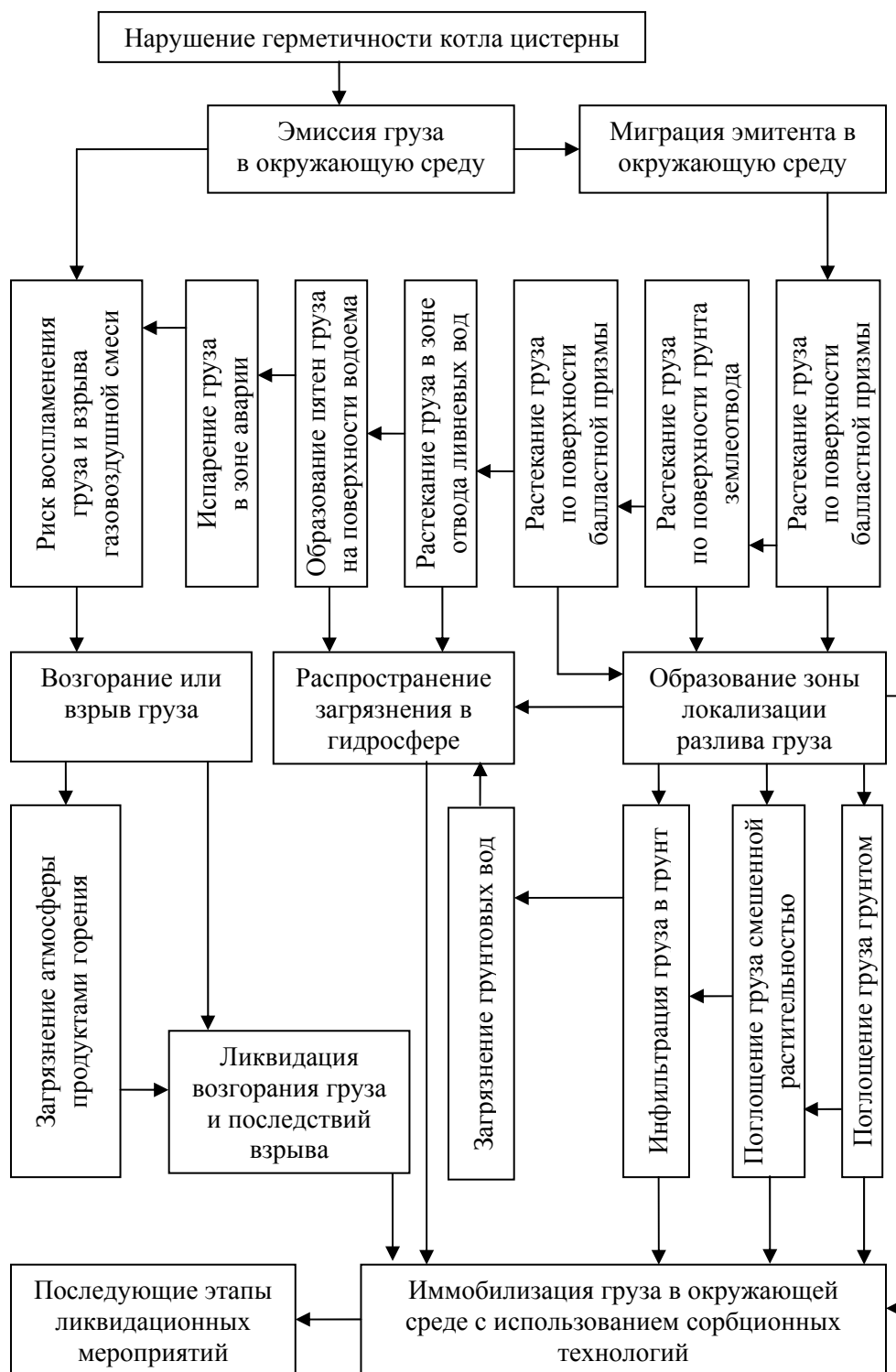


Рис. 1. Структурно-логическая схема развития аварийной эмиссии углеводородов при их перевозке на железнодорожном транспорте

Высокая скорость распространения углеводородных пленок на поверхности воды требует от сорбента значительной скорости сорбции.

В условиях поглощения горючей жидкости необходимо максимально минимизировать не только возникшее возгорание, но и потенциальную возможность распространения пламени

на поверхности углеводорода и системы «углеводород – сорбент». Для этих целей в состав сорбента рационально включить инертные компоненты и вещества, которые поглощают тепловую энергию или выделяют газы, не поддерживающие горение. В данном контексте у

неорганических сорбентов явное преимущество перед органическими.

Локализация пролитых углеводородов на поверхностях различного рода с учетом интен-

сивного испарения и возможности воспламенения требует минимизации времени насыщения сорбента, то есть расположения углеводородов в зоне риска.

Таблица 1

Требования к сорбентам, применяемым для ликвидации аварийных эмиссий углеводородов на железнодорожном транспорте

Условия развития аварийной ситуации и факторы рисков	Требования к сорбентам углеводородов
Общие требования	<ul style="list-style-type: none"> – высокие показатели поглотительной способности; – отсутствие токсичных компонентов; – отсутствие специальных условий хранения и технологии применения; – способность к многократному применению; – простота утилизации
Возможность перегрева, возгорания и взрыва груза	<ul style="list-style-type: none"> – минимальное содержание горючих веществ; – отсутствие взрывоопасных компонентов и сильных окислителей; – сорбент не образует токсичные продукты горения; – содержание веществ, которые уменьшают скорость распространения пламени; – высокая скорость насыщения и диффузии во внутренние слои сорбента
Возможность локализации груза на поверхностях различного рода (грунт, поверхность воды, растительность и т.д.)	<ul style="list-style-type: none"> – универсальность использования; – высокая скорость насыщения; – значительная гидрофобность; – тенденция к уменьшению фракции; – стабильность структуры в насыщенном состоянии
Возможность образования систем «углеводород-вода». Значительная влажность окружающей среды	<ul style="list-style-type: none"> – значительная гидрофобность; – большая скорость сорбции, низкая скорость десорбции; – способность к селективной сорбции; – высокая плавучесть сорбента; – доминирование адсорбции над абсорбцией

Для выполнения данного требования сорбент должен обладать высокой поглотительной способностью, скоростью насыщения и универсальностью применения. Также сорбент должен обладать возможностью поглощения тонких пленок углеводородов с металлических поверхностей цистерн.

Интенсивность испарения груза и высокий риск взрыва газовой смеси требует от сорбента ряда специфических свойств. Среди них возможно выделить доминирование сорбции внешними слоями над внутренними и большую скорость диффузии адсорбата в гранулу сорбента.

5. Выводы

В работе проведен анализ условий, характерных для развития залповых эмиссий углево-

родов при их перевозке железнодорожным транспортом и построена структурно-логическая схема развития подобных аварийных эмиссий. Основываясь на результатах анализа, были выявлены специфические особенности системы «углеводород - окружающая среда», определяющие процессы иммобилизации пролитых углеводородов в окружающей среде. Данные особенности проанализированы в контексте проведения ликвидационных мероприятий и сгруппированы в логические блоки, характеризующие требования к поглотителям (сорбентам) углеводородов. Универсальность использования, значительная гидрофобность, высокая скорость насыщения и пожарная безопасность - наиболее важные из этих требований. Дополнительно сформированы списки второстепенных требований к поглотителям

(сорбентам) углеводородов, характерных для определенных условий иммобилизации или типа локализации разлива.

Результаты работы могут быть использованы при выборе оптимальных материалов для ликвидации экологических последствий эмиссий углеводородов. Предложенные анализ факторов и структурно-логическую схема могут стать основой для разработки концепции оптимизации выбора технологий ликвидации на этапе планирования системы безопасности перевозки опасных грузов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Довідник основних показників роботи залізниць України (1997-2007) [Текст] : норм.-тех. видання / підг. під кер. Н. В. Котіль; Мінтрансзв'язку України. – К., 2008. – С. 6.
2. Природоохранный деятельность на железнодорожном транспорте Украины: проблемы и решения [Текст] : монография / В. Н. Плахотник [и др.]. – К.: Транспорт Украины, 2001. – С. 150-161.
3. Porous materials for oil spill cleanup [Text] / M. O. Adebajo [et al.] // J. of Porous Materials. – 2003. – 10. – P. 159-170.
4. Surface characterisation of selected sorbent materials for common hydrocarbon fuels [Text] / R. Frost [et al.] // Surface Science. – 601 (9). – P. 2066-2076.
5. Использование отходов металлургического производства для удаления нефтепродуктов с поверхности воды и почвы [Текст] / Ю. К. Рубанов [и др.] // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строво и архит. – 2010. – Вып. 17 (36). – С. 132-134.
6. Шеметов, А. В. Использование сорбентов волокнистой структуры для извлечения нефтехимических продуктов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 02.00.13 / Шеметов Алексей Викторович; Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т. – Уфа, 2002. – С. 7, 9-10.
7. Семенович, А. В. Сбор проливов нефтепродуктов модифицированной корой хвойных пород [Текст] / А. В. Семенович, С. Р. Лоскутов, Г. В. Пермякова // Химия растительного сырья. – 2008. – № 2. – С. 113-117.
8. Зеленько, Ю. В. Поглотительная способность материалов, используемых для ликвидации транспортных аварий с нефтепродуктами [Текст] / Ю. В. Зеленько, В. Н. Плахотник // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 2. – С. 35-37.
9. Завьялов, В. С. Сорбционная емкость материалов по отношению к нефтепродуктам [Текст] / В. С. Завьялов // Экология и промышленность России. – Август 2006. – С. 7-9.
10. Сироткина, Е. Е. Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов [Текст] / Е. Е. Сироткина, Л. Ю. Новоселова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2005. – № 13. – С. 359-377.
11. Гурулева, Я. П. Применение сорбентов при ликвидации аварийных ситуаций, связанных с разливом нефти и нефтепродуктов [Текст] / Я. П. Гурулева, С. С. Утенков // МИКС-2009. Сб. тр. Межвуз. итоговой конф. студ. – Иркутск: ИрГУПС, 2009. – С. 25-27.
12. Мерициди, И. А. Критерии выбора нефтяного сорбента для локализации аварийных разливов нефти на поверхности водоемов [Текст] / И. А. Мерициди, А. В. Шлапаков // Вестник УКАНГ. – 2007. – № 4. – С. 52-57.
13. Рекомендации по обеспечению пожарной безопасности объектов нефтепродуктообеспечения, расположенных на селитебной территории. Разработано МВД Российской Федерации [Текст]: согласовано письмом Главн. упр. Гос. противопожарной службы МВД России № 20/3.2/2125 от 12 сентября 1996 г.
14. Азаренко, Е. В. Модель развития чрезвычайной ситуации, вызванной разливом нефтепродуктов [Текст] / Е. В. Азаренко, Ю. Ю. Гончаренко, М. И. Ожиганова // 36. наук. пр. СНУЯЕтаП. – 2009. – № 1. – С. 202-207.
15. Проблемні питання гасіння пожежі і ліквідації наслідків аварій на залізничному транспорті під час перевезення небезпечних вантажів [Текст] / В. Г. Дудченко [та ін.] // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2008. – № 2 (18). – С. 13-16.

Поступила в редколлегию 25.01.2011.

Принята к печати 27.01.2011.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ПУТЕВОГО ПРИЕМНИКА ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

В роботі показано доцільність використання цифрової обробки сигналів у колійних приймачах тональних рейкових кіл. На підставі результатів спектрального аналізу сигнального струму тональних рейкових кіл, а також з врахуванням діючих нормативів сформульовано вимоги до частотних характеристик цифрових фільтрів для колійного приймача, проведено синтез таких фільтрів. Імітаційне моделювання синтезованого цифрового приймача підтвердило його відповідність вимогам існуючих відомчих нормативних документів.

Ключові слова: тональні рейкові кола, колійний приймач, цифровий сигнальний процесор, спектр сигналу, амплітудно-частотна характеристика, імітаційне моделювання

В работе показана целесообразность использования цифровой обработки сигналов в путевых приемниках тональных рельсовых цепей. На основании результатов спектрального анализа сигнального тока тональных рельсовых цепей, а также с учетом действующих нормативов сформулированы требования к частотным характеристикам цифровых фильтров для путевого приемника, проведен синтез таких фильтров. Имитационное моделирование синтезированного цифрового приемника подтвердило его соответствие требованиям существующих ведомственных нормативных документов.

Ключевые слова: тональные рельсовые цепи, путевой приемник, цифровой сигнальный процессор, спектр сигнала, амплитудно-частотная характеристика, имитационное моделирование

In the paper the practicability of using the digital signal processing in track receivers of the tone track circuits is shown. On the basis of spectral analysis results of the signal current of the tone track circuits, as well as with taking the acting standards into account, the requirements to frequency features of digital filters for the track receiver are formulated, and the syntheses of such filters are conducted. A simulation modeling of the synthesized digital receiver has confirmed its correspondence to the requirements of existing departmental normative documents.

Keywords: tonal track circuits, track receiver, digital signal processor, signal spectrum, amplitude-frequency characteristic, simulation

Введение

Безопасность движения поездов и эффективность перевозочного процесса во многом зависят от надежности и функциональной безопасности систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ). Базовым элементом таких систем являются рельсовые цепи, выполняющие ответственные функции путевых датчиков и телемеханических каналов.

В настоящее время на сети железных дорог Украины достаточно широко применяются рельсовые цепи тональной частоты (ТРЦ), причем количество участков оборудованных ТРЦ постоянно увеличивается. Использование сигнального тока тонального диапазона позволяет существенно повысить помехозащищенность и ослабить взаимные влияния между рельсовыми цепями, в несколько раз снизить потребляемую мощность, осуществить централизованное размещение аппаратуры. Кроме этого, использование ТРЦ позволяет исключить изолирующие стыки, благодаря чему обеспечивается возможность применения цельносварных рельсовых плетей, обеспечивается электрическая непрерывность цепи возврата тягового тока, сокра-

щается число используемых дроссель-трансформаторов [1, 2].

Одним из наиболее ответственных элементов ТРЦ является путевой приемник, который выполняет фильтрацию и демодуляцию амплитудно-манипулированного (АМ) сигнала, полученного из рельсовой линии, а также управляет путевым реле в соответствии с уровнем полученного сигнала. Путевой приемник содержит входной полосовой фильтр, настроенный на несущую частоту сигнального тока, и два полосовых фильтра модулирующей частоты. В существующих путевых приемниках полосовые фильтры строятся на базе колебательных LC -контуров, причем входной фильтр содержит две пары связанных LC -контуров. Настройка таких фильтров представляет собой сложный и трудоемкий процесс, который выполняется работниками ремонтно-технологического участка (РТУ) в соответствии с методикой, изложенной в [3].

Для защиты ТРЦ от взаимного влияния применяется чередование несущих и модулирующих частот. При этом для каждой комбинации частот используется свой тип путевого приемника, который отличается типами транс-

форматоров и емкостями конденсаторов в колебательных контурах. Так в тональных рельсовых цепях третьего поколения (ТРЦ3) применяются пять несущих частот (420 Гц, 480 Гц, 580 Гц, 720 Гц, 780 Гц) и две модулирующие частоты (8 Гц, 12 Гц), которым соответствуют десять типов путевых приемников. В рельсовых цепях четвертого поколения (ТРЦ4) несущие частоты составляют 4545 Гц, 5000 Гц и 5555 Гц, а модулирующие – 8 и 12 Гц, что соответствует шести типам путевых приемников.

Современный уровень развития цифровых сигнальных процессоров позволяет строить на их основе надежные устройства, выполняющие довольно сложные алгоритмы цифровой обработки сигналов, в том числе алгоритмы цифровой фильтрации. Характеристики цифрового фильтра зависят от значения коэффициентов фильтра, которые хранятся в памяти сигнального процессора [4, 5]. Изменяя данные коэффициенты можно выполнять регулировку фильтра.

Использование цифровой обработки сигналов в путевых приемниках ТРЦ позволит значительно упростить технологию обслуживания таких устройств. При этом обеспечивается возможность применения только одного типа унифицированного перепрограммируемого путевого приемника. Построение приемников ТРЦ на базе сигнальных процессоров позволит также расширить их функциональные возможности: использовать адаптивные алгоритмы обработки сигналов, функции самотестирования, диагностики и др. Кроме этого, избирательность цифровых фильтров, зависит от их порядка. Увеличивая порядок цифровых фильтров, можно построить путевой приемник, селективность и помехозащищенность которого гораздо выше, чем в существующих путевых приемниках с аналоговыми *LC*-фильтрами.

Вопросы построения цифровых путевых приемников ТРЦ рассмотрены в работах [6 – 8]. Однако основное внимание в этих работах уделено безопасности программного обеспечения микропроцессорного приемника ТРЦ. Кроме этого, предложенная математическая модель построена только для случая, когда на вход приемника поступает немодулированный синусоидальный сигнал. Перспективность использования цифровой обработки сигналов для повышения надежности рельсовых цепей показана также в работе [9].

Цель работы

Целью данной работы является синтез цифровых фильтров для построения путевого приемника тональных рельсовых цепей, исследо-

вание синтезированного цифрового приемника с помощью имитационного моделирования.

Структура путевого приемника тональных рельсовых цепей

Структурная схема путевого приемника тональных рельсовых цепей представлена на рис. 1. Такой приемник относится к классу приемников прямого усиления [10] и содержит следующие функциональные узлы [1, 2]: входной фильтр (ВФ), демодулятор (ДМ), амплитудный ограничитель (АО), первый фильтр частоты модуляции (ФМ), пороговый элемент (ПЭ), выходной усилитель (ВУ), второй фильтр частоты модуляции (C_{ϕ} , T_p), выпрямитель.

Входной фильтр выделяет амплитудно-модулированный сигнал с частотой несущей, соответствующей настройке фильтра, и подавляет сигналы с другими несущими частотами, сигналы АЛС и гармоники тягового тока. С помощью демодулятора и первого фильтра модулирующей частоты из полученного амплитудно-модулированного колебания выделяется сигнал с частотой модуляции. Включение амплитудного ограничителя перед фильтром позволяет повысить защищенность приемника от гармоник тягового тока. Если уровень сигнала на выходе фильтра превышает заданное граничное значение, то на выходе порогового элемента формируется последовательность прямоугольных импульсов с частотой модуляции, которая усиливается выходным усилителем и через второй фильтр частоты модуляции и выпрямитель поступает на путевое реле, приводя к его срабатыванию.

Безопасность данного путевого приемника обеспечивается за счет динамического режима работы всех его элементов. Срабатывание путевого реле происходит только в случае появления на выходе усилителя сигнала с частотой модуляции. Статические отказы различных узлов приемника не приводят к ложному срабатыванию реле.

Рассмотрим возможность использования цифровой обработки сигналов в данном путевом приемнике. Фильтры ВФ и ФМ могут быть реализованы на цифровом сигнальном процессоре (ЦСП) с помощью алгоритмов цифровой фильтрации. Операция амплитудного ограничения может быть запрограммирована с помощью команд сравнения и условных переходов: если входная переменная не превышает заданное граничное значение, то переменная не изменяется, в противном случае переменной присваивается граничное значение. Аналогично, можно реализовать функцию, выполняемую пороговым элементом.

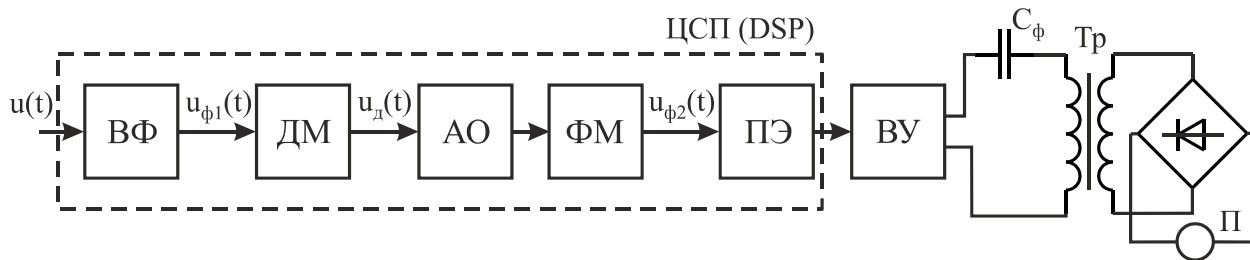


Рис. 1. Структурная схема путевого приемника тональных рельсовых цепей

Существующие амплитудные демодуляторы [10] состоят из нелинейного элемента (диода или транзистора), с помощью которого двухполярный амплитудно-модулированный сигнал преобразуется в однополярный, и фильтра низких частот. Таким образом, демодулятор выполняет нелинейное преобразование АМ сигнала, изменяющее его спектр. В результате этого в спектре сигнала появляется составляющая модулирующей частоты, которая выделяется с помощью фильтра низких частот. При выполнении цифровой обработки в качестве такого нелинейного преобразования можно использовать команду нахождения абсолютного значения величины. В этом случае, также как в схемах диодных и транзисторных детекторов, будет выполняться преобразование двухполярного сигнала в однополярный. При этом в качестве низкочастотного фильтра для выделения сигнала модулирующей частоты можно использовать фильтр ФМ (см. рис. 1). На рис. 2 показаны низкочастотные составляющие спектра модуля амплитудно-модулированного сигнала. Такой спектр был определен численно с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье при частоте несущей 480 Гц и частоте модуляции 12 Гц. Как видно из рис. 2, после выполнения операции «абсолютное значение» в спектре АМ сигнала появляется составляющая модулирующей частоты 12 Гц, а также ее гармоники.

Таким образом, функциональные узлы ВФ, ДМ, АО, ФМ и ПЭ можно реализовать на базе цифрового сигнального процессора, который будет обрабатывать цифровой поток, полученный с помощью аналого-цифрового преобразователя из входного АМ сигнала. При соответствующих параметрах АМ сигнала (уровне, частоте несущей и частоте модуляции) на выходе ЦСП будет формироваться последовательность прямоугольных импульсов с частотой модуляции, которая через выходной усилитель, фильтр C_{ϕ} , T_p и выпрямитель поступит на путевое реле, приводя к его срабатыванию.

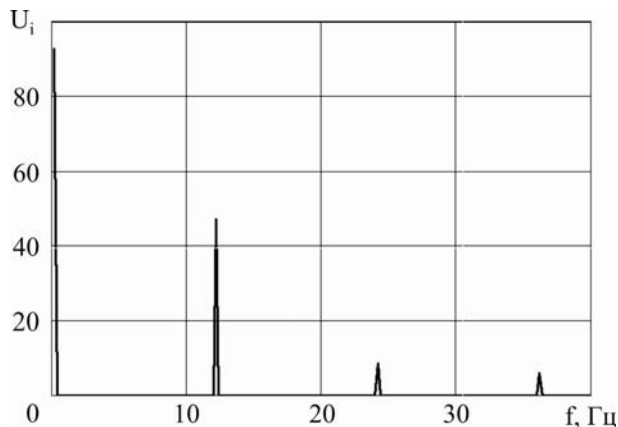


Рис. 2. Низкочастотные составляющие спектра модуля амплитудно-модулированного сигнала

Исследование спектра сигнального тока тональных рельсовых цепей

Для формулировки требований к частотной характеристике синтезируемого входного фильтра путевого приемника проанализируем спектр сигнального тока ТРЦ. На вход приемника поступает сигнал:

$$u(t) = A_0 \cdot u_m(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1)$$

где A_0 – амплитуда сигнала, $\omega_0 = 2\pi f_0$, f_0 – несущая частота, φ_0 – начальная фаза, $u_m(t)$ – модулирующий сигнал, который изображен на рис. 3 и описывается выражением

$$u_m(t) = \begin{cases} 1, & t_{и}(2i-1/2) \leq t < t_{и}(2i+1/2); \\ 0, & t_{и}(2i+1/2) \leq t < t_{и}(2i+3/2), \end{cases} \quad (2)$$

где $t_{и}$ – длительность сигнального импульса, $i = 0, 1, 2, \dots$

Т.к. сигнал $u_m(t)$ является периодическим (см. рис. 3), его можно разложить в ряд Фурье [11]:

$$u_m(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(k\Omega t) + b_k \sin(k\Omega t)], \quad (3)$$

где $\Omega = 2\pi F$, F – частота модулирующего сигнала. Определим коэффициенты ряда Фурье:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} u_m(t) dt = \frac{2}{T} \int_{-\frac{t_n}{2}}^{+\frac{t_n}{2}} dt = \frac{2t_n}{T}, \quad (4)$$

где T – период модулирующего сигнала. Т.к. скважность модулирующих импульсов равна двум, т.е. $T = 2t_n$, то $a_0 = 1$.

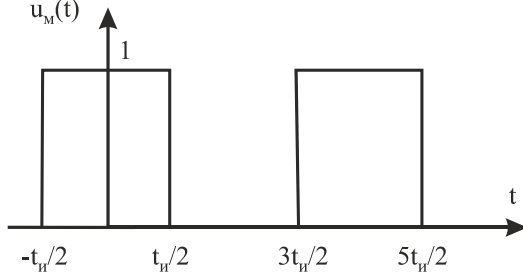


Рис. 3. Временная диаграмма модулирующего сигнала

Определим коэффициенты a_k :

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} u_m(t) \cos(k\Omega t) dt = \frac{2}{T} \int_{-\frac{t_n}{2}}^{+\frac{t_n}{2}} \cos(k\Omega t) dt. \quad (5)$$

После упрощения, учитывая, что $\Omega = \frac{2\pi}{T}$, получим:

$$a_k = \frac{\sin(k\pi/2)}{k\pi/2}. \quad (6)$$

Определим коэффициенты b_k :

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} u_m(t) \sin(k\Omega t) dt. \quad (7)$$

Т.к. сигнал $u_m(t)$ представляет собой четную функцию (см. рис. 3), то коэффициенты b_k равняются нулю. Подставляя выражения (4) и (6) в (3), получим

$$u_m(t) = \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{\sin(k\pi/2)}{k\pi/2} \cos(k\Omega t) \right]. \quad (8)$$

Подставляя выражение (8) в (1), после упрощения получим

$$\begin{aligned} u(t) = & \frac{A_0}{2} \cos(2\pi f_0 t + \varphi_0) + \\ & + \frac{A_0}{2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(k\pi/2)}{k\pi/2} \cos[(2\pi f_0 + 2\pi kF)t + \varphi_0] + \\ & + \frac{A_0}{2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(k\pi/2)}{k\pi/2} \cos[(2\pi f_0 - 2\pi kF)t + \varphi_0]. \end{aligned} \quad (9)$$

На рис. 4 изображен спектр амплитудно-манипулированного сигнала, построенный в соответствии с выражением (9). Как видно, спектр сигнального тока ТРЦ содержит несущую частоту амплитудой $A_0/2$, а также верхнюю и нижнюю боковые полосы, состоящие только из нечетных гармоник.

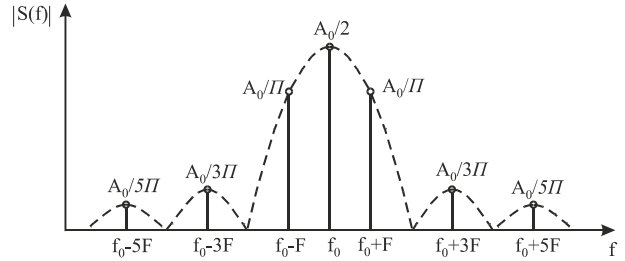


Рис. 4. Спектр амплитуд сигнального тока тональных рельсовых цепей

Синтез цифровых фильтров

Цифровые фильтры делятся на фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) и фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ) [4, 5]. В БИХ-фильтрах возможна потеря устойчивости, что делает неприемлемым их использование для построения ответственных устройств – путевых приемников ТРЦ.

Алгоритм работы КИХ-фильтра описывается разностным уравнением [5]:

$$y(nT) = \sum_{l=0}^N b_l x(nT - lT), \quad (10)$$

где $x(nT)$ и $y(nT)$ – n -е отсчеты входного и выходного сигналов фильтра, b_l – коэффициенты фильтра, N – порядок фильтра. Таким образом, алгоритм цифровой фильтрации предполагает выполнение трех операций: задержку (запоминание) информации, умножение и сложение. Количество таких операций зависит от порядка фильтра. Для построения фильтра необходимо определить значение всех его коэффициентов.

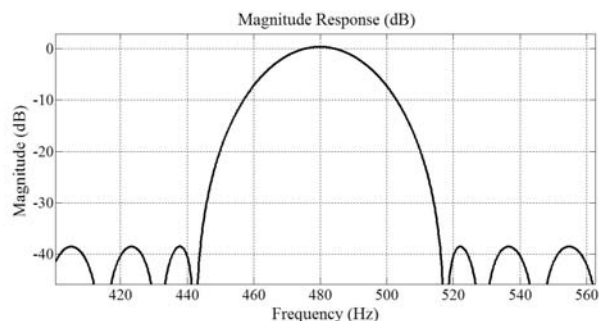
Входной фильтр путевого приемника должен выделять несущую частоту и первые гармоники модулирующей частоты. Исходя из спектра АМ сигнала (см. рис. 4), ширина полосы пропускания входного фильтра должна быть не менее $2F$. В тоже время, согласно [3], затухание сигналов соседних каналов должно составлять не менее 38 дБ.

С помощью программы Filter Design & Analysis Tool (FDATool) пакета MathLab был синтезирован входной фильтр путевого приемника для несущей частоты 480 Гц и частоты модуляции 12 Гц. Параметры фильтра:

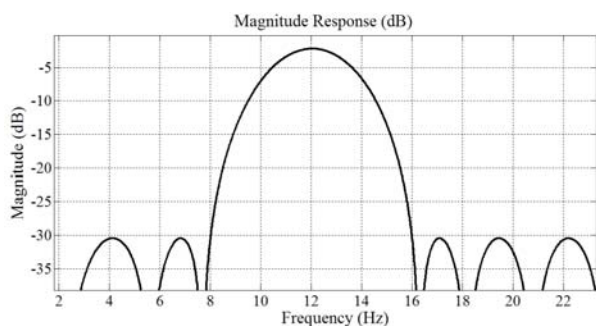
- тип – КИХ-фильтр;

- порядок – 86;
- частота дискретизации – 2 кГц;
- полоса пропускания по уровню 3 дБ – (468...492) Гц;
- полоса задерживания – < 444 Гц, > 516 Гц;
- затухание в полосе задерживания – > 38 дБ.

Амплитудно-частотная характеристика синтезированного фильтра представлена на рис. 5, а.



а)



б)

Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика синтезированных цифровых фильтров:

а – входной фильтр; б – фильтр модулирующей частоты

Фильтр ФМ должен выделять из спектра демодулированного АМ сигнала (см. рис. 2) составляющую модулирующей частоты и надежно подавлять модулирующий сигнал соседних каналов. В существующих путевых приемниках в качестве такого фильтра применяется колебательный контур с добротностью равной шести [1]. Таким образом, при модулирующей частоте 12 Гц полоса пропускания фильтра составляет 2 Гц.

С помощью программы FDATool был синтезирован фильтр модулирующей частоты 12 Гц с такими параметрами:

- тип – КИХ-фильтр;
- частота дискретизации – 2 кГц;
- полоса пропускания по уровню 3 дБ – (11...13) Гц;
- полоса задерживания – < 8 Гц, > 16 Гц;
- затухание в полосе задерживания – > 30 дБ.

Амплитудно-частотная характеристика синтезированного фильтра представлена на рис. 5, б.

Результаты имитационного моделирования

Для исследования цифрового путевого приемника ТРЦ было проведено имитационное моделирование с помощью программы Simulink пакета MathLab. В соответствии со структурной схемой, представленной на рис. 1, была построена модель цифровой части путевого приемника. Моделирование проводилось при частоте несущей 480 Гц, частоте модуляции 12 Гц и амплитуде входного АМ сигнала 1 В. В качестве фильтров ВФ и ФМ были использованы модели цифровых фильтров, синтезированные с помощью программы FDATool (см. рис. 5). На рис. 6 представлены полученные в результате моделирования временные диаграммы сигналов после фильтрации и демодуляции АМ сигнала. Следует отметить, что реальный сигнальный процессор оперирует не уровнями сигнала, представленными в вольтах, а цифровыми отсчетами сигнала, представленными в двоичной системе счисления.

В соответствии с существующими ведомственными нормативными документами [3] при свободной и исправной ТРЦ напряжение на выходе путевого приемника составляет не менее 4,2 В, а при поступлении на вход приемника сигнала соседнего канала – не более 0,1 В. Таким образом, затухание сигналов соседних каналов должно составлять не менее 32,5 дБ. Представленные в табл. 1 результаты моделирования цифрового путевого приемника подтверждают его соответствие данным требованиям.

Таблица 1

Результаты исследования цифрового путевого приемника

Измеряемый параметр	Несущая / модулирующая частота, Гц					
	420/8	420/12	480/8	480/12	580/8	580/12
Амплитуда сигнала на выходе фильтра ФМ, мВ	1,1	1,4	4,2	230	0,9	1,9
Затухание сигналов соседних каналов, дБ	46,4	44,3	34,8	–	48,1	41,7

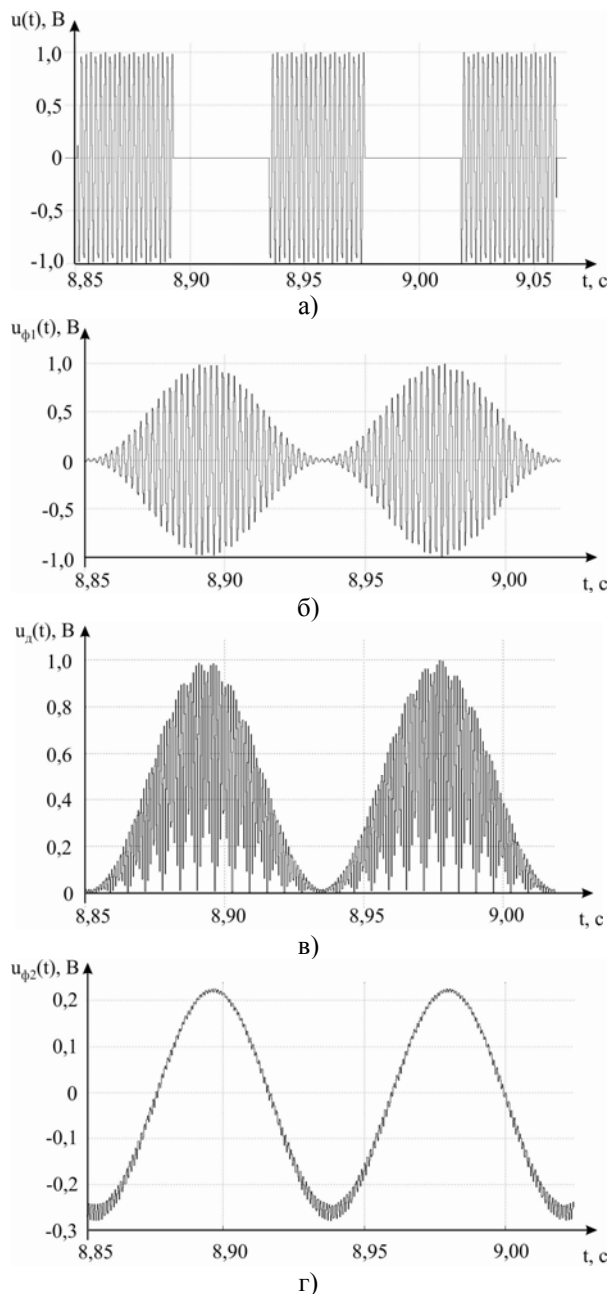


Рис. 6. Временные диаграммы напряжений:
а – на входе путевого приемника; б – на выходе первого
фильтра; в – на выходе нелинейного элемента;
г – на выходе фильтра модулирующей частоты

Выводы

В данной работе показана целесообразность использования цифровой обработки сигналов в путевых приемниках тональных рельсовых цепей. На основании спектрального анализа сигнала тока ТРЦ, с учетом существующих нормативных документов, сформулированы требования к частотным характеристикам цифровых фильтров для путевого приемника. С помощью программы FDATool пакета MathLab выполнен синтез таких фильтров. Проведенное имитационное моделирование показало, что

характеристики синтезированного цифрового приемника соответствуют характеристикам существующих путевых приемников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоров, Н. Е. Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями [Текст] : учеб. пособие / Н. Е. Федоров. – Самара: СамГАПС, 2004. – 132 с.
2. Кулик, П. Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности [Текст] / П. Д. Кулик, Н. С. Ивакин, А. А. Удовиков. – К.: Изд. дом «Мануфактура», 2004. – 288 с.
3. Кулик, П. Д. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл [Текст] : керівний нормативний документ «Укрзалізниця», ЦШ 0041 : Затв.: Наказ «Укрзалізниця» № 745-ЦЗ від 26.12.2005 / П. Д. Кулик, О. О. Удовіков, В. І. Басов. – К.: Мінтрансз'язку України, 2006. – 236 с.
4. Сперанский, В. С. Сигнальные микропроцессоры и их применение в системах телекоммуникаций и электроники [Текст] / В. С. Сперанский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. – 168 с.
5. Цифровые фильтры в электросвязи и радиотехнике [Текст] / под ред. Л. М. Гольденберга. – М.: Радио и связь, 1982. – 224 с.
6. Чепцов, М. М. Методи синтезу сигнально-процесорної централізації стрілок і сигналів [Текст] : монографія / М. М. Чепцов, А. Б. Бойнік, Д. М. Кузьменко. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – 181 с.
7. Чепцов, М. Н. Безопасность программного обеспечения микропроцессорных тональных рельсовых цепей [Текст] / М. Н. Чепцов // 36. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2006. – № 4. – С. 54-61.
8. Чепцов, М. Н. Безопасность программного обеспечения приемника прямого преобразования тональных рельсовых цепей [Текст] / М. Н. Чепцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – № 1. – С. 19-22.
9. О повышении надежности рельсовых цепей с использованием цифровой обработки сигналов [Текст] / А. П. Разгонов [и др.] // Тезисы IV Межд. науч.-практ. конф. «Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте», пгт. Чинадиево. – Д.: ДИИТ, 2011. – С. 65-66.
10. Изюмов, Н. М. Основы радиотехники [Текст] / Н. М. Изюмов, Д. П. Линде. – М.: Радио и связь, 1983. – 376 с.
11. Теория электрической связи [Текст] / под ред. К. К. Васильева. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 452 с.

Поступила в редколлегию 09.11.2010.
Принята к печати 22.11.2010.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕЙКОВИХ КІЛ ТА СИСТЕМИ АВТОБЛОКУВАННЯ НА ПЕРЕВАЛЬНИХ ДІЛЯНКАХ З КРУТИМ ПРОФІЛЕМ

В статті проведено дослідження роботи рейкових кіл та системи автоблокування на перевальній ділянці з крутим профілем. Проведено тягові розрахунки, здійснено оцінку теплових режимів роботи дросель-трансформаторів, розраховано режими роботи рейкових кіл при встановленні двох дросель-трансформаторів на живлячому та релейному кінцях.

Ключові слова: рейкове коло, дросель-трансформатор, теплові режими

В статье проведено исследование работы рельсовых цепей и системы автоблокировки на перевальном участке с крутым профилем. Были проведены тяговые расчеты, произведена оценка тепловых режимов работы дросель-трансформаторов, рассчитаны режимы работы рельсовых цепей при установке двух дросель-трансформаторов на питающем и релейном концах.

Ключевые слова: рельсовая цепь, дросель-трансформатор, тепловые режимы

Functioning of the track circuits and automatic block system on a pass section with a steep profile has been investigated. The traction calculations, the thermal operating modes of choke transformers, the operating regimes of track circuits with installing two choke transformers on supply and relay ends have been determined.

Keywords: track circuit, choke transformer, thermal modes

Вступ

На сьогоднішній день залізничний транспорт України зазнає модернізації та вдосконалення. Внаслідок розвитку економіки підвищується вантажообіг, зростають швидкості, збільшується пропускна здатність, тому висуваються більш жорсткі вимоги щодо безпеки руху. Модернізація є пріоритетним напрямком в забезпеченні високоефективного функціонування залізниці в цілому.

Та на цьому шляху в окремих випадках постають труднощі, які пов'язані з роботою застарілої елементної бази або з проблемами забезпечення електромагнітної сумісності пристроїв СЦБ та зв'язку з пристроями тягового електропостачання [1].

Постановка задачі

Не дивлячись на стрімкий стрибок науково-технічного прогресу та впровадження новітніх технологій, існують ділянки доріг, де питання безпеки руху досі залишаються відкритими. Використання рейок для пропуску зворотного тягового струму висуває вимоги щодо забезпечення безвідмовної роботи пристроїв залізничної автоматики. До основних факторів, що впливають на роботу рейкових кіл, відносяться термічні, заважаючі, пошкоджуючі та параметричні. Рейкові кола (РК) є самими ненадійними елементами залізничної автоматики і водночас від їхньої справної роботи залежить

забезпечення технологічного процесу перевезення вантажів і пасажирів.

На перевальних гірських ділянках з крутим профілем робота РК дуже ускладнюється і є досить проблематичною, адже для створення достатнього для руху потягу тягового зусилля потрібно, як правило, декілька локомотивів. Це, у свою чергу, призводить до споживання рухомим складом великих тягових струмів, які здійснюватимуть термічний вплив на апаратуру СЦБ, і, відповідно, на режими роботи РК.

Питання впливу тягового струму на роботу РК досліджувалися в 70-х роках науковцями ВНІЖТУ, зокрема М. В. Пенкіним. Вченими було розроблено методику розрахунку дросель-трансформаторів (ДТ). Та дані розрахунки стосувалися застарілих ДТ, що на сьогоднішній день не використовуються на залізниці. Тому постала проблема дослідження теплових режимів роботи ДТ, що на даний час мають широке застосування на залізниці. Проблема є актуальною і потребує детального дослідження.

Метою роботи є дослідження роботи РК та системи автоблокування на перевальній ділянці з крутим профілем.

В роботі ведеться дослідження термічного впливу, якого в значній мірі зазнає апаратура РК. Основними елементами, що зазнають термічного впливу, є дросель-трансформатори (ДТ), дросельні перемички (ДП) та стикові з'єднувачі (СЗ). Вище приведені елементи повинні володіти високою електропровідністю та

термічною стійкістю для забезпечення коректної роботи РК.

Було розглянуто перевальну ділянку Лавочне – Бескид – Скотарське, що знаходиться в Карпатах. Ділянка є дуже проблематичною, адже знаходиться на підйомі 30,4 ‰ і для того, щоб розвинути достатнє для такого підйому тягове зусилля, використовується чотири локомотиви типу ВЛ-11. Під час проведення тягових розрахунків силу тяги, що потрібна одному електровозу на розрахунковому підйомі було визначено за формулою:

$$F_{k_{\text{ел}}} = \frac{Q(W_o'' + i_p) + P(W_o' + i_p)}{4}, \quad (1)$$

де $F_{k_{\text{ел}}}$ – сила тяги, кгс;

Q – фактична маса потягу, т;

i_p – питомий опір на розрахунковому підйомі, кг/т;

W_o'' – основний питомий опір рухові електровозу ВЛ-11;

W_o' – основний питомий опір рухові чотирьох основних вагонів на роликів підшипниках;

P – вага електровозу ВЛ-11.

Внаслідок проведеного тягового розрахунку було встановлено, що сила тяги одного електровоза дорівнює $F_{k_{\text{ел}}} = 38154$ кгс, рівні тягових струмів складають 7200 А. Цей показник є дуже великим, адже в РК звичайних ділянок з електричною тягою постійного струму за нормальної роботи такий струм майже не спостерігається. Тому відразу постає питання термічного впливу на РК, а саме на ДП, СЗ та ДТ. Призначенням ДТ є пропуск зворотного тягового струму в обхід ізолюючих стиків та узгодження низькоомного опору рейкової лінії з високоомним опором живлячого кінця (ЖК) і релейного кінця (РК) [2].

На перегоні, що розглядається, встановлені дросель-трансформатори типів ДТ-0,6-1000 на ЖК та ДТ-0,2-1000 на РК. ДТ таких типів можуть пропускати по кожній з напівобмоток струм 1000 А, а через дросельну перемичку – 2000 А [3]. Приварні стикові мідні з'єднувачі пропускають від 70 до 90 % струму при ослабленні затяжки болтів, а допустима величина струму, який пропускає мідний стиковий з'єднувач при тязі постійного струму складає 1100 А, для сталевих з'єднувачів цей показник сягатиме 800 А. Для мідних та сталевих перемичок допустимі струми будуть розподілятися відповідно 1100 А та 1400 А. В процесі руху електровозу в середині міжпідстанційної зони

струм розтікатиметься в обох напрямках і розділятиметься приблизно на рівні частини (по двом рейкам), тому виходячи з отриманих внаслідок тягових розрахунків даних по кожній з рейок протікатиме максимальний струм порядку 1800 А. Ближче до підстанції струм буде вище цієї величини. Порівнюючи цей показник з вищенаведеними допустимими нормами струмів, можна з упевненістю стверджувати, що робота ДТ, ДП, СЗ порушуватиметься.

Теплові режими роботи дросель-трансформаторів

Якщо розглянути особливості теплового режиму роботи колійного дроселя, то нагрівання обмотки та сталевих осердя ДТ від сигнального струму є досить малим і ним можна знехтувати. Нагрівання викликане головним чином проходженням тягового струму по обмоткам ДТ [5].

Рух потягу вздовж перегону супроводжується постійною зміною потужності, що споживається з контактної мережі. Це викликано нерівномірністю ведення локомотиву. Внаслідок цього рівень тягового струму, що споживається з контактної мережі, постійно різнитиметься і, у свою чергу, буде визначати струм в рейках та струм через ДТ зокрема [4]. Таким чином ДТ знаходиться під впливом струму, рівень якого постійно змінюється в процесі руху локомотива і саме він визначатиме ступінь нагрівання ДТ.

Місцем виділення тепла в ДТ є обмотка, від неї тепло передається маслу, а від масла – до стінок ДТ, які виділятимуть тепло у навколишнє середовище шляхом випромінювання та конвекції. Оскільки по обмотках ДТ протікає струм, що майже у два рази перевищує допустимі норми, що не передбачено конструкцією ДТ, то робота ДТ порушується.

Було проведено теоретичне дослідження теплових режимів роботи ДТ при протіканні розрахованих тягових струмів [5].

$$t = -\tau \cdot \ln \left(1 - \frac{\theta_1}{\theta_{m1}} \right), \quad (2)$$

де t – час, за який ДТ перегрівається до температури 115 °С;

τ – стала часу;

θ_1 – допустима температура перегріву масла по відношенню до повітря навколишнього середовища, град;

θ_{m1} – конструктивний параметр, що залежить від потужності ДТ, конструкції та коефіцієнта теплопередачі від масла до повітря.

Було отримано графік, що показує, за який час температура перегріву ДТ досягатиме 115°C за відповідних величин тягових струмів (рис. 1). На даному графіку: 1 – крива для ДТ-0,2-1000, 2 крива для – ДТ-0,6-1000.

При більш високій температурі бітумна мастика в місцях виводу ДТ може розплавитися, а також спостерігатиметься розгерметизація корпусу. При тяговому струмі 1800 А, що протікатиме по кожній з напівобмоток дроселя, ДТ-0,6-1000 та ДТ-0,2-1000 нагріватимуться до критичної температури відповідно за 4.5 хв та 7 хв. Але це виконуватиметься за умови, що рухомий склад, споживаючи максимальний струм, весь час знаходитиметься в точці підключення ДТ. В процесі руху потягу частина тягового струму протікатиме через землю і тяговий струм в точці підключення ДТ буде змінюватися та досягатиме свого максимуму тільки при проїзді рухомих складом ординати ДТ.

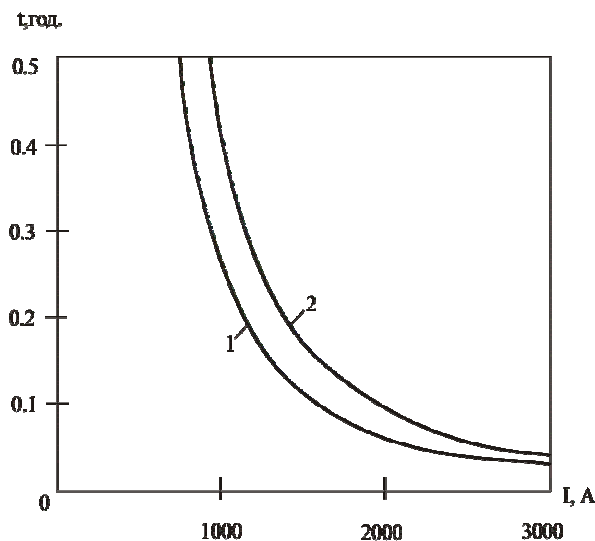


Рис. 1. Графік залежності часу, за який ДТ перегріється до температури 115°C , від величини тягового струму:

- 1 – крива перегріву ДТ-0,2-1000;
- 2 – крива перегріву ДТ-0,6-1000

Між станціями Лавочне – Бескид – Скотарське відстані складають не більше 5 км, то припустивши, що локомотиви рухатимуться із середньою швидкістю 30 км/год, можна стверджувати, що загальний час руху по перегону даного рухомого складу – менше 10 хв.

Оскільки потяг рухатиметься, поширення тягових струмів залежатиме не тільки від місцезнаходження рухомого складу, а й від розміщення тягових підстанцій. За деяких обставин може спостерігатися перегрів ДТ, ДП та СЗ. Внаслідок чого порушуватиметься нормальне функціонування РК.

Якщо взяти до уваги такий важливий параметр, як коефіцієнт асиметрії, то його граничне значення за технічними умовами дорівнює $k_a = 0,12$. В такому випадку різниця струмів у рейках дорівнюватиме $\Delta I = 432 \text{ А}$. В дійсності коефіцієнт асиметрії може досягти значень від 20 до 30 %. Внаслідок протікання великих тягових струмів через ДТ виникає таке явище, як насичення осердя ДТ, в результаті чого вхідний опір ДТ сигнальному струму значно знизиться, це може призвести до зниження напруги на колійному приймачі до значення напруги непритягання якоря реле. Тобто ріст струму асиметрії може викликати параметричну відмову рейкового кола.

Як альтернативне вирішення проблеми нагрівання ДТ внаслідок протікання великих тягових струмів пропонується дублювання ДТ відповідно на ЖК та РК (рис. 2). Як зазначалося вище, ДТ призначені для пропуску зворотного тягового струму, тому в даному випадку ДТ будуть виконувати не тільки свою основну функцію, а й додаткову – знижуватимуть великі навантаження, що мають місце за встановлення по одному ДТ на ЖК та РК. Це допоможе вирішити проблему нагрівання ДТ.

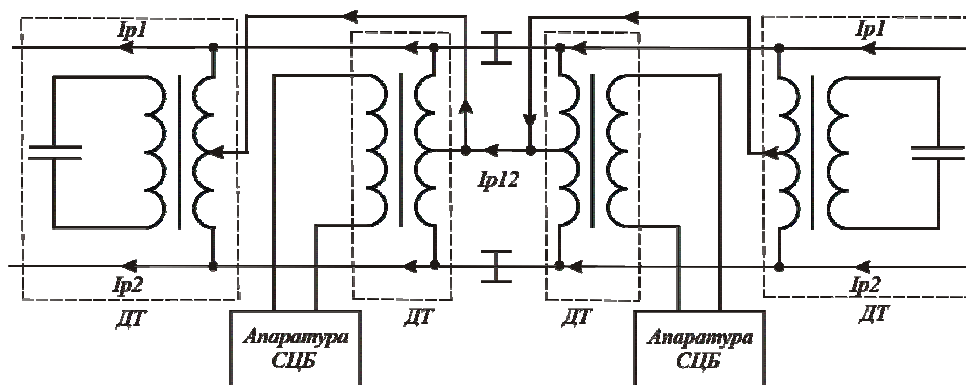


Рис. 2. Схема паралельного підключення двох ДТ на релейному та живлячому кінцях

До РК висуваються вимоги, які за будь-яких умов повинні виконуватися. До цих вимог в першу чергу належить передача інформації про вільність РК за відсутності рухомого складу та інформація про зайнятість РК за наявності хоча би однієї колісної пари рухомого складу або при пошкодженні рейки [3]. Виходячи з цього, при розрахунках та дослідженнях розрізняють режими роботи РК. Проведено розрахунок роботи РК з двома ДТ у наступних режимах: нормальному, шунтовому, контрольному та АЛСН. Кожному з вище приведених режимів роботи відповідає певна схема заміщення, в якості якої застосовується каскадна схема з трьома чотириполюсниками: Н – початку, РЛ – рейкової лінії, К – кінця. Чотириполюсник Н включає апаратуру живлячого кінця: дросель – трансформатори, узгоджуючі трансформатори, обмежувачі та ін. [7] Чотириполюсник К включає всю апаратуру релейного кінця та колійний приймач. Усі коефіцієнти чотириполюсників Н та К беруться незмінними. В розрахунках для дросель-трансформатора типу ДТ-0,6-1000 було взято коефіцієнт трансформації $n = 15$, для ДТ-0,2-1000 – $n = 17$. При паралельному з'єднанні двох однакових чотириполюсників застосовуються додаткові перетворення, що полягають спочатку у переході до Y-форми:

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y'_{11} & Y'_{12} \\ Y'_{21} & Y'_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y''_{11} & Y''_{12} \\ Y''_{21} & Y''_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2D}{B} & -\frac{2}{B} \\ -\frac{2}{B} & \frac{2A}{B} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де A, B, D – коефіцієнти чотириполюсників, які паралельно з'єднуються;

$Y'_{11}, Y'_{12}, Y'_{21}, Y'_{22}, Y''_{11}, Y''_{12}, Y''_{21}, Y''_{22}$ – коефіцієнти чотириполюсників, що утворилися внаслідок Y-перетворення;

$Y_{11}, Y_{12}, Y_{21}, Y_{22}$ – результуюча матриця суми перетворених чотириполюсників.

Далі здійснюється перехід до A-форми:

$$\begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{Y_{22}}{Y_{21}} & -\frac{1}{Y_{21}} \\ \frac{\Delta_y}{Y_{21}} & -\frac{Y_{11}}{Y_{21}} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де Δ_y – детермінант результуючої матриці суми перетворених чотириполюсників;

A', B', C', D' – коефіцієнти результуючої матриці A-форми.

Розрахунок режимів роботи рейкових кіл (РК) з двома ДТ на ЖК та РК показав, що режими роботи рейкових кіл відповідають нормативним [5]. Особливу увагу слід приділити шунтовому режиму роботи, який повинен виконуватися за найгірших умов [2]. Шунтовий режим в значній мірі залежить від того, де на РЛ знаходиться шунт. Якщо шунт знаходиться в місці мінімальної шунтової чутливості, то спостерігатимуться найнесприятливіші умови для шунтового режиму. Внаслідок дослідження шунтового режиму роботи, за якого було визначено коефіцієнти шунтової чутливості на ЖК та РК, виявилось, що він є критичним за умови знаходження шунта на РК. Це можна пояснити зниженням опору на ЖК та РК. Тому паралельно обмотці ДТ пропонується встановити ємність, налаштовану в резонанс. Саме така схемна реалізація, як показали розрахунки, забезпечує шунтовий режим роботи рейкових кіл згідно нормативним.

Водночас запропонований спосіб вирішення проблеми нагрівання ДТ має суттєвий недолік. Він полягає у тому, що встановлення двох ДТ на ЖК та РК не є економічно ефективним внаслідок високої вартості. Тому розглядається варіант встановлення тональних рейкових кіл (ТРК), які з часом знаходять все більше застосування. До основних переваг ТРК належать: підвищення завадостійкості та зниження взаємного впливу між рейковими колами внаслідок використання сигнального струму тонального діапазону, відсутність ізолюючих стиків, завдяки чому забезпечується безперервність кола повернення тягового струму та зниження кількості дросель-трансформаторів, які встановлюватимуться тільки для вирівнювання потенціалів в рейках.

Висновки

В роботі було проведено дослідження роботи РК та системи автоблокування на перевальній ділянці Лавочне – Бескид – Скотарське з крутим профілем. В результаті тягових розрахунків було визначено рівні тягових струмів. Було проведено дослідження термічного впливу зворотного тягового струму на ДТ, ДП та СЗ. Побудовано залежність часу перегріву ДТ до температури 115 °С при дії тягового струму. Запропоновано схемне вирішення проблеми нагрівання ДТ, що реалізоване у вигляді дублювання ДТ на ЖК та РК. Проведено розрахунок режимів роботи рейкових кіл з двома ДТ відповідно вимог, що їм висуваються. Внаслідок проведеного аналізу розрахунку запропо-

новано та розраховано схемне вирішення проблеми зниження вхідного опору РК і, як наслідок, суттєве покращення шунтового режиму роботи. В перспективі розглядається варіант переобладнання перегону тональними рейковими колами.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Наумов, А. В. Критерии выбора параметров обратной тяговой (рельсовой) сети при пропуске поездов повышенной массы и длины [Текст] / А. В. Наумов, А. А. Наумов // Автоматика, связь, информатика. – Вып. 2. – М., 2002. – 638 с.
2. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание [Текст] / В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М.: Транспорт, 1990. – С. 295.
3. Котляренко, Н. Ф. Электрические рельсовые цепи [Текст] / Н. Ф. Котляренко. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 327 с.
4. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] : учебник для вузов ж.-д. трансп. - 4-е изд., перераб. и доп. / К. Г. Марквардт. - М.: Транспорт, 1982. - 528 с.
5. Разгонов, А. П. Дослідження систем автоблокування на перевальних ділянках з крутим профілем [Текст] / А. П. Разгонов, К. І. Ящук // Матеріали III-ї Міжн. наук.-практ. конф. «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті». – Д.: Вид-во ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2010.
6. Вплив тягового струму асиметрії на роботу рейкових кіл [Текст] / А. П. Разгонов [та ін.] // Матеріали IV-ї Міжн. наук.-практ. конф. «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті». – Д.: Вид-во ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2011.
7. Рельсовые цепи магистральных железных дорог [Текст] / В. С. Аркатов [и др.]. – М.: Транспорт, 1982. – 364 с.

Надійшла до редколегії 24.01.2011.

Прийнята до друку 27.01.2011.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РЕЛАКСАЦІЇ ПОТЕНЦІАЛУ В КУЛОНОСТАТИЧНИХ УМОВАХ ДЛЯ ВИПАДКУ ГРАНИЧНОГО ДИФУЗІЙНОГО СТРУМУ

Представлено математичну модель кулоностатичної релаксації потенціалу твердого металевого електрода. Отримано рішення для випадку граничного дифузійного струму. На основі моделі запропоновано методику виміру концентрацій іонів важких металів у розбавлених розчинах. Адекватність моделі підтверджена експериментальними даними.

Ключові слова: кулоностатичні умови, граничний дифузійний струм, потенціал

Представлена математическая модель кулоностатической релаксации потенциала твердого металлического электрода. Получено решение для случая предельного диффузионного тока. На основе модели предложена методика измерения концентраций ионов тяжелых металлов в разбавленных растворах. Адекватность модели подтверждена экспериментальными данными.

Ключевые слова: кулоностатические условия, граничный диффузионный ток, потенциал

A mathematical model of coulstatic relaxation of the potential for solid metallic electrode was presented. The solution in the case of limiting diffusion current was obtained. On the basis of this model the technique of concentration measurements for heavy metal ions in diluted solutions was suggested. The model adequacy was proved by experimental data.

Keywords: coulstatic cases, limiting diffusion current, potential

Постановка проблеми

Контроль концентрації іонів важких металів в стічних водах на виході з очисної установки відбувається із дотриманням наступних умов:

- аналіз належить проводити періодично з метою своєчасної зміни режиму очищення і постійного утримання відповідних концентрацій нижче рівня гранично допустимих;
- вимірювання бажано проводити *in situ*, по можливості виключивши або максимально спростивши пробовідбір і пробопідготування;
- на результати вимірювань не повинен впливати гідродинамічний режим в зливній системі.

Очевидно, що більшість із існуючих аналітичних методів, в тому числі й класичний полярографічний, не задовольняють переліченим вище вимогам. Ось чому дуже перспективним уявляється використання для вирішення цієї задачі кулоностатичного метода, суть якого визначається наступною процедурою [1]. До електрохімічної системи подається заданий за величиною заряд, після чого зовнішнє (зарядне) коло розмикається. Потенціал релаксує до свого початкового стаціонарного значення, причому

швидкість релаксації визначається електрохімічними процесами, що протікають в системі. Це дозволяє розраховувати характеристики системи, виходячи з її еквівалентної електричної схеми. Якщо вибрати робочий електрод на 2...3 порядки меншим за площею від протиелектрода, то релаксація потенціалу буде залежати виключно від процесів, що протікають безпосередньо в ближньому оточенні робочого електрода. Малий розмір електрода призводить до того, що навіть невеликий заряд викликає значне відхилення потенціалу від стаціонарного значення, не збурюючи при цьому електрохімічну систему значним чином. Следствием цього є можливість проводити 10...20 кулоностатичних вимірів протягом кожної секунди. Мала тривалість релаксації та протікання процесу біля поверхні, де рух рідини уповільнюється, в свою чергу, робить метод нечутливим до змін гідродинамічного режиму. Цей факт був обґрунтований експериментально.

Суттєвим також є те, що потенціал спадає при фактичній відсутності струму між електродами і омична складова електричного опору розчину не дає свого внеску в падіння потенці-

алу. Експеримент доводить, що кулоностатичні вимірювання можливо проводити навіть у бідистильованій воді; релаксація протікає за відновлення іонів розчиненого кисню. Отже, не має потреби в штучному зменшенні опору розчину перед вимірюванням за рахунок вводу до електроліта індеферентних іонів. Це значно спрощує пробопідготування.

Залежність потенціалу релаксації твердого металевго електрода від часу $E(t)$ описується рівнянням [2]

$$K(D^n E/Dt^n) = -i, \quad (1)$$

де функціонал в лівій частині визначений як:

$$\frac{D^n E}{Dt^n} \equiv \frac{1}{\Gamma(1-n)} \int_0^t \frac{dE(\tau)/d\tau}{(t-\tau)^n} d\tau, \quad (2)$$

де K , n – параметри елементу сталої фази (див. [2]); $i(t)$ – густина струму; Γ – гама-функція.

Ціллю цієї роботи є отримання математичних співвідношень і розробка методики автоматизованого вимірювання концентрацій іонів важких металів.

Вирішення задачі

Рішення рівняння (1) було отримано за умови оборотної реакції на електроді, коли швидкість процесу в цілому обмежується транспортом іонів до електрода. Для цього представимо рівняння Фіка для дифузії електроактивних компонентів згідно теореми Дюгамеля у вигляді:

$$C_O(0,t) = C_O^* + \frac{1}{mF(\pi D_O)^{1/2}} \int_0^t \frac{i_F(\tau)}{(t-\tau)^{1/2}} d\tau; \quad (3)$$

$$C_R(0,t) = C_R^* - \frac{1}{mF(\pi D_R)^{1/2}} \int_0^t \frac{i_F(\tau)}{(t-\tau)^{1/2}} d\tau \quad (4)$$

з початковими умовами

$$C_O(x, 0) = C_O^*; \quad C_R(x, 0) = C_R^* = 0, \quad (5)$$

де $C_O(x, t)$, $C_R(x, t)$ – відповідно концентрації окисненої та відновленої форм як функції відстані до електрода і часу; $D_O(x, t)$, $D_R(x, t)$ – їхні коефіцієнти дифузії; m – кількість електронів, які переносяться під час електрохімічної реакції; F – стала Фарадея.

Рівняння (1) можна представити у вигляді:

$$\frac{K}{\Gamma(1-n)} \int_0^t \frac{dE(\tau)/d\tau}{(t-\tau)^n} d\tau + i_F = \Delta Q \cdot \delta(t), \quad (6)$$

де i_F – густина струму електрохімічної реакції; ΔQ – наданий системі заряд; $\delta(t)$ – дельта-функція Дірака.

Припускаючи, що виконується закон Нернста, отримаємо:

$$C_O(0,t)/C_R(0,t) = \exp[(mF/RT)(E(t) - E^0)] = \\ = P \exp[(mF/RT)\Delta E], \quad (7)$$

де R – універсальна газова стала; T – температура; E^0 – рівноважний потенціал.

Враховуючи початкові умови, (3) та (4) можна представити в вигляді:

$$C_O(0,t) = C_O^* - \frac{a}{D_O^{1/2}} S(t), \quad (8)$$

$$C_R(0,t) = \frac{a}{D_R^{1/2}} S(t), \quad (9)$$

де $a = 1/(mF\pi^{1/2})$, $S(t) = -\int_0^t \frac{i_F(\tau)}{(t-\tau)^{1/2}} d\tau$; звідси витікає, що

$$S(t) = \frac{C_O^*}{a[D_O^{-1/2} + D_R^{-1/2}(C_O(0,t)/C_R(0,t))]} \cdot (9')$$

Підстановка (8) та (9) в останнє рівняння дає

$$\frac{K}{\Gamma(1-n)} \int_0^t \frac{d\vartheta}{(t-\vartheta)^{1/2}} \int_0^{\vartheta} \frac{d\Delta E/d\tau}{(\vartheta-\tau)^n} d\tau - \Delta Q \int_0^t \frac{\delta(\vartheta)}{(t-\vartheta)^n} d\vartheta = \\ = \frac{C_O^*}{a[D_O^{-1/2} + D_R^{-1/2} P \exp((mF/RT)\Delta E)]} \cdot (10)$$

У повторному інтегралі $E(t)$ було замінено на $\Delta E(t)$, що стало можливим завдяки тому, що функціонал від $E(t)$ був вибраний у вигляді (2).

Якщо початковий потенціал релаксації E_0 є сильно зсунутим в негативний бік, то P мале й можна знехтувати відповідним членом в знаменнику правої частини (10). В цьому випадку, виконуючи інтегрування з дельта-функцією, отримаємо:

$$\frac{K}{\Gamma(1-n)} \int_0^t \frac{d\vartheta}{(t-\vartheta)^{1/2}} \int_0^{\vartheta} \frac{d\Delta E/d\tau}{(\vartheta-\tau)^n} d\tau - \frac{\Delta Q}{t^{1/2}} = \frac{C_O^*}{aD_O^{-1/2}} \cdot (11)$$

Рішення рівняння (11) можна отримати, використовуючи перетворення Лапласа. Трансформанта ΔE задовольняє рівнянню:

$$\frac{K}{s^{1/2}} \cdot \frac{s\overline{\Delta E} + E_0}{s^{1-n}} - \frac{\Delta Q}{s^{1/2}} = \frac{C_o^*}{a(D_o/\pi)^{1/2}} \cdot \frac{1}{s}. \quad (12)$$

Вирішуючи (12) відносно $\overline{\Delta E}$, отримаємо:

$$\overline{\Delta E} = \frac{\Delta Q}{Ks^n} - \frac{E_0}{s} + \frac{C_o^*}{aK(D_o/\pi)^{-1/2}} \cdot \frac{1}{s^{n+1/2}}. \quad (13)$$

Виконуючи зворотнє перетворення, можна представити залежність спаду потенціалу від часу в формі:

$$E(t) = \frac{\Delta Q}{K\Gamma(n)} \cdot \frac{1}{t^{1-n}} + \frac{C_o^* m F D_o^{1/2}}{K\Gamma(n+1/2)} \cdot t^{n-1/2}. \quad (14)$$

Початковий потенціал релаксації для випадку зарядження електрода прямокутним імпульсом тривалістю T визначається співвідношенням:

$$E_0 = \frac{I}{K} \cdot \frac{T^n}{\Gamma(n+1)} = \frac{\Delta Q}{K \cdot T^{1-n} \cdot \Gamma(n+1)}. \quad (15)$$

Якщо $n = 1$, то отримуємо звичайний $t^{1/2}$ закон спаду для напівнескінченної дифузії. При $n < 1$ перший член в правій частині (14) наближається до нескінченності при $t \rightarrow 0$, що пов'язано з дельтовидним виглядом зарядного імпульсу. Якщо тривалість імпульсу є кінцевою, але достатньо малою, на малому часі релаксації помилка визначення C_o^* також буде дуже велика через превалюючий внесок першого члена.

Методика визначення концентрації

Звичайна методика визначення концентрації високоамплітудним кулоностатичним методом, що базується на розрахунку тангенса кута нахилу релаксаційної кривої в координатах $E - t^{1/2}$ [3], призводить до нелінійної залежності тангенса від концентрації. Це пов'язано з відмінностями, які вносить урахування елемента сталої фази до часової залежності потенціалу (14). Оскільки перший член в (14) не залежить від C_o^* , а визначається тільки властивостями електрода та величиною наданого заряду, була розроблена методика визначення концентрації іонів важких металів із використанням інтегральної характеристики:

$$J = \int_{t_1}^{t_2} E(\tau) d\tau. \quad (16)$$

Моменти часу t_1, t_2 фіксовані для всіх вимірів; тим самим різниця між інтегралами (16), що обчислені для заданої концентрації та для фону, згідно (14) враховує тільки внесок члена, який залежить від концентрації.

Основна проблема, яка виникає при розрахунках інтегралів (16), це питання, як урахувати кінцеву похибку вимірювань у випадку, коли еквівалентна схема процесу апріорно не задана, особливо коли електрохімічна система, що вивчається, може характеризуватися кількома часовими константами. Одним із можливих шляхів вирішення цієї проблеми є отримання додаткової інформації під час експерименту. Зокрема, для багатьох випадків трансформанта потенціалу кривої спаду, якщо її нормувати на E_0 , не залежить від форми зарядного імпульсу струму, якщо його тривалість достатньо мала. Отже, реєструючи релаксацію потенціалу в різних часових діапазонах, змінюючи при цьому величину наданого заряду, можливо збільшити чутливість методу при великому часі (в області низьких частот). Для цього потрібно кожен криву нормувати на відповідну їй величину E_0 та вибрати найбільш інформативну частку для даного часового діапазону. Така процедура збільшує загальну тривалість циклу вимірювання, але несуттєво у порівнянні з тривалістю вимірювань в загальноприйнятих методиках.

При переході до реальних об'єктів надзвичайно важливим є питання про можливість отримання неперервної сумарної релаксаційної кривої після нормування.

Остаточно, процес кожного вимірювання включає два етапи. Перший, попередній, служить для приведення електрода в заданий стан. На цьому ж етапі визначаються параметри елемента сталої фази, необхідні для розрахунку концентрації. Другий етап складається з одного або кількох записів кривої спаду потенціалу, розрахунку інтегральної характеристики та порівняння отриманих даних з калібровочною прямою. Загалом процес вимірювання займає 2...3 с.

Адекватність моделі

Залежності J від ΔQ експериментально досліджувались у хромовмісних розчинах із концентрацією хрому в діапазоні $5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-3}$ М.

Для забезпечення необхідних метрологічних характеристик аналізу, високої чутливості та відтворюваності результатів, в якості матеріалу робочого електрода вибране золото, з урахуванням його електрохімічної інертності в широкому діапазоні потенціалів, високої перенапруги виділення водню та кисню, низького омичного опору та простоти процесу підготування поверхні. Електроди виготовлялися із золотого (99,99 %) дроту, який запресовувався у фторопласт при високій температурі.

Встановлено, що залежності J від ΔQ приводять до лінійного калібровочного графіка, що свідчить про адекватність запропонованої моделі процесам, які протікають при релаксації потенціалу в області, що відповідає граничному дифузійному струмові.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Delahay, P. Fundamentals of coulometric analysis [Text] / P. Delahay // Anal. Chem. – 1962. – v. 34, No. 10. – P. 1267-1272.
2. Капітонов, О. Г. Математична модель релаксації електричного заряду на твердофазних електродах. Питання адекватності [Текст] / О. Г. Капітонов // Системні технології. Регіональний міжвуз. зб. наук. пр. – Вип. 2 (67). – Д., 2010. – С. 96-99.
3. Kudirka, J. M. Comparison of coulometric data analysis techniques [Text] / J. M. Kudirka, P. H. Daum, C. G. Enke // Anal. Chem. – 1972. – v. 44, No. 2. – P. 309-314.

Надійшла до редколегії 14.05.2010.

Прийнята до друку 19.05.2010.

КОМПРОМІСНО-ОПТИМАЛЬНІ ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ НА МНОЖИНІ ПАРЕТО

Задача оптимальних тягових розрахунків розглядається як задача про оптимальне розподілення ресурсу. Рішення засновано на динамічному програмуванні. Використовується покрокове обчислення множини точок оптимальних за Парето значень цільової функції (витрати енергії) і ресурсу (час).

Ключові слова: цільова функція, витрати енергії, динамічне програмування

Задача оптимальных тяговых расчетов рассматривается как задача об оптимальном распределении ресурса. Решение основывается на динамическом программировании. Используется пошаговое вычисление множества точек оптимальных по Парето значений целевой функции (затраты энергии) и ресурса (время).

Ключевые слова: целевая функция, затраты энергии, динамическое программирование

The problem of optimum traction calculations is considered as a problem about optimum distribution of a resource. The dynamic programming solution is based on a step-by-step calculation of set of points of Pareto-optimum values of a criterion function (energy expenses) and a resource (time).

Keywords: criterion function, expense of energy, dynamic programming

Тягові розрахунки є прикладної частиною теорії тяги поїздів і дозволяють вирішувати численні практичні задачі, що виникають при проектуванні та експлуатації залізниць.

На залізничному транспорті методи розробки тягових розрахунків і необхідні для їх виконання нормативи регламентуються Правилами тягових розрахунків (ПТР) для поїзної роботи [1–6].

В даний час тягові розрахунки виконуються, переважно, з допомогою засобів обчислювальної техніки. Для математичного формулювання задачі необхідно враховувати фізичну суть явищ, що супроводжують процес руху поїзда, основні прийоми та способи тягових розрахунків. У більшості випадків тягові розрахунки вимагають оперативності їх проведення.

Сьогодні, мабуть, найактуальнішою проблемою є проблема економії енергоресурсів. У той же час необхідно вантаж доставляти під час, а в багатьох випадках – в найкоротші терміни.

Метою роботи є розробка чисельного методу оптимальних тягових розрахунків з використанням векторної оптимізації для двох показників.

Актуальність

Одним з радикальних способів, що забезпечує стійкість на ринку надання транспортних послуг, є економія енергоресурсів. Залізнична мережа України органічно зливається з залізницями Росії, Білорусії, Польщі, Чехословаччини, Румунії та ін. Географічне розташування України має великий потенціал до транзитних перевезень. Незважаючи на істотне зниження

обсягів перевезень, умови роботи залізничних підприємств України залишаються важкими і це в першу чергу пов'язано із щорічним зростанням цін на енергоносії. Значна частка використання енергії припадає на забезпечення тяги поїздів. Проблемі економії енергоресурсів приділяється постійна і пильна увага у всіх галузях промисловості і не тільки на транспорті.

Сьогодні важливою проблемою є створення компромісно-оптимальних режимів тяги поїздів для показників споживання та часу доставки вантажу. Вартісні показники ефективності руху поїздів вимагають нових підходів до розробки методів оптимального розрахунку режимних карт ведення поїздів. Для аналізу доцільності переходу на режими руху, оптимальні за вартістю електроенергії, необхідно виконати дослідження компромісно-оптимальних рішень, ефективних для вектора показників:

- витрати електроенергії;
- вартості електроенергії при заданому обсязі перевезень;
- графік руху.

Компромісно-оптимальні режими представляють набір умовно-оптимальних режимів руху (або ж дільничних швидкостей), які застосовуються залежно від заданої переваги характеристик векторної цільової функції [7].

Аналіз літературних джерел

Характерною особливістю робіт за оптимальними тяговими розрахунками є пристосування схем і методів до обчислювальної техніки. В основу багатьох алгоритмів покладено принцип Беллмана. Експериментальні розрахунки сього-

дні дозволили накопичити певний досвід з оптимізації.

Одним з напрямів впровадження методів управління на транспорті, є розробка таких обчислювальних систем, які дозволяли б оптимально управляти поїздом, як в замкнутому циклі (автоматичне керування), так і в режимі рекомендацій (підказок). Практика показала, що для більшої ефективності необхідно розробити досить дієві математичні методи розв'язання задач оптимальних тягових розрахунків, на підставі яких можна було б розробити ті чи інші алгоритми для конкретних інженерних задач, з наступним уточненням і доробкою на реальних процесах керування поїздами або в системах управління. Дана проблема висвітлена в роботах [8–11].

У роботах Костроміна А. М. [12–14] використовується як класичне варіаційне числення, так і методи математичної теорії оптимального управління, що з'явилися у фундаментальних працях Понтрягіна і Беллмана. Проблема оптимальних режимів управління локомотивом розглядається як інженерне завдання. В основу методів рішення покладений в більшості випадків принцип максимуму.

Роботи [15–17] присвячені, в основному, розробці методів оптимізації режимів водіння поїздів, заснованих на використанні сучасної математичної теорії управління і обчислювальних засобів. Критерієм оптимальності в більшості виконаних робіт служить мінімум витрат енергії на тягу поїздів, хоча зустрічається також застосування інших показників ефективності організації перевізного процесу, наприклад час руху поїзда по ділянці, що використовується в задачах на швидкодію або точність виконання заданого часу ходу і т.п. Проте незалежно від прийнятого критерію і параметра оптимізації задача вибору оптимальних режимів водіння поїзда розглядалися в однокритеріальній постановці.

Застосування методів векторної оптимізації до вирішення двокритеріальної задачі оптимізації тягових розрахунків викладені в роботах [18–20]. У роботах досліджується рішення двокритеріальних задач методом векторної оптимізації. Для аналізу можливих шляхів вирішення використовується метод параметризації, проводиться аналіз завдання тягових розрахунків як завдання векторної оптимізації. Запропонований метод оптимізації ґрунтується на якісному дослідженні режимів руху на елементарному відрізку колії. До недоліків можна віднести відсутність чисельних методів векторної оптимі-

зації орієнтованих до використання обчислювальної техніки що реалізують даний метод.

1. Постановка задачі

Розглядається задача, яка змістовно відома як задача оптимальних тягових розрахунків. Величини

$f(s)$, $t(s)$ – показники, що відображають перевізний процес і являють собою витрати енергоресурсів (електроенергія, паливо) і часу на доставку вантажу;

s – координата колії. Поїзд розглядається як тверде тіло з масою зосередженої в його центрі. Рівняння руху потягу враховуються як в [21]. Вважаються заданими:

- поздовжній профіль колії;
- обмеження швидкості по колії проходження;
- маса складу;
- тип вагонів, навантаження на вісь;
- маса електровоза;
- тягові характеристики електровоза;
- обмеження часу проходження;
- початкова і кінцева швидкість;
- довжина ділянки колії.

З точки зору витрат енергоресурсів на рух виникає задача про побудову закону керування потягом, де критерієм оптимальності є витрата енергоресурсів. Критичним залишається вимога витрат часу на проходження поїзда для даної ділянки.

Нехай

s – координата колії, $0 \leq s \leq l$;

l – довжина ділянки колії (значення кінцевої координати ділянки);

$v(s)$ – швидкість руху поїзда;

$f(v(s))$ – витрати енергоресурсів;

$t(v(s))$ – функція витрат часу в залежності від обраної швидкості руху;

\bar{T} – час руху по ділянці.

Задача на оптимальне управління рухом поїзда з мінімальною витратою енергії коротко можна сформулювати так: знайти таке допустиме управління $v(s)$, при якому відповідний витрат енергоресурсів був би мінімальним і виконувався графік руху на даній ділянці.

Зазвичай задача оптимального управління руху поїзда з мінімальним витратами енергоресурсів має вигляд:

$$\min_{v(s)} f(s) \quad (2)$$

за умови

$$t(v(s)) = \bar{T}, \quad 0 \leq s \leq l. \quad (3)$$

Управлінням є швидкість руху.

Модель (2)–(3) враховує не всі обмеження. Необхідно при розрахунках ще врахувати й інші чинники: початкову та кінцеву швидкість, характеристики локомотива (обмеження на питому дотичну силу, обмеження на питому гальмівну силу, ККД та ін.), обмеження швидкісного режиму, перегрів тягового двигуна.

Пом'якшимо жорстку умову щодо часу проходження (3) і замість рівності (2) будемо розглядати обмеження:

$$t(v(s)) \leq \bar{T}, \quad 0 \leq s \leq l. \quad (3')$$

Модель (2)–(3') є неперервною. Для побудови схеми розв'язку задачі перейдемо до відповідної дискретної моделі.

Розіб'ємо ділянку колії $0 \leq s \leq l$ на N елементарних ділянок $\{[s_{j-1}, s_j]\}$, $j = 1, \dots, N$. У точках розбиття s_j швидкість $v = v(s_j)$ може приймати кінцеву безліч значень V_j , $j = 1, \dots, N$:

$$V_j = \{v_i(s_j)\}, \quad i = 1 \dots m_j,$$

де m_j – кількість елементів у множині V_j .

Величина m_j визначається обмеженнями на швидкість руху в точці s_j та у спосіб дискретизації $v(s_j)$ (регулярний крок розбиття, нерегулярний крок розбиття, величина кроку розбиття). Залежно від вибраної швидкості руху $v \in V_j$ в точці розбиття колії s_j елементарна ділянка $[s_{j-1}, s_j]$ може бути прослідкована за час $t_j = t(V_j)$ – невід'ємна величина, при цьому витрати енергоресурсів складуть $f_j = f(V_j)$ – також невід'ємна величина. Витрати енергоресурсів на ділянці $0 \leq s \leq l = s_N$ являють собою суму всіх витрат на елементарних ділянках. Витрати часу для $0 \leq s \leq l = s_N$ представляють суму часу відповідних встановленому енергоресурсу на елементарних ділянках. Інакше, функція витрат енергоресурсів і функція витрат часу є адитивні функції, визначені на кінцевих множинах V_j .

Потрібно вибрати такий режим руху потягу v_k , $k = 0 \dots N$ (v_0 і v_N надані), за якого сумарні витрати енергоресурсів були б мінімальними, і при цьому загальні витрати часу не виво-

дили б із встановленого графіка руху (сумарні витрати часу не перевершували заданої величини \bar{T}).

Розглянута задача про оптимальний рух поїзда з мінімальними витратами енергоресурсів (2)–(3') є канонічною задачею про розподіл ресурсу [22, 23]. Для її рішення пропонується схема методу динамічного програмування. Замість рекурентних рівнянь використовується покрокове обчислення безлічі точок, оптимальних за Парето, на площині значень цільової функції й ресурсу.

У прийнятих позначеннях формальна постановка задачі запишеться так. Знайти мінімум суми

$$\sum_{j=1}^N f_j(v_j), \quad v_j \in V_j, \quad j = 1 \dots N \quad (4)$$

при обмеженнях

$$\sum_{j=1}^N t_j(v_j) \leq \bar{T}, \quad v_j \in V_j, \quad j = 1 \dots N. \quad (5)$$

Передбачається, що безліч (5) допустимих рішень не порожня.

2. Схема динамічного програмування

Задача (4)–(5) представляє собою відому задачу оптимального розподілу ресурсу, для вирішення якої використовується, зазвичай, метод динамічного програмування [11, 12]. Наведемо основні співвідношення цього методу. Позначимо через $B_j(u)$ оптимум наступної задачі:

- знайти мінімум суми

$$\sum_{k=1}^j f_k(v_k)$$

при обмеженнях $\sum_{i=1}^j t_i(v_i) \leq u, \quad v_i \in V_i, \quad j = 1 \dots N,$

де j приймає значення $1, \dots, N$, $0 < u \leq \bar{T}$. Очевидно, величина $B_N(\bar{T})$ дорівнює оптимуму вихідної задачі (4), (5). Її розрахунок проводиться за рекурентним рівнянням:

$$\begin{cases} B_j(u) = \min_{v_j \in V_j \setminus \{t_j(v_j) \leq u\}} \{B_{j-1}[u - t_j(v_j)] + f_j(v_j)\} \\ 0 < u \leq \bar{T} \quad j = 1, \dots, N. \end{cases} \quad (6)$$

За такої організації обчислень необхідно покласти $B_0(u) = +\infty$, $0 < u \leq \bar{T}$, та $B_j(u) = 0$, якщо мінімум в (6) береться по порожній безлічі.

За великих значень \bar{T} і N розрахунок з використанням рівнянь (6) вимагає значного обсягу пам'яті й часу рахунку. Нижче пропонується підхід, який дозволяє істотно заощаджувати обчислювальні ресурси.

На площині двох змінних введемо відношення часткового порядку:

$$(x, y) \triangleleft (z, w) \Leftrightarrow x \leq y, \quad z \leq w.$$

Нехай A – деяка безліч точок на площині. Точки з A , мінімальні щодо часткового порядку, називають оптимальними за Парето або просто паретовськими. Розглянемо безліч точок вигляду:

$$F = \sum_{i=1}^j f_i(v_i), \quad T = \sum_{i=1}^j t_i(v_i),$$

де вектор (v_1, v_2, \dots, v_j) пробігає всі значення, що задовольняють умовам:

$$\sum_{i=1}^j t_i(v_i) \leq \bar{T}, \quad v_i \in V_i, \quad i = 1 \dots j.$$

Сукупність паретовських точок цієї множини позначимо через S_j . З кількох рівних паретовських точок у безліч S_j включається тільки одна. Позначимо через (F_{jk}, T_{jk}) , $k = 1, \dots, K_j$, точки безлічі S_j , нумеруючи їх за зростанням координат, тобто

$$F_{j1} < F_{j2} < \dots < F_{jK_j}, \quad T_{j1} < T_{j2} < \dots < T_{jK_j}.$$

Неважко бачити, що $B_j(T_{jk}) = F_{jk}$, $k = 1, \dots, K_j$. Функція $B_j(u)$ є неспадною по аргументу u при даному j . Її графік складається з ділянок постійності та точок зростання, які і складають безліч S_j . Таким чином, безліч S_j містить всю необхідну інформацію про функції в мінімальному обсязі.

Безлічі S_j , $j = 1, \dots, N$ перераховуються по кроках, аналогічно рівнянням (6). На початковому кроці вважаємо $S_0 = \{(0, 0)\}$. Опишемо спільний крок. Нехай вже побудовано безліч:

$$S_{j-1} = \{F_{j-1,k}, T_{j-1,k} \mid k = 1, \dots, K_{j-1}\}.$$

Розглянемо безліч точок (F, T) вигляду:

$$F = F_{j-1,k} + f_j(v_j), \quad T = T_{j-1,k} + t_j(v_j),$$

де $k = 1, \dots, K_{j-1}$, а змінна v_j пробігає всі значення, що задовольняють умовам:

$$T_{j-1,k} + t_j(v_j) \leq \bar{T}, \quad v_j \in V_j.$$

Виділяючи з цієї множини паретовські точки і залишаючи з рівних точок тільки одну, отримуємо безліч:

$$S_j = \{(F_{j,k}, T_{j,k}) \mid k = 1, \dots, K_j\}.$$

Цей процес завершується побудовою безлічі:

$$S_N = \{(F_{N,k}, T_{N,k}) \mid k = 1, \dots, K_N\}.$$

Величина F_{NK_N} дорівнює оптимуму початкової задачі. Відповідне вказаному оптимуму значення T_{NK_N} є витратами часу. Тут використано таку властивість рішення: перспективні пари (F, T) утворюють безліч Парето, а всі інші можна видалити (але можна і залишити). У реальній реалізації представленого алгоритму попередньо виділяються для кожного значення індексу $j = 1, \dots, N$ паретовські точки безлічі:

$$\{f_j(v_j), t_j(v_j) \mid v_j \in V_j\}$$

і використовуються в розрахунках тільки вони.

Якщо перспективні пари (F, T) не вилучати, то серед безлічі пар (F, T) можна знайти такі, які оптимізують час. У самому сприятливому випадку серед безлічі паретовських пар можна вибрати найбільш підходящі до умов графіку руху за витратами часу та енергоресурсів.

Висновки

Задача на оптимальне управління рухом поїзда з мінімальною витратою енергії та обмеженням часу можна звести до задачі оптимального розподілу ресурсу, для вирішення якої використано метод динамічного програмування на сукупності паретовських точок безлічі пар $(F, T) = (\text{енергія}, \text{час})$. Рішення засноване на паретовських точках неєдине. На безлічі рішень по Парето вибирається одне найбільш підходяще по компромісу щодо організації перевізного процесу для даної ділянки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Подвижной состав и тяга поездов [Текст] / под ред. Н. А. Фурьянского и В. В. Деева. – М.: Транспорт, 1979.
2. Правила тяговых расчётов для поездной работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1985.

3. Справочник по тяговым расчётам [Текст] / П. Т. Гребенюк [и др.]. – М.: Транспорт, 1987.
4. Подвижной состав и тяговое хозяйство железных дорог [Текст] / под ред. А. П. Третьякова. – М., 1971.
5. Кокурин, И. М. Эксплуатационные основы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст] / И. М. Кокурин, Л. Ф. Кондратенко. – М.: Транспорт, 1989.
6. Тяговые расчёты [Текст] : метод. указания к курсовому проектированию / под ред. Ю. Н. Ликратова. – Новосибирск, 1989.
7. Рекомендации по обеспечению энергооптимального процесса перевозок на основе информационных технологий управления системами электрической тяги [Текст]: решение комиссии ОСЖД от 30 октября 2003 г.
8. Ковальский, А. Н. Система автоматического управления поездом метрополитена (САУ-М) и ее модернизация [Текст] / А. Н. Ковальский // Тр. МИИТ. – 1968. – Вып. 276. – С. 3-13.
9. Система автоведения пассажирского поезда [Текст] / Е. В. Ерофеев [и др.] // Тр. МИИТа. – Вып. 492. – С. 3-10.
10. Гаккель, Е. Я. Автомашинист для грузового тепловоза [Текст] / Е. Я. Гаккель // Тр. ЛИИЖТа. – 1964. – Вып. 232. – С. 3-8.
11. Зимарьков, Б. Д. Локомотивом управляет автомат [Текст] / Б. Д. Зимарьков // Электрическая и тепловозная тяга. – 1973. – № 7. – С. 21-22.
12. Костромин, А. М. Методы определения оптимальных режимов вождения поездов [Текст] / А. М. Костромин. – Гомель: БелИИЖТ, 1974. – 43 с.
13. Костромин, А. М. Об интегрировании уравнений движения поезда и расчете оптимальной траектории [Текст] / А. М. Костромин // Тр. БелИИЖТа. – 1974. – Вып. 132. – С. 3-11.
14. Костромин, А. М. Об оптимальном управлении локомотивом при электрической тяге [Текст] / А. М. Костромин // Тр. БелИИЖТа. – 1977. – Вып. 156. – С. 3-23.
15. Погосов, В. Ю. Прогнозирование расхода электроэнергии на тягу поездов с учетом выброса параметров грузовых поездов и условий эксплуатации [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.93 / В. Ю. Погосов. – М.: МИИТ, 1990. – 23 с.
16. Гетьман, Г. К. Определение оптимальной по минимуму расхода энергии на движение поезда мощности локомотива [Текст] / Г. К. Гетьман // ХарДАЗТ. – Вип. 39. – Х., 2000. – С. 41-48.
17. Беляев, А. В. Алгоритм оптимального по расходу электроэнергии управления движения поезда [Текст] / А. В. Беляев, А. Г. Вольвич, Н. Ю. Федорова // Сб. науч. тр. Всерос. науч.-иссл. и проектно-констр. ин-та электровозостр. – № 39. – М., 1998. – С. 160-169.
18. Босов, А. А. Векторная оптимизация в задачах тяговых расчетов [Текст] / А. А. Босов, Г. К. Гетьман // Вісник Харківського держ. політехн. ун-ту. – Вип. 73. – Х.: ХДПУ, 1999. – С. 23-27.
19. Гетьман, Г. К. Применение векторной оптимизации для решения задачи тяговых расчетов / Г. К. Гетьман // Вісник Харківського держ. політехн. ун-ту. – Вип. 62. – Х.: ХДПУ, 1999. – С. 12-19.
20. Босов, А. А. Параметризация в задачах векторной оптимизации [Текст] / А. А. Босов, Г. К. Гетьман. // Транспорт: зб. наук. пр. – Вип. 5. – Д.: Наука і освіта, 2000. – С. 62-65.
21. Тяга поездов [Текст] / В. В. Деев [и др.]. – М.: Транспорт, 1987.
22. Беллман, Р. Прикладные задачи динамического программирования [Текст] / Р. Беллман, Дрейфус. – М.: Наука, 1965. – 458 с.
23. Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Дрофа, 2004. – 208 с.

Надійшла до редколегії 10.11.2010.

Прийнята до друку 16.11.2010.

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ ВІТЧИЗНЯНИХ ВАНТАЖНИХ АВІАПЕРЕВІЗНИКІВ

У статті автором визначено особливості практичної реалізації концепції інформатизації вітчизняних вантажних авіаперевізників, яка базується на застосуванні технологій радіочастотної ідентифікації з метою покращення процесу обслуговування вантажів при безпосередній взаємодії із вантажними комплексами найбільш затребуваних аеропортів.

Ключові слова: вантажні комплекси, технології радіочастотної ідентифікації, вітчизняні вантажні авіаперевізники

В статье автором определены особенности практической реализации концепции информатизации отечественных грузовых авиаперевозчиков, которая основана на применении технологий радиочастотной идентификации с целью улучшения процесса обслуживания грузов при непосредственном взаимодействии с грузовыми комплексами наиболее востребованных аэропортов.

Ключевые слова: грузовые комплексы, технологии радиочастотной идентификации, отечественные грузовые авиаперевозчики

In the article the peculiarities of practical implementation of the concept of informatization of national cargo air carriers, based on the use of radiofrequency identification technology in order to improve the service processing of cargoes by direct interaction with the cargo complexes of the most popular airports, have been identified by the author.

Keywords: cargo complexes, radiofrequency identification technology, national cargo air carriers

Вступ

Процес інформатизації на підприємствах України просувається надзвичайно повільно та наштовхується на безліч перепон. Основними причинами слабкої інформатизації бізнес-процесів на вітчизняних підприємствах є нестача фінансових ресурсів та небажання проводити комплексну перебудову бізнес-процесів підприємства, в тому числі і впровадження новітньої інформаційної системи, за умови відносної успішності розвитку бізнесу. Існують і інші причини, зокрема, неузгодженість більшості готових інформаційних рішень із тими реаліями, які є на вітчизняних підприємствах, негативний досвід інших підприємств, які створили інтегровану інформаційну систему у себе та не добилися тієї віддачі від її запровадження, яку вони бажали б бачити початково. Загалом приблизно перед тими ж викликами, що і переважна більшість вітчизняних підприємств, стикаються вантажні авіаперевізники, з тією лише відмінністю, що для останніх ці виклики носять свій унікальний характер. Унікальність цих викликів, зумовлена галузевою приналежністю, умовами цільового ринку перевезень, формою власності авіаперевізника, стадією його розвитку тощо.

Постановка проблеми

Динамічний розвиток ринків вантажних

авіаперевезень та серйозне посилення конкуренції вимагає від їх учасників вжити всіх необхідних заходів для підвищення рівня власної конкурентоспроможності. Хоча існує чимало шляхів для цього, проте одним із основних, на думку автора, є запровадження дієвої інформаційної системи вантажного авіаперевізника. Проте спочатку необхідно розробити концепцію інформатизації вантажного авіаперевізника, яка була б орієнтована, як на створення дієвої інформаційної системи, так і на можливість подальшого вдосконалення цієї системи з використанням певних засобів та інструментів, як теоретико-методологічного, так і прикладного характеру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Створенню концептуальних основ інформатизації підприємств різних галузей економіки присвячено чимало ряд наукових праць вітчизняних та зарубіжних науковців. Особливо слід відзначити наукові здобутки групи авторів у складі R. M. Stair та G. Reynolds, які у [8, С. 15-219] розробили загальні концептуальні основи створення та розвитку інтегрованих інформаційних систем підприємств, а у [9, С. 10-450] авторами було визначено та вдосконалено фундаментальні основи інформаційних систем підприємств. Також, на нашу думку, заслуговує на увагу наукова праця G. Curtis та

D. Cobham [5, С. 1-161; 197-679], де авторами проведено фундаментальне дослідження щодо наявних інформаційних рішень для покращення роботи підприємств. Серед науковців із близького зарубіжжя, які досліджували проблему інформатизації підприємств слід відзначити В. Камакіна [1], Д. Маркова [2] та ін. Не дивлячись на таку велику кількість наукових праць, нами не виявлено робіт, в яких описано концепцію інформатизації вітчизняних вантажних авіаперевізників.

Постановка цілей

Основною *метою статті* є розробка загальних підходів до розробки концепції інформатизації вантажних авіаперевізників, яка базується на застосуванні технологій радіочастотної ідентифікації з метою покращення процесу обслуговування вантажів.

Виклад основного матеріалу

Створення новітніх інформаційних систем підприємств із використанням новітніх концепцій стратегічного управління підприємств, системного та ситуаційного підходів стало нормою для західних підприємств, а отже використання цих принципів при формуванні подібних систем вітчизняних вантажних авіаперевізників дасть змогу значно покращити якість та рівень адекватності цих систем.

Автором у попередніх наукових дослідженнях було встановлено, що концептуально інформаційна система вантажних авіакомпаній має складатися із двох складових, а саме зовнішньої складової, яка складається із інструментарію, що забезпечує настійку інформаційної системи та внутрішньої складової, що включає об'єкт, суб'єкт управління, інструментарій управління ресурсами, планування, оптимізації діяльності авіакомпанії та управління процесами перевезення вантажів. Також було встановлено, що зовнішня складова буде мати меншу продуктивність та нижчу якість, ніж внутрішня.

Основою інформаційної системи вантажної авіакомпанії має бути System SAP Business Suite із відповідним модульним наповненням, System SAP HYDRA, а також A P Systems, Manufacturing Execution System, Flight Plan Coordinator, Airspace Information Monitoring System, Flight Information Display System, Advanced SITA Message Server, Gate Allocation and Positioning System тощо. Також раніше було встановлено, що надзвичайно важливим є використання Flight Data Management System, що до-

зволить здійснювати підтримку вантажних перевезень шляхом роботи через бази даних, головними з яких при перевезенні вантажів є eRES Cargo Airline Cargo System Description. Необхідно використати і деякі системи на основі Wi-Fi, WiMAX, GPS та GSM. Проте, на думку автора, чи не найбільш важливою складовою новітньої інформаційної системи вантажних авіакомпаній має стати Radio Frequency Identification (RFID) чи більш досконала Real Time Locating Systems (RTLS). Системи RFID детально описані в науковій літературі, зокрема у [3–4; 6–7], а ось системи RTLS є менш вивченими. Ці системи є більш досконалішими та забезпечують відстеження вантажу у режимі реального часу та є цілком автоматизованими та активними. Автором встановлено, що спільне використання систем RTLS та GPS дасть ефект синергії та можливість встановлення не лише місця знаходження вантажу, а також і визначення базових параметрів перевезення у конкретний момент.

Створення концепції інформатизації вітчизняних вантажних авіаперевізників має бути спрямована на створення інформаційного середовища, яке включає в себе, не лише, сукупність інформаційних систем та прикладних рішень, але й механізмів, моделей, факторів, процесів, ресурсів тощо. Концепція інформатизації має бути направлена на вирішення задач пов'язаних із організацією перевезення вантажів, забезпеченням взаємодії між учасниками процесу перевезення вантажів, а також із повним задоволенням вантажної клієнтури. Необхідно також пам'ятати, що вантажні авіаперевізники, як правило, виконують лише частину перевезення, тоді як перевезення на інших відрізках забезпечують автомобільні, морські, залізничні підприємства або логістичні компанії чи експедитори. Ця концепція має передбачати постійне оновлення інформаційних систем перевізників, як через запровадження нових інформаційних систем, так і через створення нових механізмів, засобів та інструментів реалізації інформаційних рішень. У відповідності із теоретичними основами формування інформаційних систем та середовищ для підприємств різних галузей економіки інформаційне середовище вітчизняних вантажних авіаційних перевізників має забезпечити можливість якісного горизонтального та вертикального інтегрування при взаємодії усіх складових, захищеність інформації, відповідність певним критеріям та нормативам. Крім цього, на думку автора, існує необхідність у розробці ряду вузькоспеціалізованих методик, методичних положень та реко-

мендацій, які б забезпечили ефективну роботу цього середовища та його безболісну зміну у разі виникнення такої необхідності. Загальний вигляд інформаційного середовища вітчизняних вантажних авіаперевізників як основи концепції їх інформатизації наведено на рис. 1.

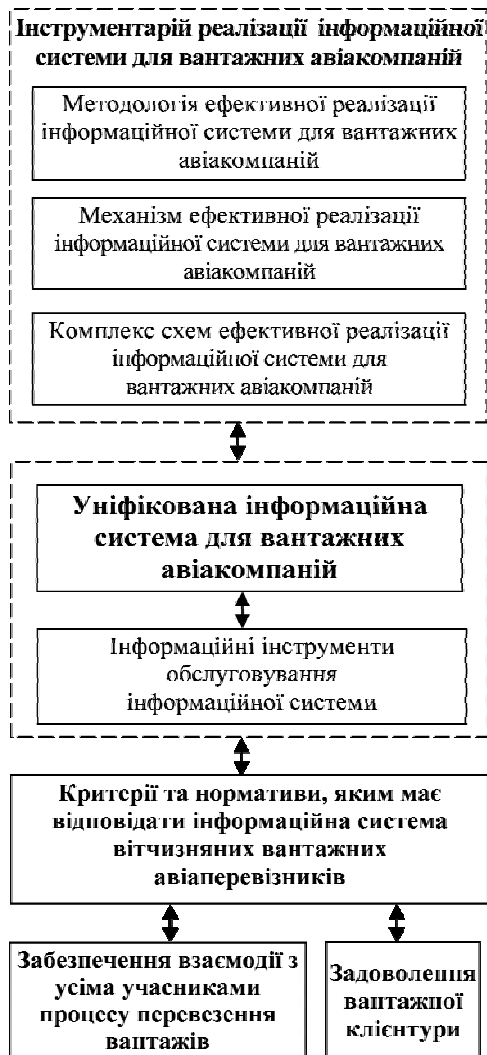


Рис. 1. Загальний вигляд інформаційного середовища вітчизняних вантажних авіаперевізників

Головною складовою інформаційного середовища вітчизняних вантажних авіаперевізників, як було зазначено раніше, є уніфікована інформаційна система, проте вона не може існувати без відповідності певним критеріальним вимогам та наявності інструментарію її реалізації. Цей інструментарій, на нашу думку, мають складати методологія, механізм та система ефективної реалізації інформаційної системи для вантажних авіакомпаній. Методологія реалізації системи має відобразити вірність обраної концепції інформатизації з вибором відповідного комплексу методів та підходів до вирішення задачі, в той час механізм реалізації системи має включати ряд засобів та інструментів

для вирішення задачі. За допомогою комплексу схем має здійснюватися контроль за процесом управління та організацією взаємозв'язків між центрами відповідальності та бізнес-процесами вантажних авіаперевізників, які приймають участь у реалізації та удосконаленні роботи інформаційної системи.

Висновки і перспективи проведення подальших наукових досліджень

В процесі проведення наукового дослідження автором розроблено загальні підходи до розробки концепції інформатизації вантажних авіаперевізників, яка базується на застосуванні технологій радіочастотної ідентифікації з метою покращення процесу обслуговування вантажів. У подальших наукових дослідженнях необхідно провести детальний опис інструментарію реалізації інформаційної системи вантажних авіакомпаній.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Камакин, В. А. Методология построения автоматизированных корпоративных информационных систем поддержки авиационного производства на основе управления затратами [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.06 / В. А. Камакин. – Рыбинск, 2007. – 32 с.
2. Марков, Д. А. Информационная система как фактор повышения конкурентоспособности промышленного предприятия [Текст]: автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Д. А. Марков. – Ижевск, 2009. – 25 с.
3. Ahson, S. RFID handbook: applications, technology, security, and privacy [Text] / S. Ahson, M. Ilyas. – Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2008. – 690 p.
4. Cole, P. H. Networked RFID Systems and Lightweight Cryptography [Text] / P. H. Cole, D. C. Ranasinghe. – Berlin: Springer, 2008. – 352 p.
5. Curtis, G. Business Information Systems: Analysis, Design and Practice [Text] / G. Curtis, D. Cobham. – Edinburgh Gate: Pearson Education Ltd., 2008. – 695 p.
6. Hansen, W.-R. RFID for the Optimization of Business Processes [Text] / W.-R. Hansen, F. Gillert. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2008. – 280 p.
7. Schuster, E. W. Global RFID. The Value of the EPC-global Network for Supply Chain Management [Text] / E. W. Schuster, S. J. Allen, D. L. Brock. – Berlin: Springer Science + BusinessMedia, 2007. – 310 p.
8. Stair, R. Principles of information systems [Text] / R. M. Stair, G. Reynolds. – Boston: Course Technology, 2010. – 658 p.
9. Stair, R. M. Fundamentals of information systems [Text] / R. M. Stair, G. Reynolds. – Boston: Course Technology, 2010. – 457 p.

Надійшла до редколегії 08.04.2010.

Прийнята до друку 12.05.2010.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЯГОВОГО БЕЗРЕДУКТОРНОГО ПРИВОДА НА ОСНОВЕ ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ С АКСИАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ

В роботі розглядається імітаційна модель тягового безредукторного привода на основі індукторного двигуна з аксіальним магнітним потоком, реалізована в середовищі візуального програмування Simulink. При створенні моделі АІД використано метод структурних схем.

Ключові слова: тяговий безредукторний привод, індукторний двигун, аксіальний магнітний потік

В работе рассматривается имитационная модель тягового безредукторного привода на основе индукторного двигателя с аксиальным магнитным потоком, реализованная в среде визуального программирования Simulink. При создании модели АИД использован метод структурных схем.

Ключевые слова: тяговый безредукторный привод, индукторный двигатель, аксиальный магнитный поток

In the article a simulation model of traction direct drive on the basis of inductor motor with the axial magnetic flux realized in the visual programming environment Simulink is considered. At creation of the AIM model a method block diagrams is used.

Keywords: traction direct drive, inductor motor, axial magnetic flux

Разработка нового подвижного состава требует углубленного изучения динамических процессов в электрической системе и механической части, выявления их взаимного влияния, изучения влияния внешних воздействий на характер протекания и качественные показатели процессов, происходящих в них. Поскольку экспериментальные исследования, во-первых, увеличивают финансовые затраты и сроки разработки, и, во-вторых, не позволяют провести всеобъемлющие исследования, а традиционные методы проектирования и исследования в ряде случаев не эффективны, наиболее целесообразным представляется использование математического моделирования [1]. В частности, такой подход необходим при использовании для подвижного состава тяговых приводов нового типа, содержащих нетрадиционные для тяги электрические машины и соответствующие им полупроводниковые преобразователи. Подходящим инструментарием для изучения динамики тяговых приводов, на наш взгляд, является имитационное моделирование [2].

Цель статьи: разработать имитационную модель тягового безредукторного привода на основе индукторного двигателя с аксиальным магнитным потоком.

Принципиальная схема силовых цепей рассматриваемого привода показана на рис. 1.

Для создания имитационной модели нами принята среда визуального программирования Simulink, предоставляющая широчайшие возмож-

ности для моделирования электроприводов [3, 4].

Как известно, в электроприводе выделяют четыре звена: двигатель, преобразователь, механическую часть и систему управления. Рассмотрим имитационные модели каждой из них, т.к. ввиду сложности имитационная модель всего привода создана с использованием подсистем.

Simulink-модель привода на основе АИД показана на рис. 2. Она состоит из подсистемы инвертора напряжения, подсистемы АИД, подсистемы системы управления и подсистемы механической части, представленной в виде одностепенной системы и введенной в подсистему АИД. Также в моделях присутствуют регистраторы сигналов и задающие устройства.

Simulink-модель инвертора напряжения показана на рис. 3. При её создании использовались элементы пакета SimPowerSystem. Здесь «собрана» электрическая схема инвертора напряжения. Параметры полупроводниковых приборов берутся из данных каталогов производителей.

На рис. 4 приведена модель системы управления. Эта модель «собрана» из элементов пакета Simulink и отображает логику функционирования без привязки к электрической схеме системы управления.

При создании модели АИД предлагается использовать структурное моделирование. Для этого сначала разработаем математическую модель АИД.

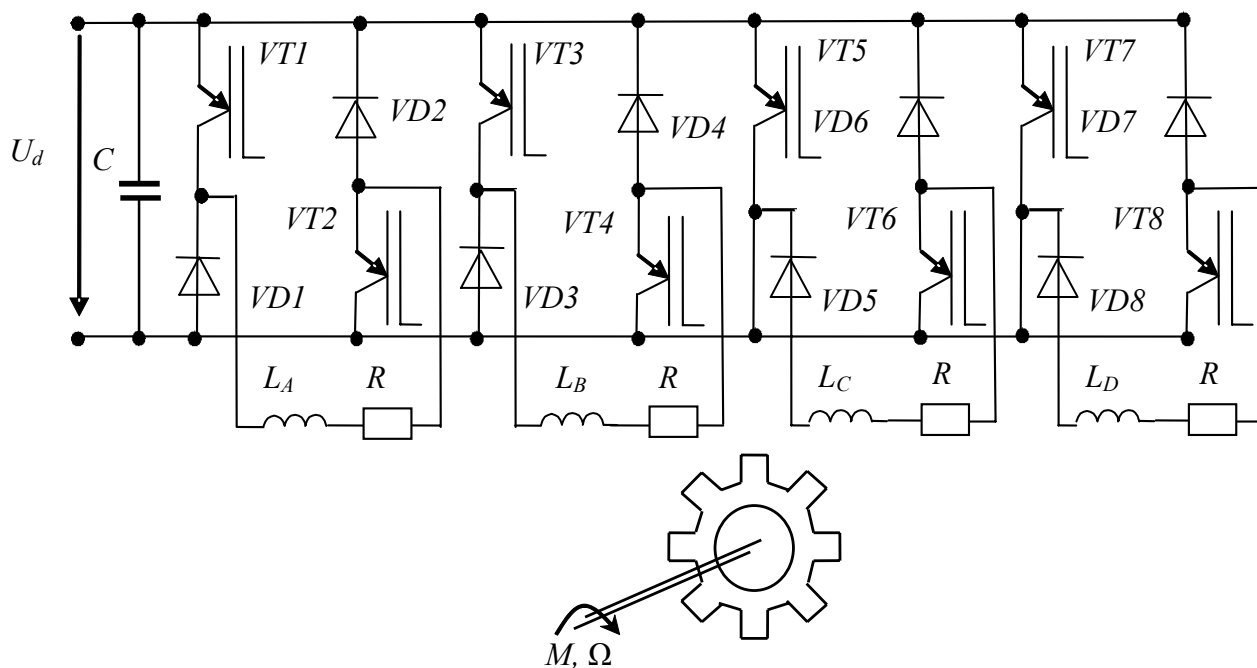


Рис. 1. Принципиальная схема силовых цепей:

U_d – напряжение звена постоянного тока, C – ёмкость фильтра, $VT1$ – $VT8$ – IGBT-транзисторы, $VD1$ - $VD8$ – диоды, L_A , L_B , L_C , L_D – индуктивности фаз, R – омическое сопротивление фаз, M – электромагнитный момент, Ω – угловая частота вращения ротора

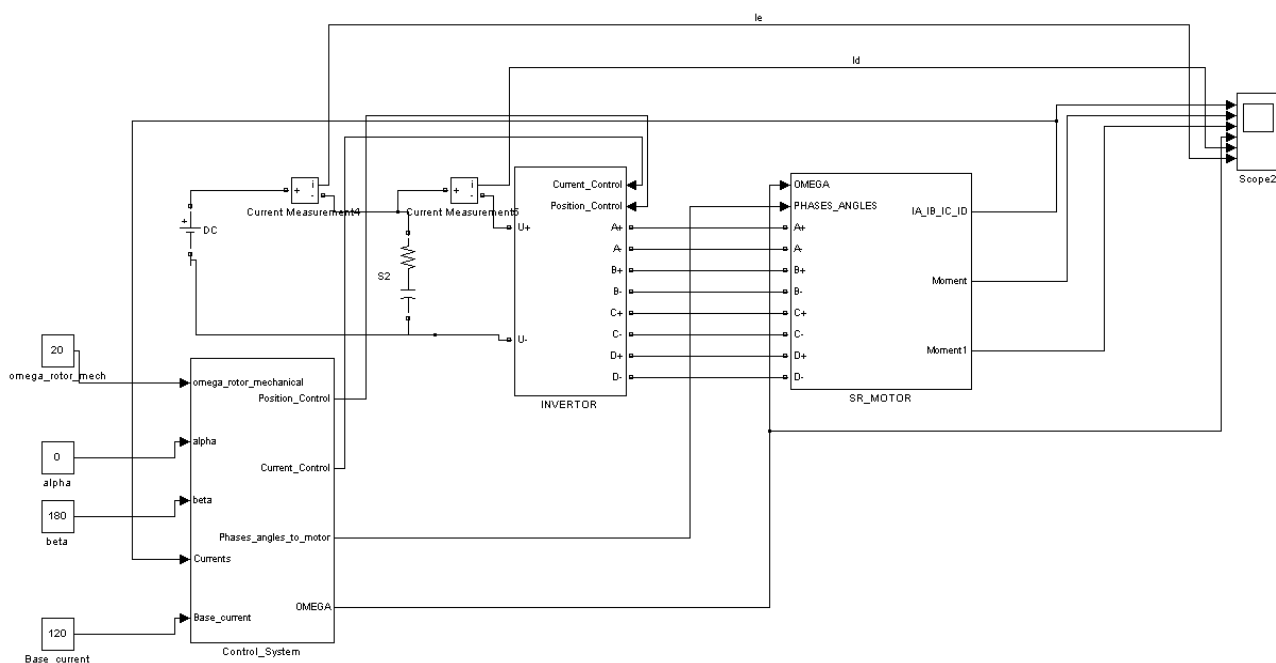


Рис. 2. Simulink-модель привода на основе АИД

Математическая модель АИД состоит из уравнений, составленных для электрических контуров, уравнений, определяющих электромагнитные связи в двигателе и уравнений движения ротора:

$$\begin{cases} u_x = i_x R + \frac{d\Psi_x}{dt}; \\ \Psi_x = \Psi(i_x, \gamma_x); \\ J \frac{d\Omega}{dt} = M_{дв} - M_c; \\ \Omega = \frac{d\gamma}{dt}, \end{cases} \quad (1)$$

где u_x – напряжение, приложенного к обмотке фазы с индексом x ; i_x – фазный ток; R – эле-

ктрическое сопротивление фазы (принимается равным для всех фаз); $\Psi_x = \Psi(i_x, \gamma_x)$ – потокосцепление фазы, J – приведенный момент инерции ротора; Ω – угловая частота вращения ротора; $M_{дв} = \sum_{x=1}^m M_x(i_x, \gamma_x)$ – момент на валу (принимается равным электромагнитному моменту); $M_x(i_x, \gamma_x)$ – момент, развиваемый фазой с индексом x ; M_c – момент сопротивления; γ – геометрический угол поворота ротора. Здесь x принимает значения A, B, C, D .

При составлении модели приняты такие допущения: гистерезис и вихревые токи не учитываются, магнитные системы фаз идентичны.

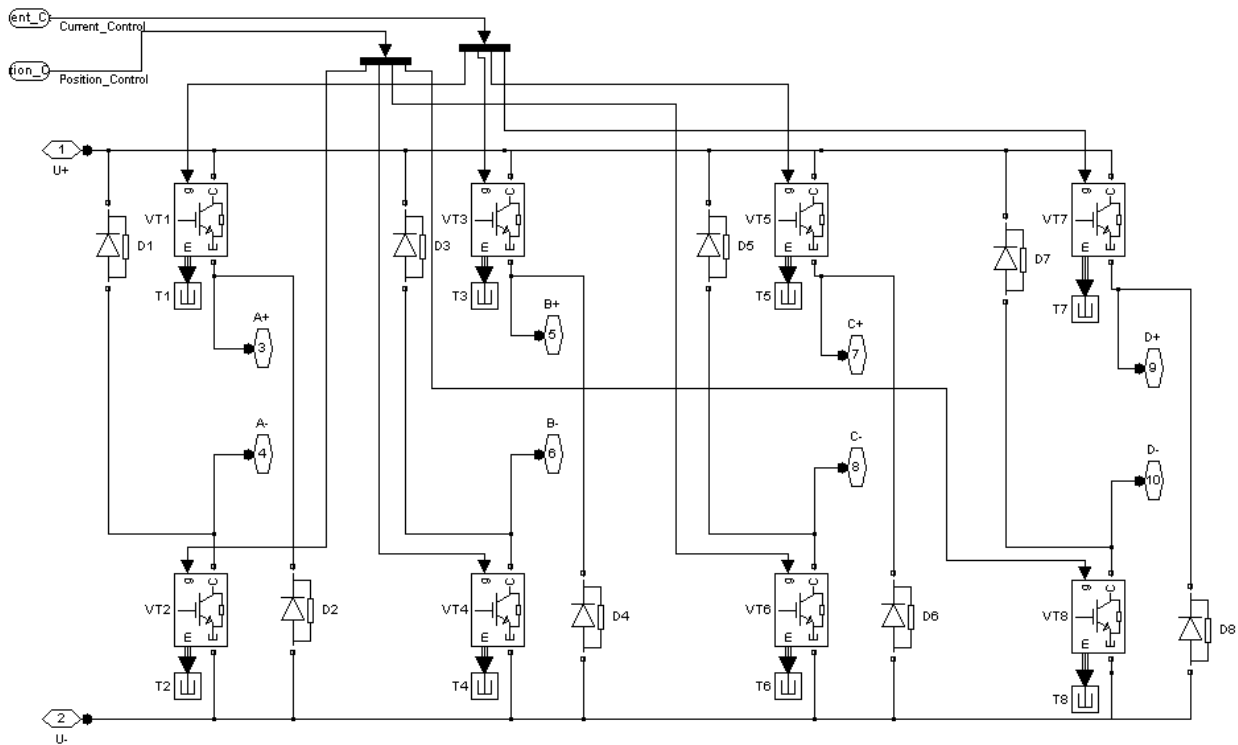


Рис. 3. Simulink-модель инвертора напряжения

На рис. 5 приведена схема замещения фазы.

Преобразуем уравнения электрического равновесия. Для этого перепишем слагаемое $\frac{d\Psi_x}{dt}$ в таком виде:

$$\frac{d\Psi_x}{dt} = \frac{\partial \Psi_x}{\partial i_x} \frac{di_x}{dt} + \frac{\partial \Psi_x}{\partial \gamma} \frac{d\gamma}{dt} = L_{dx} \frac{di_x}{dt} + K_{ex} \Omega,$$

где $L_{dx} = \frac{\partial \Psi_x}{\partial i_x}$ – дифференциальная индуктивность;

$K_{ex} = \frac{\partial \Psi_x}{\partial \gamma}$ – коэффициент противоЭДС.

Тогда уравнение примет вид:

$$u_x = i_x R + \frac{d\Psi_x}{dt} = i_x R + L_{dx} \frac{di_x}{dt} + e_x, \quad (2)$$

где $e_x = K_{ex} \Omega$ – противоЭДС фазы.

Разрешив уравнение (1) относительно производной тока, получим:

$$\frac{di_x}{dt} = (L_{dx}^{-1}) \cdot (u_x - i_x R - e_x) \quad (3)$$

На основании уравнения (2) составим структурную схему (рис. 6).

Для механической части структурная схема имеет вид, показанный на рис. 7.

Simulink-модели фазы АИД и механической части привода приведены на рис. 8 и 9 соответственно.

Рассмотрим методику определения электромагнитных связей двигателя. Предположим, что зависимость $\Psi = \Psi(i, \gamma)$ известна (определена расчётным путём или экспериментально). Типичный вид зависимости $\Psi = \Psi(i, \gamma)$ для реактивных индукторных машин показан на рис. 10.

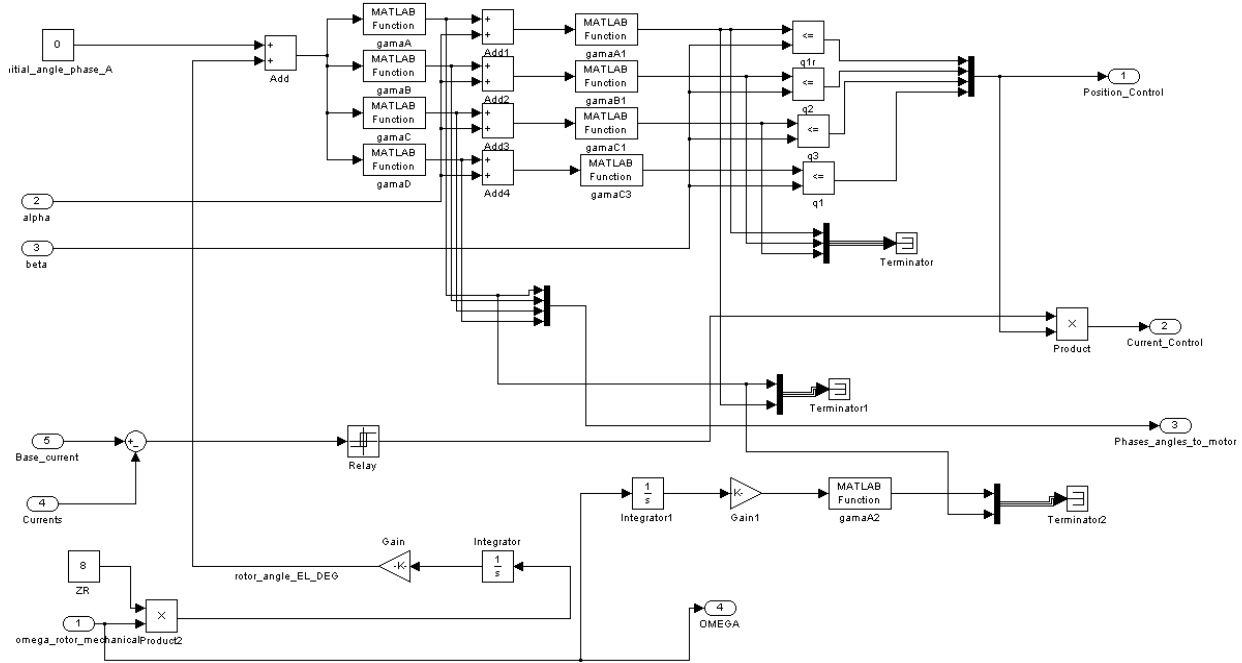


Рис. 4. Simulink-модель системы управления

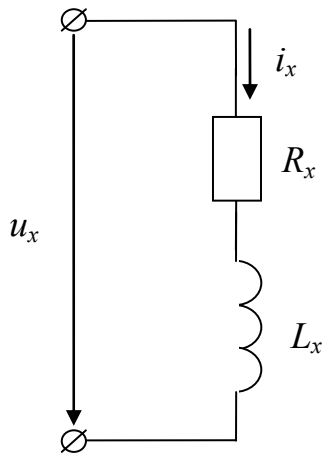


Рис. 5. Схема замещения фазы

Семейство кривых на рис. 10 может быть представлено в общем виде аналитической зависимостью следующего вида:

$$\Psi(i, \gamma) = \sum_{k=0}^N \left[\sum_{r=0}^q (A_r(i) \cdot \cos(k\gamma) + B_r(i) \cdot \sin(k\gamma)) \right], \quad (4)$$

т.е. является усечённым рядом Фурье (число удерживаемых гармоник равно N), коэффициенты которого являются функциями тока.

Вследствие симметрии зубцов, кривые на рис. 10б симметричны относительно оси ординат. Поэтому ряд Фурье (4) не содержит синусных составляющих, и формулу (4) можно переписать в виде

$$\Psi(i, \gamma) = \sum_{k=0}^N (A_k(i) \cdot \cos(k\gamma)), \quad (5)$$

где $A_k(i) = \sum_{s=0}^3 a_{s,j-1}^{(k)} (i - i_{j-1})^s$ – кубический ин-

терполяционный сплайн, аппроксимирующий зависимость коэффициентов Фурье-разложения от тока фазы [5, 6]. В этом выражении $a_{s,j-1}^{(k)}$ – коэффициент сплайна при степени s на отрезке $[i_{j-1}, i_j]$ для гармоники с номером k , (i_{j-1}, i_j) – узлы интерполяции, ограничивающие отрезок, содержащий текущее значение тока i . Под γ здесь и в дальнейшем будем подразумевать угол поворота ротора, выраженный в электрических радианах.

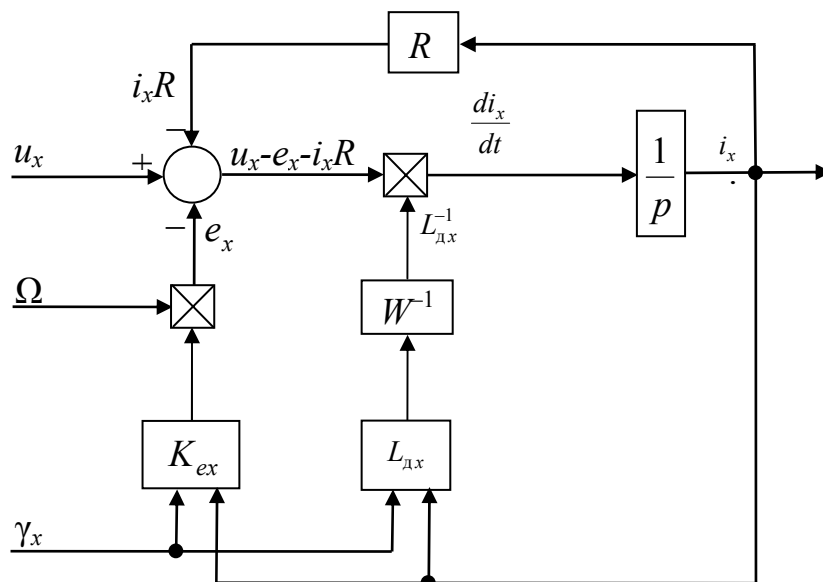


Рис. 6. Структурная схема фазы двигателя

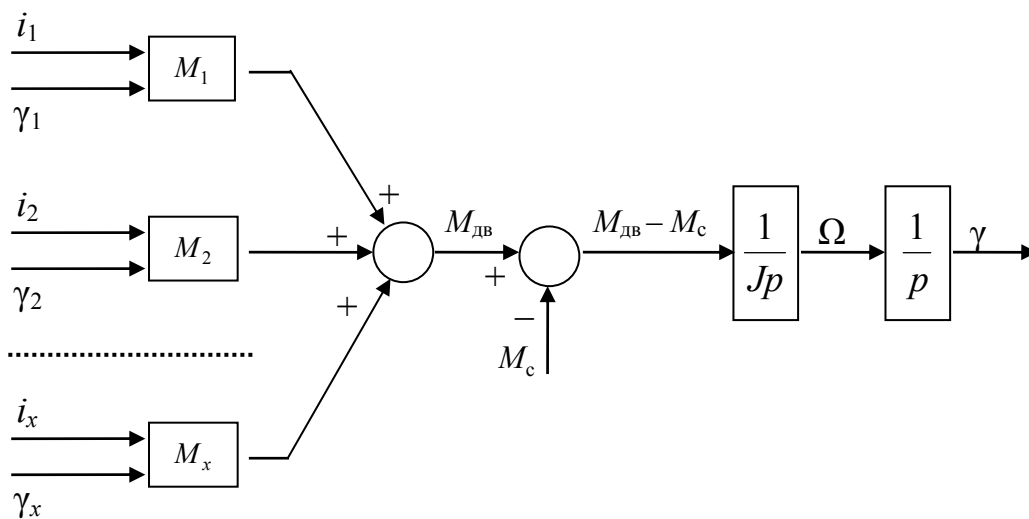


Рис. 7. Структурная схема механической части

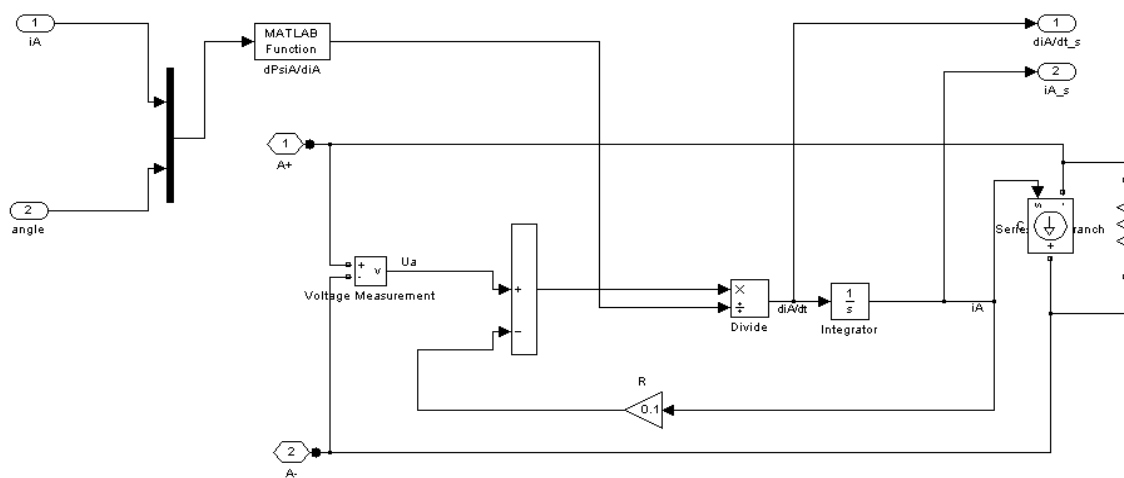


Рис. 8. Simulink-модель фазы АИД

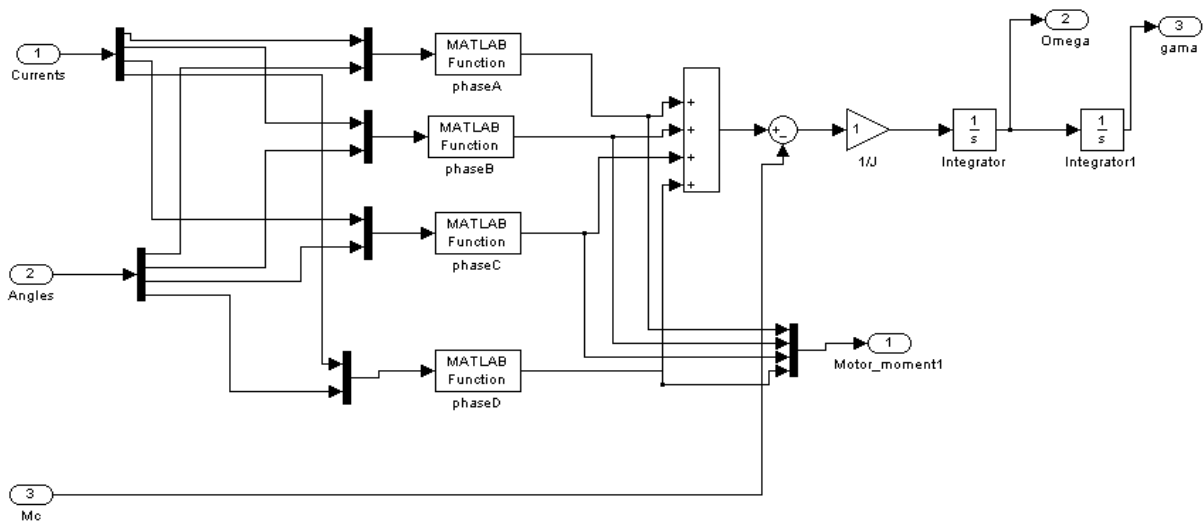


Рис. 9. Simulink-модель механической части

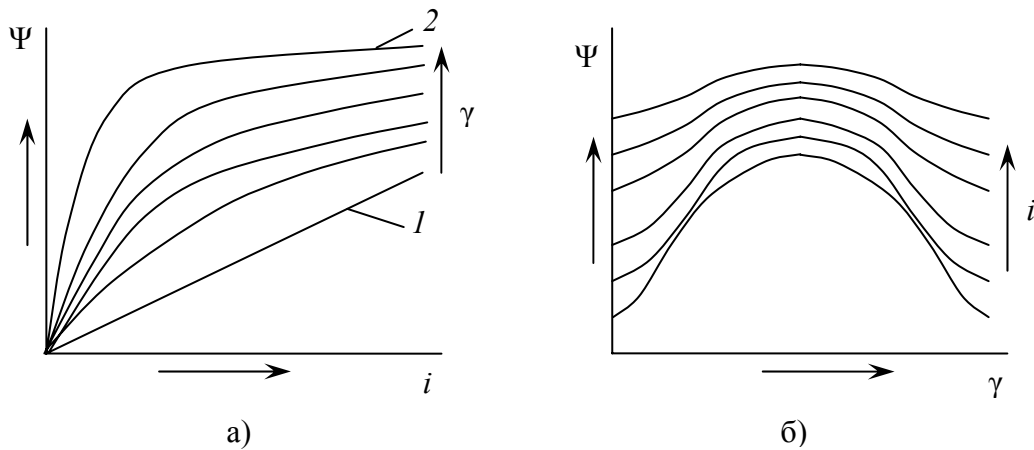


Рис. 10. Зависимости $\Psi = \Psi(i, \gamma)$:

1 – рассогласованное положение; 2 – согласованное положение

Таким образом,

$$\Psi(i, \gamma) = \sum_{k=0}^N \left(\left(\sum_{s=0}^3 a_{s,j-1}^{(k)} (i - i_{j-1})^s \right) \cos(k\gamma) \right). \quad (6)$$

Запись зависимости $\Psi = \Psi(i, \gamma)$ в виде (5) позволяет аналитически выразить индуктивность, коэффициент противоЭДС и момент.

Дифференциальная индуктивность определяется по формуле $L_d = \frac{\partial \Psi(i, \gamma)}{\partial i}$. Тогда, с учётом формулы (5) получим выражение:

$$L_d = \sum_{k=0}^N \left(\left(\sum_{s=1}^3 a_{s,j-1}^{(k)} \cdot s \cdot (i - i_{j-1})^{s-1} \right) \cos(k\gamma) \right). \quad (7)$$

Дифференцирование по току здесь допустимо, поскольку сплайн является дважды непрерывно дифференцируемой функцией на всём отрезке интерполяции.

Коэффициент противоЭДС равен $K_e = \frac{\partial \Psi(i, \gamma)}{\partial \gamma}$, или

$$K_e = -Z \sum_{k=0}^N \left(k \left(\sum_{s=0}^3 a_{s,j-1}^{(k)} (i - i_{j-1})^s \sin(k\gamma) \right) \right), \quad (8)$$

где Z – число зубцов. Множитель Z в формуле (8) учитывает то, что дифференцирование происходит по геометрическому углу, а γ есть электрический угол.

Электромагнитный момент определяется по выражению:

$$M = \frac{\partial W'}{\partial \gamma} \Big|_{i=\text{const}}, \quad (9)$$

где $W' = \int_0^i \Psi(i, \gamma) di$ – мгновенное значение ко-
энергии фазы. Поскольку подынтегральное вы-
ражение $\Psi(i, \gamma)$ задано в виде сплайнов, интег-
рирование проводим по методу интерполи-
рующих сплайнов.

Общее выражение имеет вид:

$$W'(i, \gamma) = \int_0^i \sum_{k=0}^N \left(\sum_{s=0}^3 a^{(k)}_{s,j-1} (i - i_{j-1})^s \right) \cos(k\gamma) di.$$

Поскольку нас интересуют численные зна-
чения, поступим следующим образом.

Пусть p – номер интервала, в котором нахо-
дится верхний предел интегрирования i_p . Тогда
расчётная формула для вычисления коэнергии
примет вид:

$$W'(i_p, \gamma) = \sum_{q=1}^p \left(\sum_{k=0}^N \left(\sum_{s=0}^3 a^{(k)}_{s,q-1} \frac{(i_q - i_{q-1})^{s+1}}{s+1} \right) \times \right. \\ \left. \times \cos(k\gamma) \right) \Big|_{i=i_{q-1}}^{i=i_q}. \quad (10)$$

Выполнив вычисления по формуле (10), по-
лучим данные, для которых выполним проце-
дуру аппроксимации. Полученную зависимость
представим в виде:

$$W'(i, \gamma) = \sum_{k=0}^N (B_k(i) \cdot \cos(k\gamma)),$$

где $B_k(i) = \sum_{s=0}^3 b^{(k)}_{s,j-1} (i - i_{j-1})^s$ – кубический ин-
терполяционный сплайн, аппроксимирующий
зависимость коэффициентов Фурье-разложения
от тока фазы. В этом выражении $b^{(k)}_{s,j-1}$ – коэф-
фициент сплайна при степени s на отрезке
 $[i_{j-1}, i_j]$ для гармоники с номером k , (i_{j-1}, i_j) – узлы
интерполяции, ограничивающие отрезок, со-
держащий текущее значение тока i .

Таким образом,

$$W'(i, \gamma) = \sum_{k=0}^N \left(\sum_{s=0}^3 b^{(k)}_{s,j-1} (i - i_{j-1})^s \right) \cos(k\gamma). \quad (11)$$

Выполнив дифференцирование выражения
(11) по углу поворота, имеем:

$$M = -Z \sum_{k=0}^N \left(k \left(\sum_{s=0}^3 b^{(k)}_{s,j-1} (i - i_{j-1})^s \sin(k\gamma) \right) \right). \quad (12)$$

Зависимости (7) и (8) непосредственно ис-
пользуются в структурной схеме для вычисле-
ния тока, зависимость (12) нужна для вычисле-
ния момента.

Отдельно следует отметить, что при по-
строении сплайнов используются краевое усло-
вие «отсутствие узла», т.к. неизвестна инфор-
мация о поведении сплайнов вблизи границ от-
резка интерполяции.

Численные процедуры построения сплайнов
выполнены в Matlab [7]. Для использования в
Simulink-моделях написаны m -файлы.

Выводы

Таким образом, разработана имитационная
модель тягового привода на основе АИД, ре-
ализованная с Simulink. Имитационная модель
состоит из модели полупроводникового преоб-
разователя, модели тягового индукторного дви-
гателя с аксиальным магнитным потоком, мо-
дели механической части и модели системы
управления. Модель преобразователя собрана
на его основании электрической схемы.

При создании модели АИД использован ме-
тод структурных схем. Предложено аппрокси-
мировать усечённым рядом Фурье, коэффици-
енты гармоник которого интерполированы
кубическими сплайнами. На основании этого
разложения аналитически выражены индуктив-
ность фазы, коэффициент противоЭДС и элек-
тромагнитный момент, для которого также
проведена аппроксимация по упомянутому
выше способу.

Имитационная модель механической части
представлена одностепенной системой.

Модель системы управления «собрана» из
блоков библиотеки Simulink и отражает алго-
ритмы управления.

Разработанная имитационная модель позво-
ляет моделировать динамические процессы,
происходящие как в приводе в целом, так и в
отдельных его звеньях, отрабатывать законы
регулирования и исследовать влияние парамет-
ров отдельных элементов на процессы элек-
tromеханического преобразования энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моделирование электромеханической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом [Текст] / Ю. А. Бахвалов [и др.]. – М.: Транспорт, 2001. – 288 с.
2. Любарский, Б. Г. Имитационная модель тягового вентильно-индукторного электропривода [Текст] / Б. Г. Любарский, Е. С. Рябов, Л. В. Оверьянова // Електротехніка і електромеханіка. – 2009. – № 5. – С. 67-72.
3. Дьяконов, В. П. Simulink 4. Специальный справочник [Текст] / В. П. Дьяконов. – СПб.: Питер, 2001. – 553 с.
4. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink.[Текст] / И. В. Черных. – СПб.: Питер, 2007. – 288 с.
5. Де Бор, К. Практическое руководство по сплайнам [Текст] / К. Де Бор; [пер. с англ.]. – М.: Радио и связь, 1985. – 304 с.
6. Носач, В. В. Решение задач аппроксимации с помощью персональных компьютеров.[Текст] / В. В. Носач. – М.: МИКАП, 1994. – 382 с.
7. Кетков, Ю. Л. Matlab: Численные методы [Текст] / Ю. Л. Кетков, А. Ю. Кетков, М. М. Шульц. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752 с.

Поступила в редколлегию 17.12.2010.

Принята к печати 21.12.2010.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУЗОВОГО ТЕРМИНАЛА

Запропоновано математичну формалізацію процесу функціонування термінального комплексу та розроблено модель, що враховує особливості роботи вантажного терміналу і всі можливі стани системи.

Ключові слова: математична модель, термінальний комплекс, вантажний термінал

Предложена математическая формализация процесса функционирования терминального комплекса и разработана модель, учитывающая особенности работы грузового терминала и все возможные состояния системы.

Ключевые слова: математическая модель, терминальный комплекс, грузовой терминал

The mathematical formalization of operation process for a terminal complex is proposed and a model taking into account characteristics of a freight terminal and all the possible states of a system is developed.

Keywords: mathematical model, terminal complex, freight terminal

Введение

Значение такого вида транспортировки как терминальные перевозки в современных системах чрезвычайно возросло, что определено, прежде всего, интегрированием в грузовых терминалах большого числа логистических активностей.

Тем не менее, основной проблемой развития терминальных перевозок в мире, как и раньше, остается то, что грузовой оборот растет намного быстрее, чем мощность самих терминалов. В тоже время имеют место чрезмерные простои подвижного состава под погрузкой-разгрузкой, нерационально используются производственные ресурсы и т.д.

Эффективное функционирование логистических транспортно-распределительных систем осуществляется путем оптимизации управления и планирования товарно-материальных и связанных с ними информационных и финансовых потоков на основе системного подхода и согласования экономических интересов всех участников логистической системы.

Многофункциональная деятельность невозможна без использования современных информационных технологий и автоматизированных систем. Использование таких систем позволяет уменьшить сроки и улучшить качество обработки грузов. Этого можно достичь благодаря более полному контролю выполнения технологического цикла и уменьшению потерь и нарушений во время обработки груза [1].

Анализ публикаций

Транспортный сервис в современных условиях включает не только перевозку грузов от поставщика потребителю, но и большое количество экспедиторских, информационных операций, услуг по грузопереработке, страхованию, охране и т.п. [2].

Исследованиям вопросов оптимизации технологических процессов транспортно-распределительных систем и повышения эффективности функционирования транспортно-складских комплексов посвящены работы ученых: Смехова А. А., Миротина Л. Б., Вельможина А. В., Лукинского В. С., Аникина Б. О., Нечаева Г. И., Нагорного Е. В., Бабушкина Г. Ф., Котенка А. Н., Губенко В. К., Прокофьевой Т. А., Николаичука В. Е. и др. [3–10].

Анализ работы различных терминальных комплексов показал, что уровень организации работы терминала не обеспечивает эффективного использования подвижного состава и других ресурсов, которые принимают участие во взаимодействии подсистем.

Современные условия (техническое развитие, конкуренция, рыночные отношения) требуют новых стандартов организации транспортного обслуживания с учетом интересов как производителей транспортных услуг, так и потребителей. Необходимо также учитывать, что для каждой отдельной среды присущи свои уникальные условия, которые накладывают отражение на характер функционирования всей системы [10].

Цель и постановка задачи

Целью исследования является математическая формализация процесса функционирования грузового терминального комплекса.

Для достижения цели исследования процесс функционирования грузового терминала рассматривается как система массового обслуживания.

Математическая формализация процесса функционирования грузового терминала

Основной задачей и показателем терминальных перевозок является обеспечение высокой скорости доставки груза при одновременном эффективном использовании подвижного состава.

Для эффективного функционирования терминала с точки зрения системного подхода, как основного принципа логистики необходимо рассматривать терминал как сложную иерархическую транспортную микросистему.

В такой системе входной поток требований образуют автомобили, которые прибывают на терминал в случайные моменты времени. Обслуживанием являются операции разгрузки, оформления документов, хранения груза и выдачи из склада, следовательно, система является четырехфазной. Входным параметром системы является интенсивность входящего потока автомобилей на грузовой терминал λ , а параметрами, которые оптимизируются, – интенсивности обслуживания (переработки) грузопотока в каждой фазе соответственно $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$.

Кроме того, такая система массового обслуживания как терминал, является разомкнутой системой с ожиданием, поскольку имеет огромное число источников требований, каждое из которых ждет обслуживания. Причинами возникновения очередей являются потребности в обслуживании, которые случайно изменяются, и (или) колебание времени, которое расходуется на удовлетворение отдельной заявки на обслуживание.

Функционирование терминала представлено как совокупность взаимодействия фаз: экспедиция приема, подготовительные операции, заключительные операции и экспедиция выдачи.

Во всех фазах терминала необходимо учитывать нестационарность протекания процессов, которые определяются факторами внешней среды, а также вероятностную их природу. Среди таких факторов можно выделить неравномерность поступления транспортных средств и грузов, изменение требований владельцев груза относительно комплекса транспортных услуг, отказы в работе погрузочно-разгрузочных механизмов, сменный уровень эксплуатационной надежности и др. Также необходимо учитывать внутритерминальное перемещение грузов.

Взаимодействие фаз терминала на втором уровне системы транспортного обслуживания должна обеспечивать высокое качество транспортного обслуживания и при установленной степени надежности, обеспечивать минимальное время задержек в каждой фазе и минимальное время пребывания грузопотока в целом на терминале:

$$t_{\text{ог}} = \sum_{i=1}^n t_{\text{ог}i}^{\Phi} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $t_{\text{ог}}$ – общее время обработки груза на терминале, ч;

$t_{\text{ог}i}^{\Phi}$ – время нахождения грузопотока в i -й фазе, ч;

n – количество фаз терминала, ед.

В результате анализа технологии переработки грузопотока на терминале разработана граф-модель состояний системы. Размеченный граф позволяет сформировать математическую модель процесса, т. е. найти вероятность всех состояний $P_{ijklm}(t)$ как функции времени.

При довольно большом времени протекания процессов в системе (при $t \rightarrow \infty$) могут устанавливаться вероятности состояний, не зависящие от времени, которые называются финальными вероятностями, т. е. в системе устанавливается стационарный режим. Если число состояний системы конечное, и из каждого из них за конечное число шагов можно перейти в любое другое состояние, то финальная вероятность существует, т.е.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_{ijklm}(t) = P_{ijklm}. \quad (2)$$

Смысл финальной вероятности заключается в том, что они равняются среднему отношению времени нахождения системы в этом состоянии.

Система уравнений финальных вероятностей (3):

$$\begin{cases}
 -\lambda \cdot P_{00000} + \mu_4 \cdot P_{10001} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{11000} - \mu_1 \cdot P_{11000} + \lambda \cdot P_{00000} + \mu_4 \cdot P_{21001} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{10100} - \mu_2 \cdot P_{10010} + \mu_1 \cdot P_{11000} + \mu_4 \cdot P_{21001} + \mu_4 \cdot P_{20101} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{10010} - \mu_3 \cdot P_{10010} + \mu_2 \cdot P_{10100} + \mu_4 \cdot P_{20011} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{10001} - \mu_4 \cdot P_{10001} + \mu_3 \cdot P_{10010} + \mu_4 \cdot P_{20011} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{21000} - \mu_1 \cdot P_{21000} + \lambda \cdot P_{11000} + \mu_4 \cdot P_{31001} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{21100} - 2 \cdot \mu_2 \cdot P_{21100} + \lambda \cdot P_{10100} + \mu_1 \cdot P_{21000} + \mu_4 \cdot P_{31101} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{21010} - \mu_1 \cdot P_{21010} - \mu_3 \cdot P_{21010} + \lambda \cdot P_{10010} + \mu_2 \cdot P_{21100} + \mu_4 \cdot P_{31011} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{20110} - \mu_3 \cdot P_{20110} + \mu_2 \cdot P_{21100} + \mu_1 \cdot P_{21010} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{21001} - \mu_1 \cdot P_{21001} - 2 \cdot \mu_4 \cdot P_{21001} + \lambda \cdot P_{10001} + \mu_3 \cdot P_{21010} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{20101} - \mu_2 \cdot P_{20101} - \mu_4 \cdot P_{20101} + \mu_1 \cdot P_{21001} + \mu_3 \cdot P_{20110} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{20011} - 2 \cdot \mu_4 \cdot P_{20011} + \mu_2 \cdot P_{20101} + \mu_4 \cdot P_{30111} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31000} - \mu_1 \cdot P_{31000} + \lambda \cdot P_{21000} + \mu_4 \cdot P_{41001} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31100} - 2 \cdot \mu_2 \cdot P_{31100} + \lambda \cdot P_{21100} + \mu_1 \cdot P_{31000} + \mu_4 \cdot P_{41101} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31010} - \mu_1 \cdot P_{31010} - \mu_3 \cdot P_{31010} + \lambda \cdot P_{21010} + \mu_2 \cdot P_{31100} + \mu_4 \cdot P_{41011} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31110} - \mu_3 \cdot P_{31110} + \lambda \cdot P_{20110} + \mu_1 \cdot P_{31010} + \mu_2 \cdot P_{31100} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31001} - \mu_1 \cdot P_{31001} - \mu_4 \cdot P_{31001} + \lambda \cdot P_{21001} + \mu_3 \cdot P_{31010} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31101} - 2 \cdot \mu_2 \cdot P_{31101} - \mu_4 \cdot P_{31101} + \lambda \cdot P_{20101} + \mu_1 \cdot P_{31001} + \mu_3 \cdot P_{31110} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{31011} - \mu_1 \cdot P_{31011} - \mu_4 \cdot P_{31011} + \lambda \cdot P_{20011} + \mu_2 \cdot P_{31101} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{30111} - \mu_4 \cdot P_{30111} + \mu_1 \cdot P_{31011} + \mu_2 \cdot P_{31101} + \mu_4 \cdot P_{41111} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41000} - \mu_1 \cdot P_{41000} + \lambda \cdot P_{31000} + \mu_4 \cdot P_{51001} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41100} - 2 \cdot \mu_2 \cdot P_{41100} + \lambda \cdot P_{31100} + \mu_1 \cdot P_{41000} + \mu_4 \cdot P_{51101} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41010} - \mu_1 \cdot P_{41010} - \mu_3 \cdot P_{41010} + \lambda \cdot P_{31010} + \mu_2 \cdot P_{41100} + \mu_4 \cdot P_{51011} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41110} - \mu_3 \cdot P_{41110} + \lambda \cdot P_{31110} + \mu_1 \cdot P_{41010} + \mu_2 \cdot P_{41100} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41001} - \mu_1 \cdot P_{41001} - \mu_4 \cdot P_{41001} + \lambda \cdot P_{31001} + \mu_3 \cdot P_{41010} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41101} - 2 \cdot \mu_2 \cdot P_{41101} - \mu_4 \cdot P_{41101} + \lambda \cdot P_{30101} + \mu_1 \cdot P_{41001} + \mu_3 \cdot P_{41110} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41011} - \mu_1 \cdot P_{41011} - \mu_4 \cdot P_{41011} + \lambda \cdot P_{31011} + \mu_2 \cdot P_{41101} = 0; \\
 -\lambda \cdot P_{41111} - \mu_4 \cdot P_{30111} + \lambda \cdot P_{30111} + \mu_1 \cdot P_{41011} + \mu_2 \cdot P_{41101} + \mu_4 \cdot P_{51111} = 0; \\
 -\mu_1 \cdot P_{51000} + \lambda \cdot P_{41000} = 0; \\
 -2 \cdot \mu_2 \cdot P_{51100} + \lambda \cdot P_{41100} + \mu_1 \cdot P_{51000} = 0; \\
 -\mu_1 \cdot P_{51010} - \mu_3 \cdot P_{51010} + \lambda \cdot P_{41110} + \mu_2 \cdot P_{51100} = 0; \\
 -\mu_3 \cdot P_{51110} + \lambda \cdot P_{41110} + \mu_1 \cdot P_{51010} + \mu_2 \cdot P_{51100} = 0; \\
 -\mu_1 \cdot P_{51001} - \mu_4 \cdot P_{51001} + \lambda \cdot P_{41001} + \mu_3 \cdot P_{51010} = 0; \\
 -2 \cdot \mu_2 \cdot P_{51101} - \mu_4 \cdot P_{51101} + \lambda \cdot P_{41101} + \mu_3 \cdot P_{51110} = 0; \\
 -\mu_1 \cdot P_{51011} - \mu_4 \cdot P_{51011} + \lambda \cdot P_{41011} + \mu_2 \cdot P_{51101} = 0; \\
 -\mu_4 \cdot P_{51111} + \lambda \cdot P_{41111} + \mu_1 \cdot P_{51011} + \mu_2 \cdot P_{51101} = 0.
 \end{cases} \tag{3}$$

Для полученной модели существует система ограничений:

– интенсивности обслуживания в каждой фазе имеют следующую зависимость:

$$\mu_4 > \mu_2 > \mu_1 > \mu_3. \quad (4)$$

– интенсивность входящего потока и интенсивности обслуживания в каждой фазе должны быть строго положительными:

$$\lambda > 0; \mu_1 > 0; \mu_2 > 0; \mu_3 > 0; \mu_4 > 0. \quad (5)$$

– сумма всех вероятностей пребывания системы в разных состояниях равна единице. Условие нормировки:

$$\begin{aligned} &P_{00000} + P_{11000} + P_{10100} + P_{10010} + P_{10001} + \\ &+ P_{21000} + P_{21100} + P_{21010} + P_{20110} + P_{21001} + \\ &+ P_{20101} + P_{20011} + P_{31000} + P_{31100} + P_{31010} + \\ &+ P_{31110} + P_{31001} + P_{31101} + P_{31011} + P_{30111} + \\ &+ P_{41000} + P_{41100} + P_{41010} + P_{41110} + P_{41001} + \\ &+ P_{41101} + P_{41011} + P_{41111} + P_{51000} + P_{51100} + \\ &+ P_{51010} + P_{51110} + P_{51001} + P_{51101} + P_{51011} + \\ &+ P_{51111} = 1. \end{aligned} \quad (6)$$

При разработке модели сделаны следующие допущения:

– очередь автомобилей не превышает пяти единиц;

– состояние системы S_{00000} в расчетах технологических параметров участия не принимает, поскольку исключает возможность простоя автомобилей в очереди, а простой оборудования не является следствием очереди в предыдущем состоянии системы;

– переход из заданного состояния системы осуществляется в меньшее за номером состояние, только если один автомобиль прошел все фазы и оставил систему, во всех других случаях переход может быть осуществлен только в большее за номером состояние.

Предложенная модель учитывает все возможные состояния системы и переходы между ними, наглядно отображает движение груза внутри терминала и учитывает особенности работы грузового терминала.

Выводы

Разработан граф состояний для терминала, который представляет собой четырехфазную сис-

тему массового обслуживания. Граф-модель отображает все возможные состояния системы, возможности перехода с одного состояния в другое и интенсивности переходов между ними.

Предложена математическая формализация процесса функционирования терминального комплекса с учетом особенностей работы грузового терминала и вероятностного характера отдельных его технологических процессов.

Разработанная модель дает возможность довольно точно спрогнозировать поведение системы при изменении любого ее параметра без особых затрат времени и средств, что делает модель наиболее востребованной при оперативном планировании на предприятии.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

– мониторинг рынка и определение закономерностей изменения входных параметров, прежде всего, интенсивности входящего потока автомобилей и интенсивностей обслуживания в каждой фазе терминала;

– формирование аналитических зависимостей для определения технологических параметров терминального комплекса;

– установление закономерностей изменения технологических параметров терминального комплекса и определение их оптимальных значений;

– выбор оптимальной технологии обработки грузопотока на терминальном комплексе в условиях ресурсосбережения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов, А. А. Математическое моделирование транспортных процессов [Текст] : учеб. пособие / А. А. Абрамов. – М.: РГОТУПС, 2002. – 128 с.
2. Сервис на транспорте [Текст] / В. М. Николашин [и др.]; под ред. В. М. Николашина. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 272 с.
3. Миротин, Л. Б. Логистика, технология, проектирование складов, транспортных узлов и терминалов [Текст] / Л. Б. Миротин, А. В. Бульба, В. А. Демин. – М.: Феникс, 2009. – 416 с.
4. Житков, В. А. Планирования автомобильных перевозок вантажів малими партіями [Текст] / В. А. Житков. – К., Транспорт 2003. – 416 с.
5. Прокофьева, Т. А. Логистика транспортно-распределительных систем: Региональный аспект [Текст] / Т. А. Прокофьева, О. М. Лопаткин. – М.: РосКонсульт, 2003. – 400 с.

6. Логистика автомобильного транспорта: концепция, методы, модели [Текст] : учеб. пособие / В. С. Лукинский [и др.]. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 280 с.
7. Николайчук, В. Е. Транспортно-складская логистика [Текст] / В. Е. Николайчук. – М.: Дашков и К°, 2007. – 452 с.
8. Нагорный, Е. В. Рационализация технологических параметров транспортного обслуживания грузовладельцев в транспортных узлах [Текст] / Е. В. Нагорный, Т. В. Столяр // Сб. науч. тр. «Автомобильный трансп.» – Х.: ХГАДУ, 2006. – Вып. 18. – С. 54-56.
9. Нагорный, Е. В. Методика визначення часу переробки тарно-штучних вантажів на терміналі [Текст] / Е. В. Нагорний, А. С. Самойленко // Автомобільний транспорт. – Х.: ХНАДУ, 2006. – Вип. 19. – С. 72-75.
10. Нечаев, Г. И. Основы организации работы и управления транспортно-складскими комплексами [Текст] / Г. И. Нечаев. – Луганск: ВУГУ, 1998. – 226 с.
11. Шраменко, Н. Ю. Розвиток та сучасний стан термінальних систем як ресурсозберігаючої технології доставки вантажів [Текст] / Н. Ю. Шраменко // Восточноевропейский журн. передовых технологий: сб. науч. тр. / редкол.: Д. А. Демин (гл. ред.) [и др.]. – 2010. – Вып. 2/4 (44). – С. 15-17.

Поступила в редколлегию 17.11.2010.

Принята к печати 12.01.2011.

МЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ З ПІДВИЩЕНОЮ МІЦНІСТЮ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАГОНІВ

Розглянуто питання по застосуванню низьколегованих сталей з підвищеною міцністю після різноманітних термомеханічних обробок для виготовлення залізничних вагонів.

Ключові слова: низьколеговані сталі, термомеханічна обробка, залізничний вагон

Рассмотрены вопросы по использованию низколегированных сталей с повышенной прочностью после различных термомеханических обработок для изготовления железнодорожных вагонов.

Ключевые слова: низколегированные стали, термомеханическая обработка, железнодорожный вагон

The issues of using the high-strength low-alloy steels after different thermomechanical treatments for manufacture of railway cars are considered.

Keywords: low-alloy steels, thermomechanical treatments, railway car

Розробляючи пропозиції щодо використання металевих матеріалів з підвищеним рівнем властивостей для будування вагонів, треба урахувати, що потрібне співвідношення між властивостями може бути досягнуте декількома шляхами [1]. Один з них – це використання спеціального легування при виготовленні сталей. Комплекс властивостей таких сталей, при практично незмінному структурному стані, залежить в основному від їх хімічного складу. Інший напрямок виготовлення металевих матеріалів з підвищеним рівнем міцності – це зміна структурного стану металу виробів при використанні різноманітних термічних та термомеханічних обробок. При такому підході, зміна дисперсності та морфології структурних складових дозволить досягти потрібного співвідношення між властивостями [2]. Рівень міцності після такої обробки в значній мірі зв'язаний із ступенем відхилення металу від термодинамічно стабільного стану. При зовнішніх впливах, таких як нагрів до різних температур, пластична деформація та ін. будуть обов'язково супроводжуватися розвитком структурних змін, які спрямовані на досягнення умов рівноваги. Обумовлено це тим, що сам процес зміцнення при термічній та термомеханічній обробці заснований на введенні додаткової кількості дефектів кристалічної будови, що підвищує термодинамічний потенціал системи, якою є сталь.

Неухильне зростання вартості легуючих елементів указує на перспективний напрямок підвищення міцнісних властивостей металевих виробів, який заснований на об'єднанні двох наведених підходів – це виготовлення економічно легованих сталей із подальшою їх термічною зміцнюючою обробкою [3, 4]. Відомо, що

введення до складу низьковуглецевих сталей невеликих добавок ніобію, ванадію, азоту, бору разом з традиційними легуючими хімічними елементами дозволяє, після прискореного охолодження, досягати рівня міцності 1000 МПа і більше [5]. З іншого боку, при виготовленні вагонів достатньо широко застосовуються технології зварювання, при яких розвиток процесів зниження міцності може мати достатньо вагоме значення, особливо в зоні термічного впливу зварного шву [6]. Додатково треба урахувати, що в елементах залізничного вагона, які піддаються циклічним навантаженням розвиток процесів структурних змін може негативно впливати на комплекс властивостей металу [7].

Використання сталей з підвищеним рівнем міцності дозволить не тільки знизити загальну масу вагона, але і сприяти підвищенню безпеки експлуатації [8].

Другим питанням, яке необхідно вирішити при виборі металевих матеріалів це особливості виготовлення конкретного елемента залізничного вагону. В першому наближенні, елементи вагонів можна розподілити на дві групи за технологією виготовлення: це елементи для яких використовують різноманітні вироби прокатного виробництва (лист, фасонні профілі та ін.) або ливарні технології.

Так, наприклад бокову раму візка або надресорну балку виготовляють з використанням сталі 20ГЛІ за ливарною технологією. При цьому її комплекс властивостей повинен відповідати вимогам: межа плинності (σ_T) 294...343 МПа, межа міцності (σ_B) 490 МПа, відносне подовження (δ) 20 %, відносне звуження (ψ) 30 %, ударна в'язкість при +20 °С (KCU^{+20}) ≥ 49 Дж/см², при

$-60\text{ }^{\circ}\text{C} \geq 24\text{ Дж/см}^2$. Інша марка сталі 20ГФЛ має хімічний склад аналогічний як для 20ГЛ (різниця лише в додатку ванадію 0,04...0,16 %) та і комплекс властивостей приблизно однаковий із сталлю 20ГЛ. На основі даних випробувань визначено, що для структурного стану металу після лиття добавки ванадію 0,04...0,16 % або титану в межах 0,005...0,03 %, до складу сталі 20ГЛ (20ГТЛ) приводять до підвищення міцності лише на 5 % (до 510 МПа), при цьому можна спостерігати зниження δ на 2 %. З іншого боку, використання термічної обробки, яка спрямована на зміну структурного стану металу, може сприяти підвищенню комплексу властивостей [5, 6]. Так, піддаючи нормалізації готовий виріб, наприклад бокову раму візка, нагріву до температури вище температури початку фазових перетворень (A_{c1}), після потрібної витримки при цій температурі для вирівнювання температур по перетину і подальшого охолодження на вільному повітрі, очікуються властивості: $\sigma_T = 340\text{...}350\text{ МПа}$, $\sigma_B = 650\text{...}660\text{ МПа}$, $\delta = 20\text{...}22\text{ \%}$, $\psi = 30\text{...}35\text{ \%}$. Порівняльний аналіз отриманих даних показує, що зміна структурного стану металу (за умови незмінності хімічного складу, наприклад, для сталі 20ГЛ) дозволить підвищити міцність на 30 %, при практично незмінних інших характеристиках. Аналогічний, якщо не більший, вплив на рівень міцності можна досягти і для сталей 20ГТЛ, 20ГФЛ. Якісно інше технологічне рішення – це вплив на процес охолодження металу після заповнення форми рідким металом. Зміна швидкості кристалізації дає змогу впливати на дисперсність структури і, як наслідок цього, керувати якістю виробу. Однак, як бокова рама візка, або надресорна балка являють собою достатньо складної форми виробу, то і розподіл внутрішніх напружень в них після виготовлення достатньо складний. Як свідчать експериментальні дані, зміна розподілу внутрішніх напружень, наприклад після ремонтних або відновлювальних робіт, може привести до достатньо швидкого зародження, в місцях підвищених діючих напружень при експлуатації, осередків руйнування. Перспективним напрямком по удосконаленню ливарних технологій є вплив на процеси формування зародків твердої фази та їх зростання при охолодженні [6, 8]. Так, введення спеціальних модифікаторів в рідкий метал дозволить не тільки підвищити гомогенність структури після закінчення кристалізації але і впливати на морфологію структурних складових металу, їх розподіл в матриці. Під-

тверджується наведений підхід відомими співвідношеннями стосовно введення в метал спеціальних сумішей, які давали змогу підвищити в 1,5...1,6 разу коефіцієнт запасу міцності при втомі. Упровадження наведених технічних рішень, за рахунок підвищення якості металу дозволить суттєво подовжити строк експлуатації наведених виробів ливарного виробництва.

Для виробів, які виготовляють за технологіями гарячої пластичної деформації, значно більше варіантів підвищення міцності. Так, катані колісні центри, які виготовляють із сталі 50 (вуглець 0,45...0,52 %) в гарячекатаному стані мають $\sigma_T = 290\text{ МПа}$, $\sigma_B = 590\text{ МПа}$, $\delta = 16\text{ \%}$, $\psi = 22\text{ \%}$, $KCU^{+20} 20\text{ Дж/см}^2$, $HB = 1650\text{...}2350\text{ МПа}$. Піддаючи нормалізації колісний катаний центр (нагрів до температури вище температури початку фазових перетворень (A_{c3}), необхідна витримка при цій температурі і подальше охолодження на вільному повітрі) очікується рівень властивостей: $\sigma_T = 375\text{ МПа}$, $\sigma_B = 630\text{ МПа}$, $\delta = 14\text{ \%}$, $\psi = 38\text{ \%}$, $HB = 2410\text{ МПа}$. Порівняльний аналіз показує, що зміна структурного стану металу (після нормалізації), при незмінному хімічному складі (сталь 50) дозволить підвищити міцність на 7 %. Піддаючи наведений метал поліпшенню (гартування від нормальних температур нагріву та послідовний відпуск) досягається подальше підвищення міцності: σ_T до 460 МПа, $\sigma_B = 700\text{...}850\text{ МПа}$, $\delta = 15\text{ \%}$, $\psi = 30\text{ \%}$, $HB = 3500\text{...}4000\text{ МПа}$. Порівняльний аналіз із комплексом властивостей гарячекатаного металу показує на можливість підвищення міцності на 30...40 %, при практично незмінній пластичності.

Для виготовлення кузова вагона достатньо широкого застосування отримали сталі типу 09Г2, 09ГС та ін. із вмістом вуглецю на рівні 0,08...0,1 %. В гарячекатаному стані наведені сталі мають властивості: $\sigma_T = 305\text{ МПа}$, $\sigma_B = 440\text{ МПа}$, $\delta = 21\text{ \%}$, $\psi = 35\text{...}39\text{ \%}$.

Інша марка сталі така, як 15Г2АФД, з вуглецем до 0,12 %, але з мікродобавками легуючих елементів, в гарячекатаному стані має декілька підвищений рівень міцнісних властивостей: $\sigma_T = 390\text{ МПа}$, $\sigma_B = 540\text{ МПа}$, з практично незмінною пластичністю ($\delta = 19\text{ \%}$, $\psi = 39\text{...}44\text{ \%}$). Аналогічною є сталь 10Г2ФБ із мікродомішками бору. При вмісті вуглецю 0,09 %, в гарячекатаному стані вона має такий комплекс властивостей: $\sigma_T = 550\text{ МПа}$, $\sigma_B = 640\text{ МПа}$, $\delta = 20,5\text{ \%}$, $\psi = 39\text{...}44\text{ \%}$.

Піддаючи ізотермічному розпаду при різних температурах, за рахунок диспергування фазових складових сталей досягається підвищення відповідних показників комплексу властивостей. Так, для температур розпаду 450, 500, 550 °C σ_T приймає відповідні значення 669, 627, 614 МПа; σ_B – 721, 684, 678 МПа, δ – 13, 16,6, 25,4 %. Якщо проводити оцінювання по межі плинності, то підвищення буде складати приблизно 20 %. Наведені приклади зміни комплексу властивостей низьковуглецевих еконо-мнолегованих сплавів свідчать, що співвідношення між міцнісними та пластичними характеристиками може змінюватись в широкому діапазоні значень.

Розглядаючи конкретно елементи вагона, слід відзначити, що найбільш металомісткими слід вважати кузов і раму. Їх маса для сучасних вагонів, що знаходяться в експлуатації складає приблизно 50...60 % від загальної маси всього вагона. Використання сучасних конструкційних матеріалів дозволить змінити наведену долю металу. Так, окремі елементи – обшиву кришки люка напіввагона виготовляють зі сталі 10ХНДП, а гарячекатані профілі – із сталі 09Г2Д, з класом міцності на рівні 345 МПа.

Проведені дослідження показали можливість використання низьколегованих сталей з достатньою холодостійкістю для виготовлення хребтової балки із сталі 10Г2БД, двотавра № 19 і бокову обв'язку із сталі 08ХГСДП підвищеної корозійної стійкості.

Цілеспрямовані дослідження по використанню низьковуглецевих сталей для виготовлення крупногабаритних зварних конструкцій показали необхідність класифікації сталей за класом міцності. Так, для класу міцності 235...255 використовують сталі типу 10Г, 15Г з кількістю вуглецю до 0,22 %. Наступний клас міцності 345 може бути досягнутий з використанням вже низьколегованих сталей типу 10ХГ2СНД з кількістю вуглецю на рівні до 0,15 %, марганцю на межі до 1,8 %, кремнію – до 0,8 %, міді, хрому та нікелю – на рівні 0,3...0,6 %. Враховуючи, що основний вплив на рівень міцнісних характеристик сталей спостерігається з боку вуглецю, вже невеликі його добавки можуть суттєво сприяти зростанню класу міцності металу. Так, дійсно, збільшення вуглецю на 0,05 %, в межах марочного складу сталі 15Г2СД, дозволяє збільшити клас міцності приблизно на 10 % – до 375...390 МПа. Мікролегуєчі добавки ванадію або ніобію на рівні до 0,12...0,15 % дозволяють вже в гарячекатаному стані, через подрібнення аустенітного зе-

рна, підвищити характеристики міцності металу з одночасним зростанням опору зародженню тріщин. Добавки азоту також сприяють подальшому підвищенню класу міцності металу. Прикладом може бути сталь типу 15Г2АФС із приблизно 0,015...0,025 % азоту, що дає змогу перевести метал в більш високий клас міцності – 400...420. Подальше підвищення класу міцності стає можливим досягти завдяки підвищенню стійкості аустеніту при охолодженні за рахунок спеціального легування. Наведене зміна хімічного складу металу дозволяє в процесі його прискореного охолодження змінити структурний стан. Так, клас міцності на рівні 590 (сталь типу 10Г2ХСН2ФАМ) стало можливим досягти за рахунок розвитку процесів структурних перетворень частково за зсувним механізмом. Рівень міцності, який знаходиться в інтервалі значень 600...1 000 МПа, може бути досягнутим в аналогічній сталі з підвищеним вмістом хрому до 3 % та нікелю до 3...4 %. В наведених сталях (сталь 10Г2Х2Н3АФ) значна доля структури складається із мартенситу з визначеною кількістю аустенітної фази.

Таким чином, змінюючи у визначеному інтервалі значень концентрацію легуючих елементів в сталі та піддаючи в подальшому металевий прокат прискореному охолодженню, можна досягти достатньо високих рівнів міцності в порівнянні з гарячекатаними низьковуглецевими сталями, такими як, наприклад, сталі 09Г, 10Г, 15Г.

Аналіз нормативно-технічної документації країн СНД і Балтії стосовно розробки вагонів нового покоління показує, що зниження маси вагону з одночасним збільшенням несучої спроможності, може бути досягнуто за рахунок використання гарячекатаних профілів прокату з класом міцності 390...420 МПа, або навіть 450. Враховуючи, що зростання міцнісних характеристик прокату, втому числі і того який піддають термічній обробці зміцненням, має підвищений рівень остаточних внутрішніх напружень, їх вплив на поведінку металу, особливо за умови циклічного навантаження, не завжди має однозначний характер. Таким чином, після виготовлення конструкції, треба урахувати розподіл внутрішніх напружень, їх знак порівнюючи з можливим рівнем напружень, які виникають в елементах конструкції під час її експлуатації.

Заслужують спеціальної уваги питання по використанню металевих матеріалів з підвищеним рівнем опору зношуванню при експлуатації. Одними з таких матеріалів можуть бути ча-

вуни, в яких, за рахунок виділення карбіду ванадію при визначених температурних умовах із пересичених ванадієм евтектичних карбідів, досягається збільшення пластичних властивостей. В результаті наведеного карбідного перетворення евтектична сітка карбідів руйнується. Сформована структура з рівномірним розташуванням карбідів в металевій матриці дозволяє в чавуні досягти рівня властивостей більшості складно легованих високоміцних сталей, виготовлених за достатню складними технологіями.

На підставі детального аналізу зміни комплексу властивостей сталей від вмісту легуючих елементів та структурного стану (гарячекатаний метал або термічно зміцнений на різні рівні) стає необхідним визначити пріоритетні напрямки використання прокату з конкретним рівнем міцнісних, пластичних властивостей, опором зародженню тріщин різної природи походження. Заслуговує уваги використання профілів прокату, які дозволять підвищити жорсткість конструкцій, в тому числі гнуті профілі прокату. Використання таких профілів замість катаних, може дати змогу знизити металомісткість вагонів без зниження жорсткості конструкції в цілому.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Вакуленко, И. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали [Текст] / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Д., 2008. – 196 с.
2. Бабич, В. К. Деформационное старение стали [Текст] / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
3. Вакуленко, И. А. Использование термического упрочнения элементов железнодорожных колес с целью повышения эксплуатационной надежности [Текст] / И. А. Вакуленко, О. Н. Перков // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 195-196.
4. К вопросу надежности и долговечности железнодорожных колес [Текст] / О. Н. Перков [и др.] // Зб. наук пр. Нац. гірн. ун-ту «Теория и практика металлургии». – Д., 2008. – № 3. – С. 43-46.
5. Федин, В. М. Металлопродукция для железнодорожного транспорта: повышение эффективности [Текст] / В. М. Федин, А. И. Борщ, И. В. Шарапова // Ж.-д. трансп. – 2005. – № 6. – С. 45-49.
6. Конюхов, А. Д. Грузовому вагоностроению – современные конструкционные материалы [Текст] / А. Д. Конюхов // Ж.-д. трансп. – 2001. – № 11. – С. 60-63.
7. Залежність структурних змін в металі залізничної вісі від схеми навантаження [Текст] / І. О. Вакуленко [та ін.] / Залізн. трансп. України. – 2010. – № 1. – С. 3-4.
8. Сапожников, С. А. Новые материалы и технологии [Текст] / С. А. Сапожников // Ж.-д. трансп. – 2008. – № 4. – С. 65-68.

Надійшла до редколегії 24.01.2011.

Прийнята до друку 27.01.2011.

УМОВИ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ ДИНАМІЧНОГО ДЕФОРМАЦІЙНОГО СТАРІННЯ В СТАЛІ

В порівнянні з односпрямованим деформуванням, попереднє навантаження стискуванням супроводжується зсувом моменту формування першого зриву напруження при розтяганні у бік більш великих деформацій. Величини попередньої деформації стискуванням і виникнення першого зриву напруження при розтяганні практично дорівнюють одне одному.

Ключові слова: сталь, розтягання, напруження, деформація, падіння напруження, деформаційне старіння, реверсивна деформація

По сравнению с однонаправленным деформированием, предварительное нагружение сжатием приводит к сдвигу момента формирования первого срыва напряжения при растяжении в сторону больших деформаций. Величины предварительной деформации сжатием и появления первого срыва напряжения практически равны между собой.

Ключевые слова: сталь, растяжение, напряжение, деформация, падение напряжения, деформационное старение, реверсивная деформация

Contrary to the one-sided straining, after compressive predeformation with subsequent tension the shift of appearing the first stress stall to higher values of strains can be observed. The values of compressive predeformation and the strain of first stress stall appearance are approximately equal.

Keywords: steel, stretching, stress, strain, stress stall, deformation ageing, reverse deformation

В процесі експлуатації елементи рухомого складу піддаються дуже складним статичним і динамічним навантаженням, що супроводжується обов'язковою зміною комплексу властивостей металевих матеріалів. Особливо небезпечними являються напруження що циклічно змінюються, втому числі зі зміною напрямку навантаження. Після визначеного терміну часу експлуатації, незалежно від структурного стану металу, накопичення дефектів кристалічної будови приводе до зниження опору виробу зародженню осередків руйнування. З іншого боку, при зміні знаку навантаження розвиток процесів анігіляції за визначених умов, може приводити до уповільнення темпу накопичення дефектів в металі виробу, сприяючи зсуву моменту виникнення ушкодження в сторону більш тривалого терміну експлуатації. Враховуючи, що процеси дифузійного масопереносу в значній ступені прискорюються при підвищенні температури, переміщення домішкових атомів (в першу чергу вуглецю для сталей) до дефектів кристалічної будови буде супроводжуватися неодмінним зниженням їх рухомості. На підставі цього, розвиток процесів блокування руху дислокацій під час навантаження виробу приведе до обов'язкового окрихлення металу і, як наслідок цього, до передчасного його вилучення із експлуатації. Наведене явище в літературі має назву деформаційне старіння [1].

Метою роботи було вивчення умов розвитку процесів деформаційного старіння під час навантаження у вуглецевих сталях в залежності від схеми деформування.

Матеріалом для дослідження були вуглецеві сталі з кількістю вуглецю 0,1 та 0,5 %. Вихідний структурний стан – після нормалізації. Дослідження проводили при односпрямованому і реверсивному деформуванні при температурі 250 °С.

При визначеному співвідношенні температурних і швидкісних параметрів деформування та структури металу, на діаграмі розтягання можуть виникати немонотонності в зміні деформуючого напруження. Якщо при відносно низьких температурах навантаження зриву напруження обумовлені розвитком пластично нестабільної течії [2], то при підвищених температурах немонотонні зміни напруження пов'язані з іншими процесами.

Найбільш поширене пояснення щодо природи виникнення наведених зривів деформуючого напруження при підвищених температурах, як показано вище, засноване на взаємодії рухомої дислокації з хмарами домішкових атомів. Наведені об'єми металу з підвищеною концентрацією домішкових атомів можуть формуватися як в процесі руху дислокацій [1], так і за визначений термін часу, який ще називають часом очікування (τ_0) [3]. Розглядаючи кінетичні умови процесу блокування рухомої дисло-

кації хмарою з домішкових атомів, що називають динамічним деформаційним старінням (ДДС), було визначено, що максимальний ефект досягається при виконанні співвідношення [1, 3]:

$$\dot{\varepsilon} = \rho_m \frac{l \cdot b}{\tau_0}, \quad (1)$$

де ρ_m – густина рухомих дислокацій;

$\dot{\varepsilon}$ – макроскопічна швидкість деформації;

l – довжина вільного пробігу дислокації;

b – вектор Бюргерса.

Аналіз співвідношення (1) показує, що за умов постійної величини $\dot{\varepsilon}$, люба зміна τ_0 повинна мати свій відбиток на ρ_m .

Проведеними дослідженнями [2] було визначено, що формування зривів на кривій односпрямованого навантаження залежить від кількості вуглецю в сталі та мають свої особливості при виникненні. Так, в першому наближенні, за феноменологією зубчасту течію можна розділити на два типи. До першого типу слід віднести виникнення окремих, ізольованих зривів деформуючого напруження, які чергуються з гладкими ділянками кривої навантаження (рис. 1). Другий тип – це коли на визначеній ділянці спостерігають формування зривів з неухильним зростанням амплітуди коливальних деформуючого напруження (σ_D). Після досягнення визначеного значення деформації відбувається зниження величини σ_D . Після наведеного етапу знову формуються умови виникнення ділянки зривів з неухильним наростанням амплітуди. Порівняльний аналіз показує, що у більшості випадків при малих сумарних пластичних деформаціях виникають зриви напруження першого типу. Після деформацій, які перебільшують приблизно 4...6 %, спостерігають формування зривів напруження другого типу. З урахуванням складних процесів, що відбуваються в металі під час деформації при підвищених температурах, межа, яка розділяє ділянки з різною морфологією зривів напруження, може бути характеристикою, що дозволить визначити природу наведеного явища. Порівняльний аналіз положення межі по шкалі деформацій, яка відповідає зміні характеру зривів напруження (позначимо як ε_1), з деформацією моменту виникнення другої ділянки в області однорідного деформаційного зміцнення (ОДЗ), указує на існування зв'язку між ними [4]. З іншого боку, як показано в [2], виникнення переламу в області ОДЗ на логарифмічній діаграмі обумовлено

формуванням дислокаційної чарункової структури замість приблизно однорідного розподілу дислокацій, так і зриви напруження повинні бути зв'язані з якісними змінами внутрішньої будови металу.

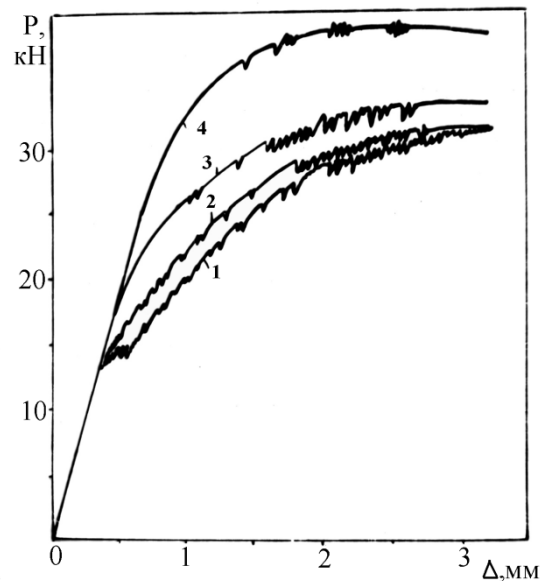


Рис. 1. Вигляд кривих розтягання при температурі 250 °С після попередньої деформації стискуванням (1 – 0 %; 2 – 2 %; 3 – 5 % і 4 – 10 %) вуглецевої сталі з 0,1 % С

Так, порівняно з односпрямованим навантаженням, для якого деформація виникнення зривів навантаження співпадає з моментом досягнення напруження плинності [1], зміна знаку деформації, навпаки, супроводжується суттєвим зсувом по шкалі деформацій моменту виникнення першого зриву в сторону більших значень [4]. Для визначення причин, що приводять до гальмування розвитку процесів ДДС при зміні знаку навантаження, розглянемо поведінку металу в області малих пластичних деформацій, з використанням величини необерненого руху дислокацій – σ_0 :

$$\sigma_0 = \sigma_i + \frac{k_y}{\sqrt{2d}} + \alpha \mu b \sqrt{\rho_m}, \quad (2)$$

де σ_i – напруження тертя кристалічної решітки металу;

k_y – коефіцієнт, який оцінює опір границі зерна деформації, що розповсюджується;

d – розмір зерна;

α – параметр, що визначає вплив швидкості деформації на σ_0 ;

μ – модуль зсуву.

Як свідчать експериментальні дані [1, 2], збільшення кількості вуглецю в сталі і ступеня

односпрямованої деформації приводять до зростання величини σ_0 . Після зміни напрямку навантаження характер залежності наведеної величини стає складнішим. Так, зростання попередньої деформації, наприклад стискуванням (ε_2) супроводжується при послідовному розтяганні спочатку зниженням σ_0 , а потім зростанням (рис. 2). Наведений характер зміни σ_0 в значній ступені подібний залежності при розвитку ефекту Баушингера при нормальних температурах нагріву. Розглядаючи окремі складові рівняння (2), необхідно відзначити, що за умов постійних температури та швидкості деформації впливом перших двох додатків можна зневажити. Тоді співвідношення (2) прийме вигляд:

$$\sigma_0 \approx \sqrt{\rho_m} \quad (3)$$

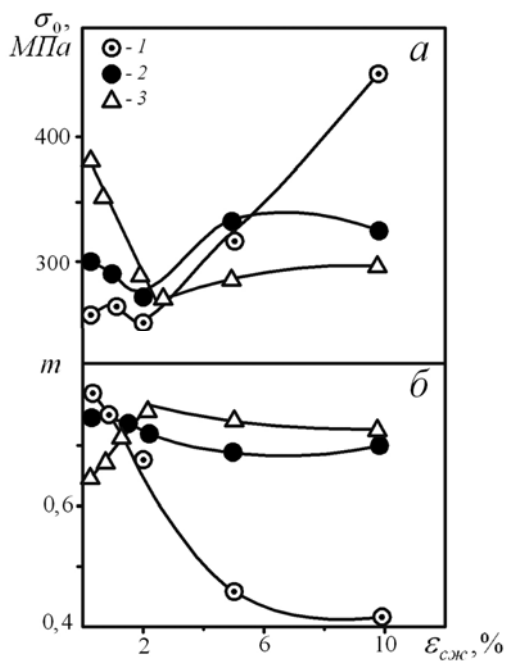


Рис. 2. Вплив ступеня деформації стискуванням на σ_0 (а) і коефіцієнт деформаційного зміцнення (m) (б) при розтяганні.
Температура випробування 250 °С

Аналіз співвідношення (3) показує, що за умов зміни знаку навантаження, на початкових етапах деформування зниження ρ_m , яке обумовлене розвитком процесів анігіляції дислокацій що введені при попередньому навантаженні, приведе до зміни умов (1). В свою чергу це приведе до зміни співвідношення між часом очікування (τ_0) та часом середнього пробігу дислокацій (τ_1). З урахуванням того, що для розвитку процесів ДДС необхідно виконання

умов $\tau_0 \approx \tau_1$, компенсувати наведений вплив можна за рахунок зниження $\dot{\varepsilon}$. За незмінної $\dot{\varepsilon}$, для підтримки умов розповсюдження пластичної деформації підвищуються локальні швидкості руху дислокацій, внаслідок чого зменшиться τ_1 . За умов $\tau_1 < \tau_0$ процеси ДДС не будуть мати розвитку. При послідовному деформуванні розтяганням, пропорційно ступеню пластичної деформації ρ_m буде зростати, а система почне наближатися до умов розвитку процесів ДДС лише після $\tau_0 \approx \tau_1$. Враховуючи, що текуче значення напруження течії підпорядковується рівнянню (2), умови розвитку ДДС будуть досягнуті лише після деформації, яка приблизно дорівнює деформації попереднього стискування. Підтверджується наведене положення залежностями, які наведені на рис. 2. З іншого боку, на прикладі низьковуглецевої сталі (0,1 % С) визначено, що після малих ступенів деформації густина дислокацій поблизу меж між зернами фериту буде більшою, ніж всередині зерна [1], більшою буде також і концентрація домішкових атомів поблизу меж. В процесі попереднього стискування домішкові атоми (атоми вуглецю) в першу чергу будуть взаємодіяти з дислокаціями поблизу меж між зернами, гальмуючи їх рух. Після зміни знаку навантаження (початок розтягання) дислокації, які розташовані всередині зерна, після стискування будуть взаємодіяти з новими, що врешті-решт приведе до їх анігіляції і зниження σ_0 . Протилежно цьому дислокації, що заблоковані при стискуванні та які розташовані поблизу меж між зернами, навпаки – будуть сприяти підвищенню величини σ_0 [4]. Ефект сумарного впливу на σ_0 наведений на рис. 2.

В сталях із підвищеним вмістом вуглецю об'ємна частка цементиту буде збільшуватися в порівнянні з низьковуглецевою сталлю. На підставі цього, середня довжина шляху (розмір зерна структурно вільного фериту і розмір міжкарбідної відстані у фериті перліту) для доставки атомів вуглецю від карбідів до дислокацій повинна зменшитися, що може розглядатися як прискорення розвитку процесів ДДС. З іншого боку, необхідно враховувати, що головний вплив від зростання об'ємної частки цементиту зв'язаний зі збільшенням сумарної площини міжфазової поверхні розподілу між феритом і цементитом та з тим, що сама границя є як місцем зародження дислокацій, так і їх анігіляції. На підставі цього, чим більша площа границь між фазами, тим більша густина рухомих дислокацій формується за поодиноким ступінь дефо-

рмації. Таким чином, умови ефективної взаємодії між рухомими дислокаціями та атомами вуглецю повинні зсуватися у бік більших сумарних деформацій. Підтверджується наведене положення характером залежності величини σ_0 та m для сталі з 0,5 % С. Як свідчать експериментальні дані [2, 4], аж до деформації стискування 4...5 % спостерігається суттєве зниження σ_0 і зростання m . Пов'язане це з якісними змінами дислокаційної структури фериту сталі. Відомо, що при односпрямованому деформуванні розтяганням дислокаційна чарункова структура в сталях з кількістю вуглецю 0,5 % починає формуватися приблизно після 4...5 %. Наведене явище в значній ступені знижує темп накопичення дислокацій, що пояснюється уповільненням їх руху і розвитком анігіляційних процесів. На підставі цього, зміна σ_0 та m із зростанням деформації стає значно меншою. Таким чином, можна говорити про одночасний вплив з боку зерен структурно вільного фериту і фериту перліту на процеси розвитку процесів ДДС. Причому, співвідношення між фазовими складовими сталі, в залежності від кількості вуглецю, визначає послідовну зміну домінуючого їх впливу на розвиток наведених процесів.

Таким чином, у вуглецевих сталях при незмінних температурно-швидкісних умовах деформування, тільки зміна знаку навантаження супроводжується пригнічуванням розвитку процесів ДДС. Аналогічний характер впливу спостерігається і при підвищенні вмісту вуглецю в сталі, що пов'язано зі зростанням деформації формування дислокаційних чарункових структур.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бабич, В. К. Деформационное старение стали [Текст] / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
2. Вакуленко, И. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали [Текст] / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Д., 2008. – 196 с.
3. Schoeck, G. The Portevin – Le Chatelier effect, a kinetic theory [Text] / G. Schoeck // Acta met. – 1984. – № 8. – Р. 1224-1234.
4. Вакуленко, И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании [Текст] / И. А. Вакуленко. – Д.: Gaudeamus, 2003. – 94 с.

Надійшла до редколегії 16.12.2010.

Прийнята до друку 21.12.2010.

О. А. КУЗІН (Національний університет «Львівська політехніка»), Т. М. МЕЩЕРЯКОВА (Львівська філія ДПТУ), М. О. КУЗІН (Львівська залізниця)

РОЛЬ СТРУКТУРИ В ПРОЦЕСАХ ЗНОШУВАННЯ ФЕРИТО-ПЕРЛИТНИХ СТАЛЕЙ

Представлено результати досліджень впливу структури на механічні властивості й поведінку ферито-перлитних сталей при дії контактних навантажень. Показано, що формування відманштеттової структури має негативний вплив на працездатність сталей при статичних навантаженнях, але позитивно впливає на їх зносостійкість.

Ключові слова: сталь, структура, механічні властивості, перліт, зносостійкість, навантаження

Представлены результаты исследования влияния структуры на механические свойства и поведение ферито-перлитных сталей при действии контактных нагрузок. Показано, что формирование видманштеттовой структуры имеет негативное влияние на работоспособность сталей при действии статических нагрузок, но положительно влияет на их износостойкость.

Ключевые слова: сталь, структура, механические свойства, перлит, износостойкость, нагрузка

The results of study of influence of structure on mechanical properties and behavior of ferrite-perlite steels under the action of contact loads are presented. It is shown that the formation of the widmanstatten pattern has a negative impact on the performance of steels under static loads but a positive effect on their durability.

Keywords: steel, structure, mechanical properties, perlite, durability, load

Вступ

Нагальні потреби розвитку залізничного транспорту вимагають використання деталей і виробів з чітко означеними функціональними властивостями поверхневих шарів, активізації досліджень пов'язаних із визначенням багатомасштабності явищ у твердих тілах при їх пластичній деформації і руйнуванні [1]. Найбільш ефективними методами керування потоками поверхневих дефектів, які виникають при зовнішніх навантаженнях твердих тіл і суттєво впливають на характеристики матеріалів, є створення у виробках функціонально-градієнтних структур. Вони формуються в поверхневих шарах деталей під час їх виготовлення, відновлення або експлуатації. При цьому підвищення довговічності деталей досягається шляхом зміни напружено-деформованого стану в зоні контактної взаємодії, що дозволяє ефективно керувати потоками поверхневих дефектів, розвитком знеміцнення і деструктивних процесів поверхневих шарів, але вимагає детального аналізу ролі структурних параметрів в процесах руйнування.

Постановка задачі

Багаточисельні дослідження, присвячені вивченню впливу технологічних обробок на процеси зношування, пов'язують підвищення зносостійкості зі зміною параметрів механічних

властивостей матеріалів в зоні контактної взаємодії.

При терті контакт тіл відбувається в окремих локальних мікрооб'ємах – плямах контакту, в області яких проходять процеси деформації і руйнування матеріалу. Зносостійкість виробів визначається можливістю мікроструктури стримувати утворення і розвиток потоків поверхневих дефектів в умовах дії контактних навантажень.

Згідно сучасних уявлень деформівне тверде тіло розглядається як багаторівнева система, в якій пластична течія відбувається в результаті втрати зсувної стійкості матеріалу в полях градієнтів напружень на різних структурних рівнях. В дефектній структурі, що виникає при деформації, виділяють наступні ієрархічні рівні [2]:

1. Механічний рівень, який відповідає пружній поведінці матеріалу, оскільки в системі відсутні структурні зміни.

2. Рівень дефектів структури трансляційного типу, при якому стан системи поряд з механічним визначається також і структурними параметрами, що залежать від густини і потоків дислокацій.

3. Рівень утворення дефектів ротаційного типу, при якому суцільність матеріалу не порушується.

4. Рівень появи локальної пошкоджуваності (мікропор, мікротріщин).

5. Рівень глобального порушення суцільності, за якого в системі формуються магістральні тріщини, а в зразках або виробах втрачають фізичний зміст механічні параметри (σ , ϵ).

Для крихких матеріалів реалізуються 1-й, 4-й та 5-й ієрархічні рівні, а для пластичних – під час деформації і руйнування відбувається реалізація всіх ієрархічних рівнів структурних змін.

Структура ферито-перлітних сталей суттєво впливає на їх поведінку в умовах дії зовнішніх навантажень. Тому актуальними залишаються дослідження особливостей будови конструкційних матеріалів, які визначають кінетику їх деградації і контактну довговічність виробів. В зв'язку із цим питання підвищення зносостійкості ферито-перлітних сталей шляхом оптимізації мікроструктури є актуальними, але вимагають розробки науково обґрунтованих рекомендацій з пошуку ознак формування мікроструктури для отримання оптимального структурного стану поверхні тертя.

У зв'язку з цим, в роботі досліджуються особливості структури ферито-перлітних сталей на різних масштабних рівнях та їх зв'язок із структурно-залежними характеристиками зношування конструкційної сталі.

Матеріал і методика досліджень

Конструкційні низьковуглецеві сталі з вмістом вуглецю до 0.25 % широко використовують для виготовлення деталей рухомого складу залізниць, які працюють в умовах контактної взаємодії і зношування. Це, зокрема, візки вагонів, деталей буксових вузлів і фрикційних гасників коливальних. Під час експлуатації відбувається зношування контактних поверхонь. При відхиленні геометричних параметрів поверхонь за граничні значення проводять їх відновлення наплавленням. Під час наплавлення можливе утворення структур перегріву і, зокрема, відманштеттової.

Така структура відрізняється від інших структур ферито-перлітних сталей геометрично впорядкованим розташуванням елементів структури у вигляді пластин або голок усередині складових сплаву кристалічних зерен. Її утворення пов'язане із виділенням надлишкового фериту вздовж октаедричних пластин кристалів аустеніту при прискореному охолодженні сталі.

Ферито-перлітні сталі складаються із твердої (перліт) і м'якої (ферит) структурних складових. Особливістю роботи таких матеріалів у вузлах тертя є те, що плями контакту спираються на тверді складові, а м'яка складова слу-

гує для формування оптимальної з точки зору зношування структури поверхневого шару. Слід відмітити, що розмір плям контакту в парах тертя «сталь–сталь» в більшості випадків є співрозмірним із розмірами фаз і структурних складових. В той же час, вплив морфології структурних складових на процеси зношування є до кінця не вивченим.

В роботі досліджували доєвтектоїдні вуглецеві сталі, хімічний склад яких визначений аналітичним методом (ГОСТ 22536-87), що наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад досліджуваних сталей

№ зразка	Вміст елементів, %					Нормалізація від температури
	C	Si	Mn	S	P	
1	0,25	0,05	0,41	0,045	0,04	900 °C
2	0,22	0,06	0,40	0,045	0,04	1000 °C
3	0,25	0,16	0,55	0,046	0,04	1200 °C

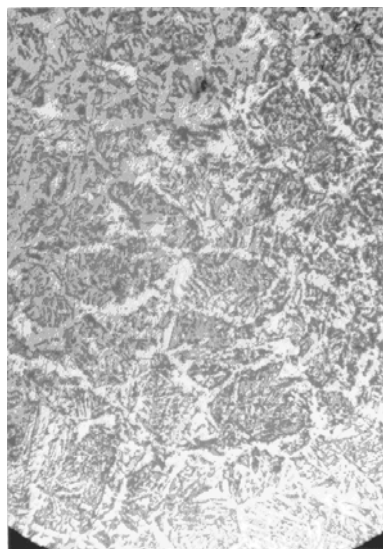
Заготовки після гарячого об'ємного штампування проходили нормалізацію від температур 900...1000 °C (зразки № 1, № 2). Для отримання відманштеттової структури частину заготовок перегрівали до температури 1200 °C і проводили прискорене охолодження (зразок № 3).

Проводили вимірювання твердості за методом Бринеля на приладі ТШ-2М, мікротвердості приладом ПМТ-3, а також випробування на розтяг на розривній машині УМ-5, структуру шліфів досліджували за допомогою мікроскопа ММР-2Р, інтенсивність зношування оцінювали за методом диск-колодка на машині 2070 СМТ-1.

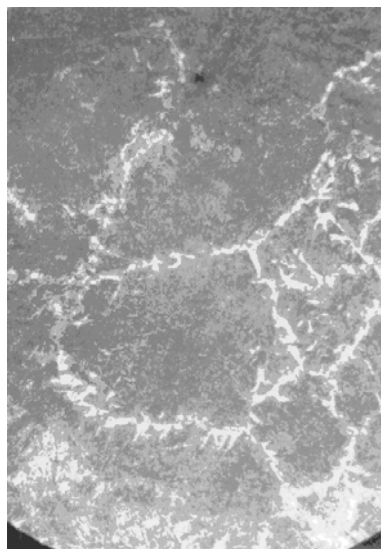
Результати досліджень та їх обговорення

Мікроструктура шліфів після травлення представлена на рис. 1. В зразках після нормалізації від температури 900 °C виявляється ферито-перлітна структура, причому ділянки фериту утворюють суцільні смужки по границях перлітних колоній (рис. 1, а). Розмір ділянок перліту, навколо яких знаходяться феритні смужки складають 70...80 мкм. Аналіз мікроструктур сталі методом січних [3] показав, що співвідношення між кількістю фериту і перліту залежить від режимів термічної обробки (табл. 2).

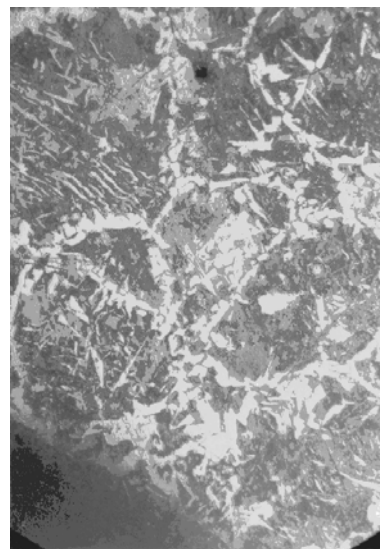
При нормалізації підвищення температури нагріву приводить до збільшення кількості перліту. В сталі, що нагрівалась до температури 1200 °C, виявляється відманштеттова структура (рис. 1, в). Розмір бувших аустенітних зерен складає 120... 150 мкм.



a



б



в

Рис. 1. Мікроструктура досліджених зразків:
a – 1, *б* – 2, *в* – 3 ($\times 124$)

Таблиця 2

**Кількість фериту і перліту
в структурі досліджуваних сталей**

№ зразка	Ферит, %	Перліт, %
1	63	37
2	60	40
3	46	54

Аналіз механічних властивостей показав, що при зменшенні кількості перліту зменшуються міцність і твердість сталі (табл. 3). У разі збільшення кількості перліту міцність зростає при збереженні достатньої пластичності. При наявності відманштеттової структури (рис. 2, *в*) зростає міцність, але пластичність є низькою і не відповідає вимогам стандартів на механічні властивості дослідженої сталі (ГОСТ 380-84).

Таблиця 3

Механічні властивості дослідженої сталі

№ зразка	σ_B , Н/мм ²	δ , %	Ψ , %	НВ
1	490	27	62	142
2	400	28	66	126
3	600	14	51	150

При вимірюваннях мікротвердості для визначення оптимального навантаження оцінювали залежність мікротвердості від величини дії навантаження P . За цими даними підібрали робоче навантаження, коли криві $H_T(P)$ виходять на горизонта-

льну ділянку, тобто мікротвердість майже не залежить від навантаження.

Відомо, що в багатьох матеріалах можливий ефект повзучості під індентором, тобто закономірне збільшення глибини і, відповідно, діагоналей відбитка зі збільшенням часу статичної дії. Тому при вимірюваннях час статичної дії вибирали таким, щоб розмір відбитка не змінювався.

Таблиця 4

Мікротвердість досліджених зразків

№ зразка	Мікротвердість складових НВ, ГПа		$\frac{H_{B_{пер}}}{H_{B_{фер}}}$
	фериту	перліту	
1	2,02	3,14	1,55
2	1,19	1,29	1,08
3	2,02	2,83	1,40

Результати вимірювання мікротвердості структурних складових при навантаженні 1,0 Н та витримці 30 с надані в табл. 4.

Як видно, співвідношення між мікротвердістю фериту і перліту залежить від умов термічної обробки. При підвищенні температури нагріву під час нормалізації воно зменшується, а при утворенні відманштеттової структури – зростає.

Результати випробовувань на зношування при навантаженні 3,41 Н/мм² представлені на рис. 3.

Дослідження показали, що найбільша інтенсивність зношування є характерною для зразків, що нагрівались при нормалізації до 1000 °С, які мають низьку твердість і високу пластичність. Така зміна інтенсивності зношування пов'язана із впливом структури.

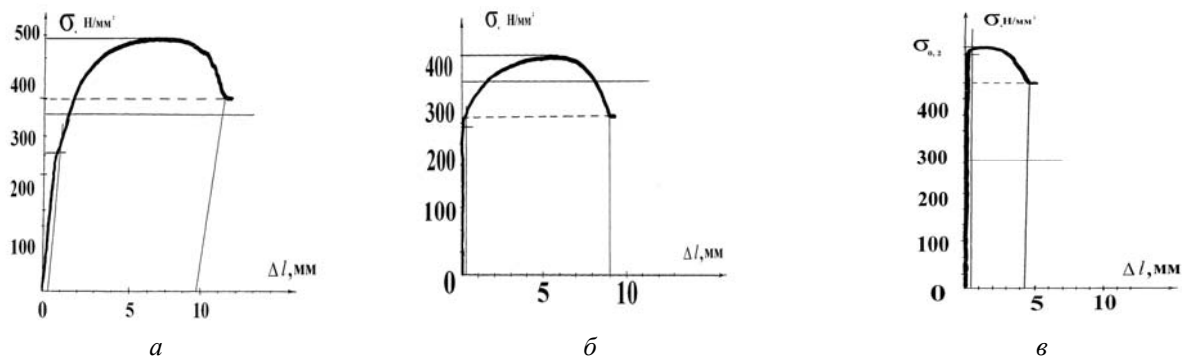


Рис. 2. Криві розтягу зразків (1, 2, 3 табл. 3):
а – зразок № 1, б – зразок № 2, в – зразок № 3

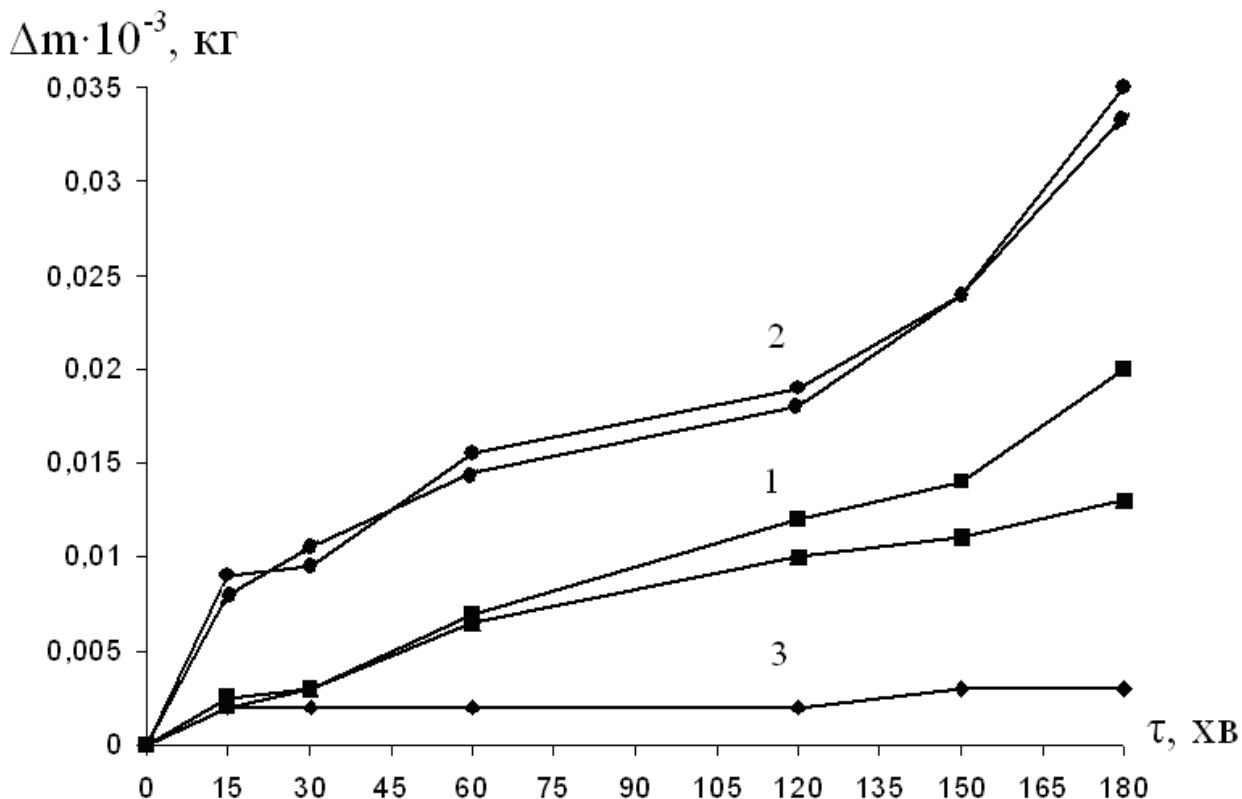


Рис. 3. Результати випробовування на зношування досліджених зразків: (1, 2, 3 табл. 3).

Аналіз результатів механічних випробовувань на розтяг та їх порівняння зі зносостійкістю показали, що при зменшенні пластичності сталі зносостійкість зростає (табл. 3, рис. 3). Слід відмітити, що отримані закономірності підтверджують результати інших авторів [4].

Значну роль у процесах руйнування при зношуванні відіграють параметри мікроструктури сталі. Зокрема, вища зносостійкість характерна для зразків, в яких кількість перліту зростає до 54 %, а менша зносостійкість для зразків, в яких кількість перліту 37 % (табл. 2). За однакової кількості перліту вирішальне значення має співвідношення мікротвердості між феритом і перлітом. В зразках, що мають таке співвідношення вище, інтенсивність зношування є меншою.

Оскільки твердість перліту є вищою за твердість фериту, то структуру двохфазних доєвтектоїдних сталей слід розглядати як м'яку матрицю фериту, в якій розміщені тверді часточки перліту. Розмір плям контакту в парі тертя «сталь–сталь» знаходиться в межах від 6 до 30 мкм, а віддаль між ними – 80...120 мкм [5 – 7]. Тобто розмір плям контакту є менший за розмір ділянок перліту дослідженої сталі.

По закінченні процесу припрацювання в поверхневому шарі товщиною до 10 мкм формується орієнтована фрагментована структура. Процес нормального тертя і зношування без пошкоджень (задирів, схоплювання) визначається збереженням або утворенням стабільної структури в межах плям контакту, яка здатна

квазіпружно сприймати навантаження. Стабільність структури в межах плям контакту, обумовлена її міцністю, а також рівновагою підведення і відведення дефектів в границі фрагментів, розмір яких складає для сталі 0.9...1.2 мкм. Процеси зношування в даних умовах випробовувань пов'язані із здатністю перлітних ділянок, розмір яких перевищує розмір плям контакту чинити опір пружним, пластичним деформаціям та руйнуванню. Це підтверджують і результати дослідження мікроструктури після вимірювання твердості сталей.

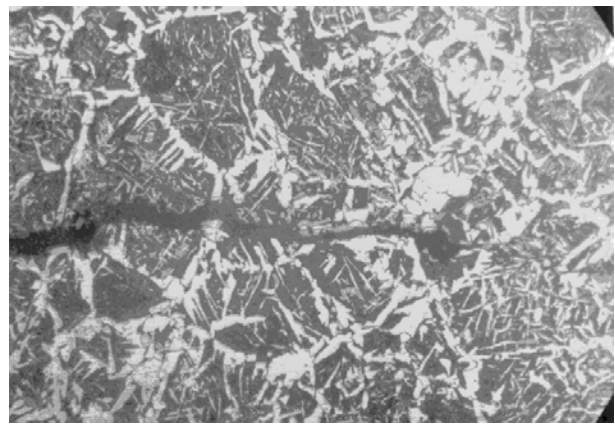
При натисненні на поверхню зразків кулькою діаметром 5 мм із зусиллям 750 кгс, біля границі відбитку формується зона пластичної деформації, в якій ділянки фериту розміщуються паралельно границі відбитку. Слід відмітити, що на поверхні зразків, які пройшли нормаліза-

цію при 900 та 1000 °С, утворення тріщин в зоні пластичної деформації навколо відбитку кульки не виявлено.

В сталі із відманштеттовою структурою в зоні пластичної деформації утворюються мікротріщини, які розміщуються як паралельно до границі відбитка, так і під кутом до неї (рис. 4). Причому тріщини в зразках утворюються на феритних стиках зерен, а їх поширення відбувається на границях розділу ферит-перлітних ділянок. Вплив структури на поведінку ферито-перлітної сталі в умовах контактного навантаження залежить від співвідношення розмірів області контакту та структурних складових. Структурними одиницями, які відповідають за руйнування, в умовах, коли область контакту є суттєво більшою за величину ділянок фериту і перліту, є їх границі розділу.



а



б

Рис. 4. Утворення (а) та поширення (б) тріщин у зоні пластичної деформації біля відбитку кульки у сталі з відманштеттовою структурою ($\times 124$)

При терті, коли розмір плям контакту менший від розміру ділянок перліту, інтенсивність зношування визначається опором деформації і руйнуванню саме цих ділянок [8, 9].

Сталь з відманштеттовою структурою має більш низьку пластичність, але вищу зносостійкість, ніж сталь з неорієнтованим розміщенням фериту, що вказує на суттєву різницю у кінетиці деградації матеріалів, яка відбувається на різних структурних рівнях в умовах розтягу, контактної стики і тертя.

Висновки

Поведінка сталі з ферито-перлітною структурою при дії контактних навантажень визначається процесами деформації та деградації, які відбуваються на різних масштабних рівнях.

В умовах сухого тертя ковзання ферито-перлітна сталь із найбільшою пластичністю характеризуєть-

ся високою інтенсивністю зношування. В сталі з відманштеттовою структурою, яка має низьку пластичність, зносостійкість є вищою. Формування відманштеттової структури в умовах технологічних обробок при відновлювальних ремонтах деталей має негативний вплив на працездатність за значних статичних або динамічних навантажень, але позитивно впливає на їх зносостійкість.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Дефекти залізничних коліс [Текст] : монографія / І. О. Вакуленко [та ін.]. – Д.: Вид-во Маковецький, 2009. – 112 с.
2. Панин, В. Е. Физическая мезомеханика: достижения за два десятилетия развитие, проблемы и перспективы [Текст] / В. Е. Панин, Ю. В. Гриняев, С. Г. Псахье // Физическая мезомеханика. – 7. Спец. выпуск. – Ч. 1. – 2004. – С. 1-25 – 1-40.
3. Салтыков, С. А. Стереометрическая металлография [Текст] / С. А. Салтыков. – М.: Металлургия, 1976. – 273 с.

4. Яблокова, Н. В. Разработка метода оценки износоустойчивости сталей по механическим свойствам применительно к абразивному изнашиванию [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. В. Яблокова. – М., 1984. – 21 с.
5. Рапопорт, Л. С. Влияние структурного состояния поверхностных слоев на процессы трения и изнашивания [Текст] / Л. С. Рапопорт, Л. М. Рыбакова // Трение и износ. – 1987. – Т. 8, № 6. – С. 1038-1043.
6. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ [Текст] / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
7. Кузін, М. О. Вплив мікроструктури на стійкість проти спрацювання нероз'ємних з'єднань рейок після термітного зварювання [Текст] / М. О. Кузін, О. А. Кузін, Т. М. Мещерякова // Укр. акад. друкарства. Наукові записки. Наук.-техн. зб. – 2006. – № 2 (10). – С. 85-97.
8. Кузін, М. Імітаційні моделі структури для розрахунку параметрів ферито-перлітних сталей з підвищеною зносостійкістю [Текст] / М. Кузін // Укр. академія друкарства. Наукові записки. Наук.-техн. зб. – 2007. – № 1 (11). – С. 15-22.

Надійшла до редакції: 21.09.2010.

Прийнята до друку 30.09.2010.

А. В. РАДКЕВИЧ, С. О. ЯКОВЛЄВ, І. Є. КРАМАР, О. І. ШАПТАЛА,
М. В. БОРЕНКО (ДІПТ)

УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ І РЕМОНТОМ ТЕХНІКИ

Розглянуто шляхи налагодження диспетчерської служби в процесі управління експлуатацією і ремонтом техніки, що дозволяє значно полегшити управління рухомими ремонтними засобами та підвищити ефективність їх використання.

Ключові слова: рухомі ремонтні засоби, ефективність, диспетчерська служба, управління експлуатацією і ремонтом техніки, АСУ, збірний пункт пошкоджених машин (ЗППМ), майстерня

Рассмотрены пути налаживания диспетчерской службы в процессе управления эксплуатацией и ремонтом техники, что позволит значительно облегчить управление подвижными ремонтными средствами и повысить эффективность их использования. **Ключевые слова:** подвижные ремонтные средства, диспетчерская служба, эффективность, управления эксплуатацией и ремонтом техники, АСУ, сборный пункт поврежденных машин (СППМ), мастерская

The ways of establishing traffic control in the management of maintenance and repair of equipment, which will greatly facilitate the management of mobile repair facilities and improve the efficiency of their use, are considered.

Keywords: mobile repair facilities, traffic control, efficiency, management of maintenance and repair of equipment, automated control system, collection point of damaged cars, workshop

Управління експлуатацією і ремонтом техніки є елементом системи управління національної економіки і підкоряється загальним законам, діє на основі загальних цілей і завдань.

Управління — це дія на керовану систему так, щоб вона переходила з одного стану в інший. Процес управління є системою цілеспрямованих дій, основними з яких є визначення мети і завдань, що стоять перед керованою системою, планування заходів щодо досягнення мети і контроль за їх проведенням.



Рис. 1. Процес управління

Управління є замкнутим процесом (рис. 1), що включає збір, узагальнення і аналіз інформації, ухвалення на цій основі рішення, розробку планових документів, доведення планів і

завдань до виконавців, контроль за їх проведенням в житті. Після цього слідує збір і аналіз інформації про ефективність прийнятих мір, коректування рішення і так далі. Збір і аналіз інформації передбачають представлення звітів і зведень у вищестоящі штаби, на основі яких готуються дані для ухвалення рішення командиром.

Рішення складає основу управління. Воно приймається виходячи з аналізу обстановки з урахуванням існуючих поглядів, досвіду командира і прогнозування ним можливих результатів ухваленого рішення.

Планування ведеться на основі ухваленого рішення і включає визначення проміжних і кінцевих цілей і розробку заходів для реалізації цих цілей.

Планування може мати дві форми: календарне і оперативне. Календарне планування полягає в розробці місячних, квартальних і річних планів, а оперативне — в розробці документів, що дозволяють конкретизувати завдання планів.

Наприклад, на основі місячного плану-графіка експлуатації і ремонту, календарного планування, що є документом, розробляється план-графік роботи рухомих майстерень, що є документом оперативного планування.

Оперативне управління забезпечує роботу системи відповідно до наміченого плану і передбачає постійний контроль і коректування діяльності служб відповідно до обставин, що

змінюються, для досягнення кінцевої мети.

Оперативне управління здійснюється у формі наказів і вказівок, оперативних нарад, а також диспетчеризації.

Управління експлуатацією і ремонтом техніки повинне забезпечувати реалізацію основної мети – оптимального функціонування парку техніки і забезпечення його постійної готовності.

Одним із завдань управління є широке впровадження досягнень науково-технічного прогресу в сферу експлуатації і ремонту машин. Це повинно забезпечити підвищення продуктивності праці і зниження витрат ручної праці, збільшення вироблення машин.

Підвищення продуктивності машин може бути досягнуте в результаті:

- підвищення коефіцієнта змінності і поліпшення використання техніки;
- скорочення внутрішньозмінних простоїв;
- зменшення тривалості знаходження машин в обслуговуванні і ремонті;
- поліпшення технічного оснащення системи обслуговування і ремонту техніки;
- підвищення якості обслуговування і ремонту машин і коефіцієнта технічної готовності парку;
- підвищення кваліфікації машиністів, водіїв і ремонтників;
- організації змагання машиністів і ремонтників.

Реалізація цих завдань може бути досягнута тільки злагодженою роботою всіх ланок управління системою обслуговування і ремонту техніки.

Можливості ланок управління можуть бути реалізовані по-різному. Наприклад, в ремонтному виробництві, представляє собою ланцюжок «ресурси – процес ремонту – продукція», забезпечення якості кінцевої продукції – відремонтованих машин може бути досягнуто в результаті як управління ресурсами (ремонтним фондом, устаткуванням і т.ін.), так і управління ремонтним виробництвом. Підвищення вимогливості при прийманні машини в ремонт дозволить виключити випадки підміни агрегатів, що здаються утилем, підвищити якість ремонтного фонду, а звідси – і якість відремонтованих машин. Правильна розстановка ремонтників, концентрація зусиль на головному завданні, своєчасне забезпечення запасними частинами, впровадження передової технології відновлення деталей дозволяють скоротити час знаходження машини в ремонті і підвищити якість ремонту.

Одним із актуальних завдань на сучасному

етапі є створення автоматизованих систем управління (АСУ). Вони дозволяють значно швидше отримувати і обробляти інформацію про роботу машин і технічний стан машинного парку, більш оперативно ухвалювати обґрунтовані рішення. Такі автоматизовані системи існують в багатьох будівельних організаціях. АСУ іншого типу дозволяють ухвалювати оптимальні рішення по плануванню роботи техніки і ремонтних засобів, розподілу завантаження майстерень і тому подібне. Матеріальною основою АСУ є ЕОМ і засоби зв'язку, що забезпечують передачу інформації в обчислювальні центри.

Для забезпечення роботи автоматизованих систем управління розробляються алгоритми і програми, що дозволяють проводити операції розрахункового характеру, наприклад, визначення середньої продуктивності машин, оцінку їх використання за часом і т.п., а також вирішувати завдання оптимізаційного характеру, такі як розподіл автотранспорту по видах перевезень, ремонтного фонду між ремонтними підприємствами та ін.

Управління рухомими ремонтними засобами.

При виконанні будівельних або відновних робіт окрім планових обслуговувань і ремонтів доводиться виконувати і непланові ремонти, що зумовлюються відмовами техніки. Об'єм цих непланових ремонтів може бути достатньо великим – до 25 % об'єму планового завантаження ремонтних засобів організації. При виконанні технічних обслуговувань централізованим методом частина ремонтних коштів виділяється для цієї мети і діє по заздалегідь розробленому графіку. Забезпечення вирішення завдань по ТО, плановому і неплановому ремонтам техніки і складає предмет управління рухомими ремонтними засобами.

В цілому управління зводиться до вибору місць розміщення ремонтних засобів, визначення послідовності обслуговування техніки і маршрутів руху рухомих майстерень, організації постачання майстерень запасними частинами, ремонтними і експлуатаційними матеріалами, оперативному управлінню рухомими майстернями, засобами евакуації і заправки техніки.

Для забезпечення ефективності дій рухомих ремонтних засобів управління ними повинно бути оперативним і гнучким, тобто рішення повинні ухвалюватися оперативно, з швидким реагуванням на зміну обстановки, а також безперервним і стійким, таким, що забезпечує постійний контроль за діями рухомих ремонтних засобів і надійний зв'язок з ними.

Критеріями для вибору управляючих рішень можуть бути максимізація числа відновлених і обслуговуваних машин, час використання майстерень за призначенням, середній час відновлення (обслуговування) техніки. Вибір критерію залежить від конкретної обстановки і виду дій організації.

Варіантів використання майстерень може бути багато, але, в принципі, вони можуть бути зведені до трьох варіантів (рис. 2).

Варіант 1-й. Майстерні стаціонарні або розгорнені на одному місці (у точці 0). В цьому випадку техніка переміщується до майстерень і після ремонту повертається на той же (А) або інший (В) об'єкт (рис. 2, а). При відмові в ремонті із-за перевищення об'єму або складності ремонту технологічних можливостей майстерень або часу знаходження майстерень на одному місці, перевантаження майстерень і з інших

причин машина передається для ремонту на ремонтні підприємства або збірні пункти пошкоджених машин (ЗППМ) старшого начальника (рис. 2, б). Така схема характерна для роботи майстерень ПРМА-2М, ПАРМ-1М і аналогічних їм. В даному випадку час використання майстерень буде максимальним, але простої машин в ремонті T_p включатимуть час на транспортування в ремонт $t_{твр}$ і з ремонту $t_{тзр}$, час очікування транспортних засобів $t_{отз}$, час очікування ремонту в майстерень $t_{орм}$ і власне час ремонту машини $t_{чрм}$:

$$T_p = t_{отз} + t_{твр} + t_{орм} + t_{чрм} + t_{тзр} \quad (1)$$

Для скорочення часу відновлення машин майстерні повинні бути максимально наближені до основних місць скупчення техніки і володіти достатньою кількістю евакуаційних засобів.

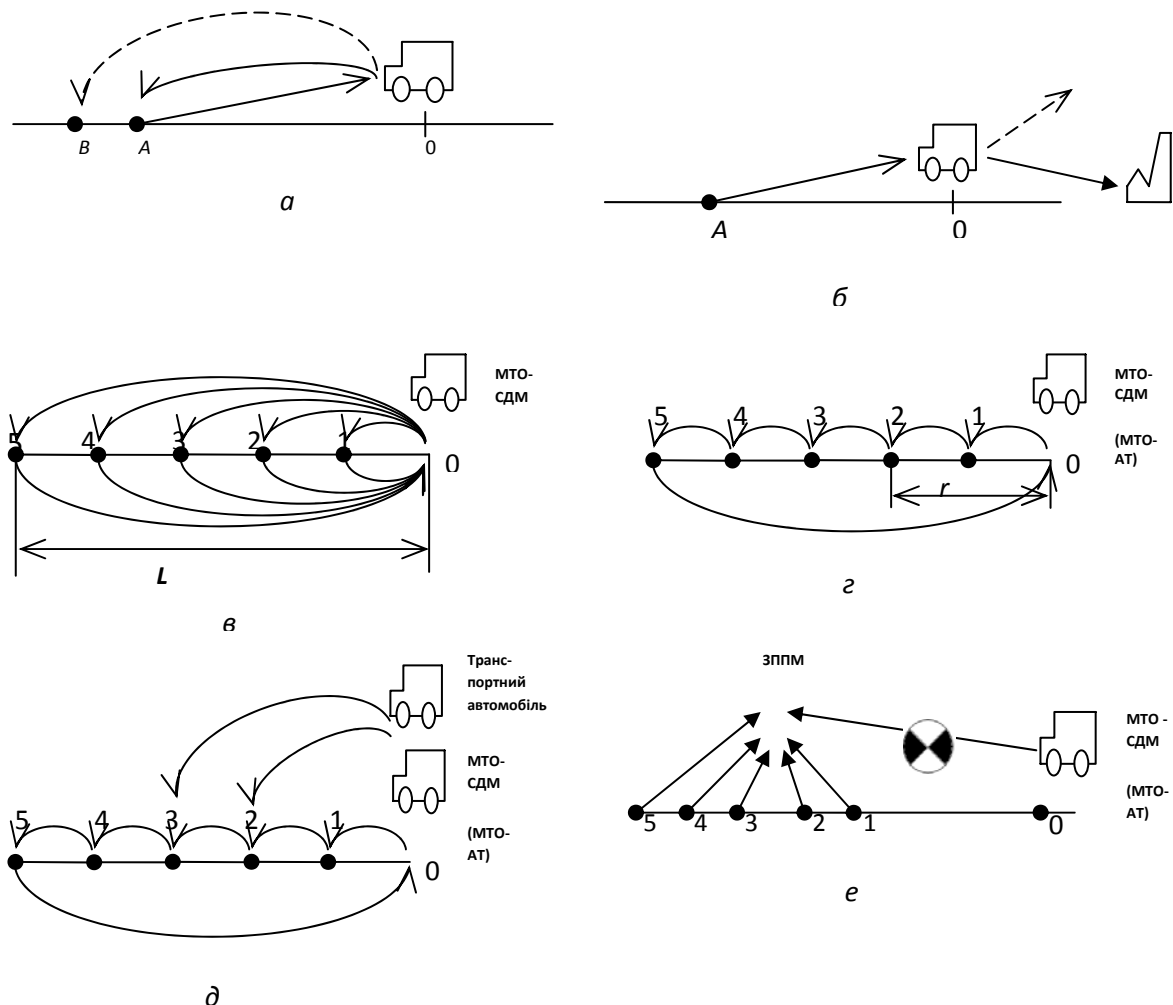


Рис. 2. Варіанти використання ремонтних майстерень:

а – переміщення машин з поверненням їх в початкову або іншу точку; б – переміщення машин з передачею їх на ЗППМ або ремонтному підприємству; в – переміщення майстерні з поверненням її в початкову точку; г – переміщення майстерні з послідовним обслуговуванням машин; д – переміщення майстерні з доставкою агрегатів, запасних частин і експлуатаційних матеріалів до місця її роботи транспортним засобом; е – переміщення машин і майстерні в одну точку (на ЗППМ); 1–5 – ремонтвані машини

Варіант 2-й. Техніка відновлюється (обслуговується) на місці робіт рухомими майстернями типу МТО-СДМ, МТО-АТ, ПММ-3 й ін. В цьому випадку майстерні базуються на один з польових парків організації і виїжджають для виконання обслуговування і ремонту па об'єкт робіт або до кожної з машин з поверненням у початкову точку 0 (рис. 2, в), або з послідовним об'їздом групи машин (рис. 2, з). У останньому випадку майстерня повинна мати з собою достатньо великий запас агрегатів, запасних частин і експлуатаційних матеріалів. Для скорочення запасу, що возиться, можливе його поповнення за допомогою спеціальних виділених транспортних автомобілів (рис. 2, д). Така схема часто застосовувалася на БАМі, коли рухомі майстерні ремонтних організацій працювали у відриві від бази на 150...200 км.

Для порівняння перших двох варіантів визначимо середню відстань переміщення майстерні \bar{r} для виконання однієї заявки на ремонт. Оскільки при будівництві або відновленні залізниць польові парки організацій розташовуються, як правило, поряд з трасою залізниці, а машини – безпосередньо по трасі або поблизу неї, то для простоти розрахунків можна прийняти відстані рівними їх проекції на вісь траси.

Для 1-го варіанту:

$$\bar{r} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n r_i, \quad (2)$$

де n — число машин, що вимагають ремонту;

r_i — відстань від точки 0 до місця знаходження i -ої машини.

Для 2-го варіанту:

$$\bar{r} = L \cdot (1 + 1/n)/3, \quad (3)$$

де L — довжина ділянки.

Для прикладу припустимо, що машини в точках 1...5 розташовані на ділянці L завдовжки 100 км на рівних відстанях одна від одної.

Тоді за 1-м варіантом $\bar{r} = 2/5 \cdot (20 + 40 + 60 + 80 + 100) \text{ км} = 120 \text{ км}$.

За 2-м варіантом $\bar{r} = 100/3 \cdot (1 + 1/5) \text{ км} = 40 \text{ км}$.

Це підтверджує перевагу варіанту роботи майстерні без повернення в початкову точку. На практиці з поверненням в парк майстерні працюють тільки при невеликих відстанях між машинами і місцем базування, а також при їх спеціалізації на виконанні непланових ремонтів певного вигляду. У тому випадку, коли відстань до машин від місця базування складають 50...100 км і більше, доцільно вести послідовне

обслуговування або ремонт машин без повернення до місця базування.

Варіант 3-й. Переміщення майстерень і техніки в одну точку (рис. 2, е). В цьому випадку пошкоджена техніка збирається і сортується на ЗППМ, а основний об'єм її ремонту виконується майстровими, такими, що прибувають у міру закінчення ремонту в попередній крапці.

Місце розгортання ЗППМ і майстерень вибирається з урахуванням розміщення техніки на ділянці відновлення або будівництва залізниці можливо ближче до «центру тяжіння» розміщення техніки, що працює на ділянці. Відстань L від початку ділянки до місця розгортання ЗППМ приблизно визначається за формулою:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^a n_i l_i}{\sum_{i=1}^a n_i}, \quad (4)$$

де n_i — кількість техніки в i -му масиві;

l_i — відстань від початку ділянки відновлення до i -го масиву;

a — кількість груп техніки (комплексів);

i — номер масиву (об'єкту).

Майданчик для розгортання ЗППМ вибирається в радіусі декількох кілометрів від розрахованого масиву, переважно поблизу роз'їздів, віток, під'їзних шляхів і тому подібне з урахуванням вимог маскування, можливості розгортання майстерневих і технологічних майданчиків, наявності джерел води, віддаленості від можливих об'єктів ядерних ударів. Остаточний вибір майданчика проводиться після рекогносцировки місцевості.

При будівництві польові ремонтні бази для надання допомоги частинам розгортаються ремонтними частинами переважно в голові будівництва або на зосереджених об'єктах з урахуванням можливості роботи протягом 6...10 міс.

Майстерні структурних підрозділів організації (ПРМА-2М, ПАРМ-1М) розгортаються переважно в польових парках. Майстерні типу ПММ, ММА, МТО-СДМ, МТО-АТ або використовуються як рухомі засоби, або розгортаються для організації тимчасових пунктів технічного обслуговування і ремонту (ТПТО).

Для координації роботи рухомих майстерень і забезпечення їх запасними частинами, агрегатами і експлуатаційними матеріалами найбільш ефективним є застосування диспетчерської форми управління (диспетчеризація). Диспетчерська служба взагалі є оперативним

центром управління виробничою діяльністю, що виконує роботу по координації і коректуванню діяльності елементів керованої системи, а також контрольну, облікову, аналітичну і інформаційну функції.

У завдання диспетчерської служби входять:

- доведення до виконавців планів і завдань і контроль їх виконання;
- збір і узагальнення інформації про роботу машин, складання оперативних зведень;
- прийом заявок на виконання непланових ремонтів, перевезення і заправку техніки;
- регулювання роботи рухомих ремонтних засобів, засобів заправки і транспортування техніки;
- надання оперативної допомоги ремонтним засобам в доставці запасних частин, агрегатів, експлуатаційних і ремонтних матеріалів;
- інформація частин і підрозділів про зміни, що відбуваються, в обстановці.

Організаційно диспетчерська служба може складатися з диспетчерів на об'єктах, диспетчерів в управлінні організацій і головного диспетчера при відділі головного інженера.

Зв'язок організовується по радіально-промєнєвій схемі, коли об'єкти диспетчерського контролю мають зв'язок тільки з вищестоящою ланкою диспетчерської служби. Засобами зв'язку можуть служити телетайп, телефон і радіо. Радіозв'язок застосовується для зв'язку з рухомими засобами і об'єктами.

Основним документом, який веде диспетчер, є журнал диспетчера, куди заносяться всі відомості, що надходять на диспетчерський пункт управління, і прийняті по них рішення. Крім того, може вестися журнал виходу рухомих ремонтних майстерень, паливозаправників, трейлерів та інших засобів доставки агрегатів.

На диспетчерському пункті повинні бути графіки проведення ТО і планових ремонтів, схеми маршрутів, карти району робіт, зокрема магнітні карти, засоби оргтехніки.

Таким чином, добре налагоджена диспетчерська служба дозволяє значно полегшити управління рухомими ремонтними засобами і підвищити ефективність їх використання. Так, при використанні диспетчеризації час корисної роботи майстерень збільшується в 1,4...1,6 разу, а середній час відновлення техніки зменшується в 1,3...1,4 разу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Полянський, С. К. Будівельно-дорожні та вантажопідіймальні машини [Текст] / С. К. Полянський. – К.: Техніка, 2001. – 624 с.
2. Кисликов, В. Ф. Будова і експлуатація автомобілів [Текст] : підручник / В. Ф. Кисликов, В. В. Лушик. – К.: Либідь, 2002. – 400 с.
3. Воробйов, Л. М. Технологія машинобудування і ремонту машин [Текст] / Л. М. Воробйов. – М., 1981.
4. Гологорський, Є. Г. Механізація і автоматизація виробничих процесів при ремонті будівельних машин [Текст] / Є. Г. Гологорський. – М., 1981.
5. Технологія дорожнього та будівельного машинобудівництва [Текст] / С. Г. Готсдинер [и др.]. – М., 1980.
6. Ачкасов, К. А. Ремонт пристроїв системи живлення і гідравлічної системи тракторів, автомобілів і комбайнів [Текст] / К. А. Ачкасов, В. П. Вегера. – М., 1981.
7. Лауш, П. В. Техническое обслуживание и ремонт машин [Текст] / П. В. Лауш. – К.: Выш. шк., 1989. – 350 с.
8. Альбом типового обладнання парків [Текст]. – М., 1981.

Надійшла до редколегії 11.01.2011.

Прийнята до друку 20.01.2011.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ЗА РАХУНОК МОДИФІКУВАННЯ

Вивчався вплив зростання присадок модифікатора на структуру та механічні властивості вторинного алюмінієвого сплаву АК6М2. Визначено величину оптимальної присадки розробленого модифікатора доевтектичних вторинних силумінів.

Ключові слова: вторинні алюмінієві сплави, модифікатор, структура, механічні властивості

Изучалось влияние возрастания присадок модификатора на структуру и механические свойства вторичного алюминиевого сплава АК6М2. Определена величина оптимальной присадки разработанного модификатора доэвтектических вторичных силуминов.

Ключевые слова: вторичные алюминиевые сплавы, модификатор, структура, механические свойства

The influence of increasing the modifier additions on the structure and mechanical properties of the secondary aluminum alloy АК6М2 was researched. The optimal addition of modifier developed was determined.

Keywords: secondary aluminum alloys, modifier, structure, mechanical properties

Постановка проблеми

Незважаючи на збільшення обсягів використання алюмінієвих сплавів, виготовлених з лому та відходів виробництва, до кінця не вирішено питання нейтралізації шкідливого впливу заліза, яке зустрічається в структурі сплавів у вигляді інтерметалідів типу FeAl_3 , Al_5SiFe , $\text{Al}_8\text{Si}_6\text{Mg}_3\text{Fe}$, $\text{Al}_{15}\text{Si}_2(\text{FeMn})_3$ тощо. Такі залізовмісні сполуки є великими за розмірами, мають грубокристалічну будову, несприятливу пластинчасту форму та слабкі когерентні зв'язки з матрицею. Також одним із головних завдань покращення властивостей вторинних алюмінієвих сплавів залишається подрібнення виділень евтектики, оскільки відливки з дрібнокристалічною будовою характеризуються вищим рівнем механічних властивостей. В процесах підвищення якості вторинних сплавів на основі алюмінію в сучасних умовах провідна роль належить модифікуванню.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Основними недоліками відомих модифікаторів алюмінієвих сплавів є токсичність, вірогідність перемодифікування, відсутність впливу на залізовмісні фази, висока вартість та складність технології, а також нестача універсальних модифікаторів.

Використання класичних компенсаторів негативного впливу залізовмісних інтерметалідів (Mn, Cr, Mo, Ni, Co) є економічно недоцільним та малоефективним при високому вмісті заліза [1–3]. З цієї позиції значний інтерес викликає

сірка, яка забезпечує зміну форми залізовмісних фаз на більш компактну та їх рівномірний розподіл в структурі, а також здійснює додаткову дегазацію сплаву.

Одним з перспективних напрямків підвищення механічних властивостей вторинних силумінів є використання порошкових добавок тугоплавких частинок – карбідів, оксидів, нітридів тощо, які дозволяють підвищити ефективність традиційної рафінувально-модифікувальної обробки [4, 5].

Розроблений нами комплексний модифікатор доевтектичних вторинних силумінів (10...20 % Na_2CO_3 , 15...20 % SrCO_3 , 12...20 % SiC, 3...8 % Ti, 0,5...2 % C, решта S), склад якого захищено патентом України, усуває переважну більшість недоліків використання модифікування, проте залишається невирішеним питання оптимальної присадки даного модифікатора, визначення якої і було покладено за мету даної роботи.

Викладення основного матеріалу

Дослідження проводили на вторинному силуміні АК6М2, який використовується для виготовлення середньонавантажених деталей різного призначення, в тому числі в автомобілебудуванні. Плавлення сплаву здійснювали в електричній печі опору під шаром покривного флюсу складу 15 % KCl, 45 % NaCl, 40 % AlF_3 . Флюс вводили у кількості 2% від маси розплаву. Модифікатор вищенаведеного складу вводили в сплав при температурі 720 ± 10 °C за

допомогою ливарного дзвоника. Кількість модифікатора варіювалась від 0 % до 0,2 % із шагом 0,05 %. Метал після модифікування витримували в печі при температурі 720 ± 10 °С протягом 5 хв, після чого його розливали в кокіль. Проводили термічну обробку за режимом Т5: гартування (525 ± 5 °С, 4 год) із охолодженням у воді (20 °С) та старіння (175 ± 5 °С, 8 год).

Аналіз структури та механічних властивостей отриманих зразків показав, що найбільш сприятлива структура та кращий комплекс механічних властивостей характерний для зразків, які було оброблено модифікатором у кількості 0,1 % від маси сплаву. Для немодифікованої структури (рис. 2, а) властива значна неоднорідність, грубодиференційована пластинчаста евтектика та голкоподібні виділення β -фази (Al_5SiFe) великих розмірів. При модифікуванні сплаву 0,1 % (мас.) розробленого модифікувального комплексу структура набула дрібнодисперсності та тонкої диференціації (рис. 2, б). Частинки евтектичного кремнію зменшились за розмірами, набули компактної плоскогранної та кістякової форми. Виділення залізовмісних фаз рівномірно розташовувались по перетину шліфа, зустрічались у вигляді кристалів β -фази, що наближались до рівноважних. Подальше збільшення кількості модифікатора позначилось на огрубінні структури та збільшенні розмірів виділень евтектики (рис. 2, в). Залізовмісні фази зустрічались у вигляді пластин, які досягали значних розмірів та зосереджувались на певних ділянках шліфа.

Максимальне значення як границі міцності, так і відносного подовження відповідало присадці модифікатора у кількості 0,1 % (табл. 1). Після флюсового рафінування та модифікування 0,1 % (мас.) розробленого комплексу міцність зразків при випробуванні на розтяг зросла на 12 %, міцність при випробуванні на стиснення – на 10 %, відносне подовження – на 67 %, відносне осадження – на 3 % в порівнянні вихідним станом без подальшого модифікування.

Такі зміни механічних властивостей пов'язані в першу чергу зі зменшенням параметру форми найбільш несприятливої залізовмісної фази – Al_5SiFe (рис. 2). Під параметром форми розуміли відношення максимальної довжини фази до її ширини. При обробці після флюсового рафінування сплаву АК6М2 оптимальною присадкою модифікатора (0,1 %) значення параметру форми інтерметалідних фаз зменшилось на 70 %.

Підвищення дисперсності евтектичного

кремнію та залізовмісних фаз привело до зменшення довжини вільного пробігу дислокацій і, відповідно, збільшення характеристик міцності. При коагуляції β -фази та наближенні її до правильної форми зменшується дія концентраторів напружень в матеріалі, якими є вершини голчастих виділень.

Таблиця 1

Вплив модифікатора на механічні властивості сплаву АК6М2

Присадка модифікатора, % (мас.)	Випробування на розтяг		Випробування на стиснення	
	$\sigma_{\text{в}}^{\text{р}}$, МПа	δ , %	$\sigma_{\text{в}}^{\text{с}}$, МПа	ϵ , %
0	172,6	3,6	493,5	47,0
0,05	183,2	4,8	521,3	48,0
0,10	193,2	6,0	541,1	48,3
0,15	173,7	4,1	513,7	47,8
0,20	168,2	3,2	470,9	45,8

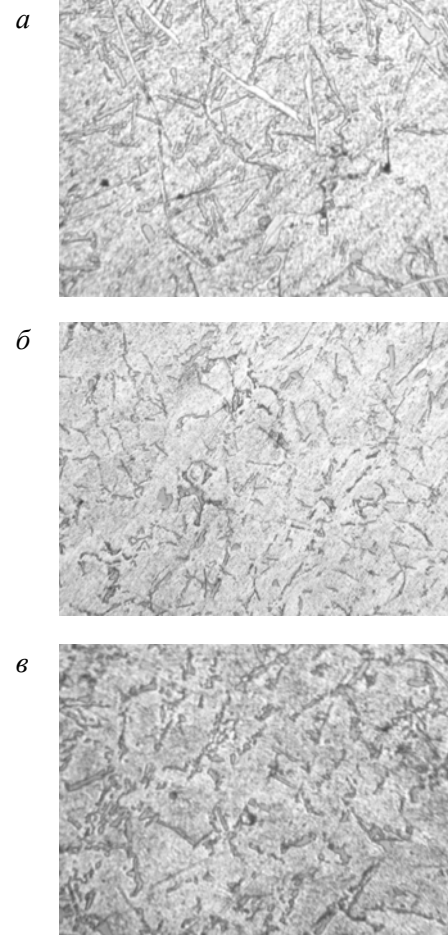


Рис. 2. Мікроструктура зразків зі сплаву АК6М2 після термічної обробки за режимом Т5 ($\times 500$): а – немодифікована структура, б – 0,1 % (мас.) модифікатора; в – 0,2% (мас.) модифікатора

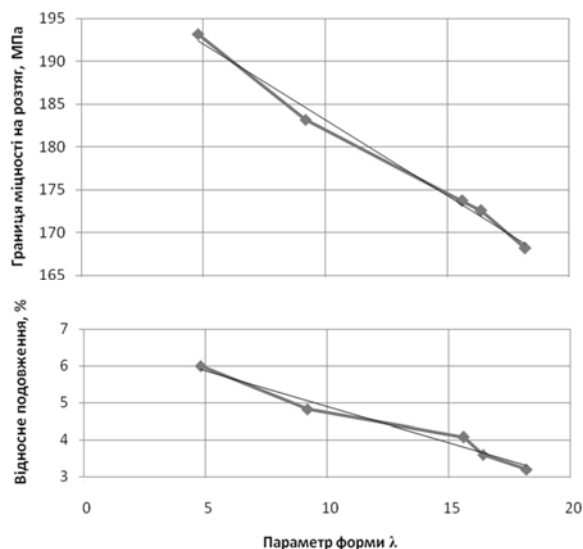


Рис. 2. Залежність показників міцності та пластичності вторинного сплаву АК6М2 від параметру форми λ інтерметалідних фаз

Висновки та перспективи подальших досліджень

Дослідження структури та механічних властивостей сплаву АК6М2 показали, що оптимальною присадкою розробленого модифікатора є кількість 0,1 % від маси розплаву. За такого рівня модифікування параметр форми залізовмісної фази Al_5SiFe зменшився на 70 %, границя міцності зросла на 10...12 %, а відносне подовження збільшилось на 67 %. Отримані результати свідчать про високу ефективність

запропонованого модифікатора при обробці ливарних алюмінієвих сплавів з підвищеним вмістом заліза та рекомендувати його застосування у промисловості.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Влияние серы на структуру и свойства алюминиевых сплавов [Текст] / Б. М. Немененок [и др.] // Литье и металлургия. – 2005. – № 4 (36). – С. 106-108.
2. Рязанов, С. Г. Влияние металлургических факторов на структуру и свойства силуминов [Текст] / С. Г. Рязанов, А. А. Митяев, И. П. Волчок // Литье и металлургия. – 2003. – № 1. – С. 101-105.
3. Рафинирование вторичных алюминиевых сплавов от примеси железа [Текст] / О. Н. Каленик [и др.] // Литье и металлургия. – 2002. – № 4. – С. 52-55.
4. Влияние порошковых добавок на структуру вторичных заэвтектичных силуминов [Текст] / А. А. Андрушевич [и др.]. – (Литейное материаловедение, специальные способы литья) // Металлургия и литейное производство. – 2007. – № 1. – С. 268-269.
5. Производство вторичного Al-Si-сплава для производства поршней [Текст] / А. А. Андрушевич [и др.] // Литейное производство. – 1999. – № 3. – С. 25-26.

Надійшла до редакції: 18.01.2011.
Прийнята до друку 25.01.2011.

Е. В. СУХОВАЯ, В. А. СЫРОВАТКО, Ю. В. СЫРОВАТКО (ДНУ им. О. Гончара, Днепропетровск)

КВАНТОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ СО СФЕРИЧЕСКИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

У роботі досліджено структуру і властивості композиційних матеріалів із швидкоохолодженим наповнювачем W-C і зв'язками Fe-C-B-P, легованими молибденом. Залежність ширини зон контактної взаємодії від розмірів сферичних гранул пояснено за допомогою моделі, заснованої на принципах квантової механіки.

Ключові слова: композиційний матеріал, границя поділу, розчинно-дифузійний механізм, зона контактної взаємодії, квантовомеханічна модель

В работе исследованы структура и свойства композиционных материалов с быстроохлажденным наполнителем W-C и связками Fe-C-B-P, легированными молибденом. Зависимость ширины зон контактного взаимодействия от размеров сферических гранул объяснена с помощью модели, основанной на принципах квантовой механики.

Ключові слова: композиционный материал, граница раздел, растворо-диффузионный механизм, зона контактного взаимодействия, квантовомеханическая модель

The structure and properties of the composites having Fe-C-B-P binders alloyed with molybdenum and strengthened by the W-C quickly-cooled filler were investigated in this work. The model based on quantum mechanics principles explaining the dependencies of contact interaction zones width on filler diameter was suggested.

Keywords: composite, interface, dissolution and diffusion mechanism, contact interaction zone, quantum mechanic model

1. Введение

Композиционные материалы привлекают внимание широкого круга специалистов. Сочетание в одном материале веществ с различными физико-механическими свойствами позволяет получать уникальные показатели прочности, термостойкости, износостойкости, эрозионной стойкости и др. При создании композиционных материалов в первую очередь возникает вопрос о совместимости структурных составляющих и обеспечении стабильности свойств при повышенных температурах. Поэтому в работе рассмотрено межфазное взаимодействие в композиционных материалах с позиций вероятностной модели, основанной на принципах квантовой механики. Данный подход позволяет упростить расчеты, поскольку не требует учета координатной и временной зависимостей коэффициентов диффузии, сложных нелинейных связей в уравнениях диффузии (справедливых на ограниченных участках пространства), а также различных, опять-таки нелинейных начальных условий.

2. Методика и результаты эксперимента

Исследовали структуру композиционных материалов со сферическими гранулами напол-

нителя W-C, полученными методом термоцентробежного распыления вращающегося стержня ($V_{\text{охл}} = 1000 \text{ K/c}$) [1]. Состав использованных сплавов-связок указан в табл. 1. Композиционные материалы изготавливали способом печной пропитки при температуре 1180°C в течение 30 минут. Структуру композиционных материалов изучали методами количественного металлографического, рентгеноструктурного, дифференциального термического анализом.

Таблица 1

Химический состав связок исследованных композиционных материалов

Номер сплава	Состав сплава-связки, вес. %	$T_{\text{пл}}, \text{K}$
1к	Fe - 3 % C - 1,8 % B - 1% P	1333-1383
2к	Fe - 3% C - 1,8 % B - 1 % P -0,5 % Mo	1385-1395

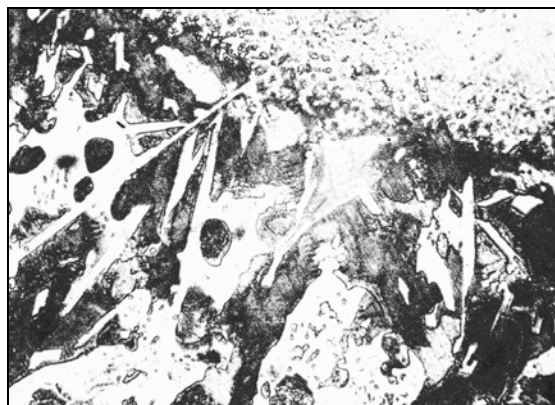
Сплавы-связки указанного состава хорошо смачивают гранулы наполнителя. Объемное содержание наполнителя в композиционных материалах колеблется в пределах 50...70 %, размер частиц наполнителя 30...70 мкм. На границах раздела между наполнителем и сплавом-связкой образуются зоны контактного

взаимодействия. В эвтектической структуре WC-W₂C наполнителя вблизи границы раздела наблюдается увеличение содержания железа, особенно в фазе WC. Также со стороны наполнителя в зоне контактного взаимодействия образуется фаза Fe₃W₃C.

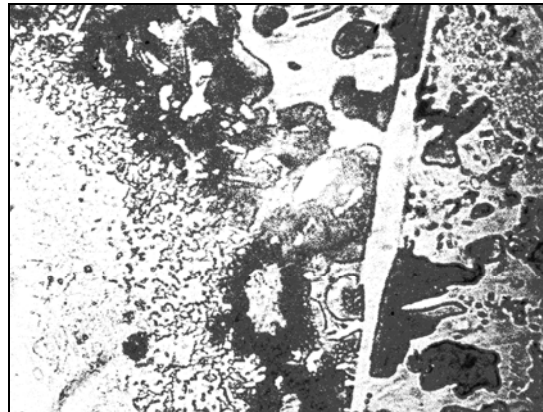
Возле границ раздела со стороны матрицы эвтектика Fe-Fe₃(C, W) легирована вольфрамом и углеродом по сравнению с исходной. Причем вольфрам растворяется преимущественно в эвтектической фазе Fe₃(C, W). Кроме того, в эвтектике Fe-(Fe,W)₃(C, W) после пропитки дополнительно наблюдаются темные кристаллы

округлой формы, идентифицированные как аустенит, легированный вольфрамом и претерпевший перлитный распад. Легирование молибденом практически не влияет на объемное содержание фаз в зоне контактного взаимодействия, но вызывает уменьшение ширины зон контактного взаимодействия в среднем на 20 % (рис. 1, табл. 2).

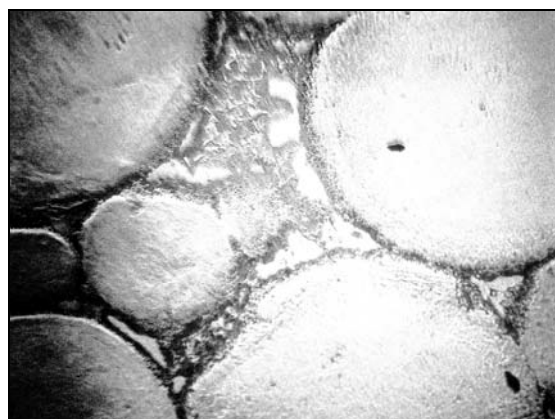
Ширина зон контактного взаимодействия уменьшается при увеличении радиуса гранул наполнителя (рис. 1, 2). Характер зависимости не изменяется при варьировании состава связки.



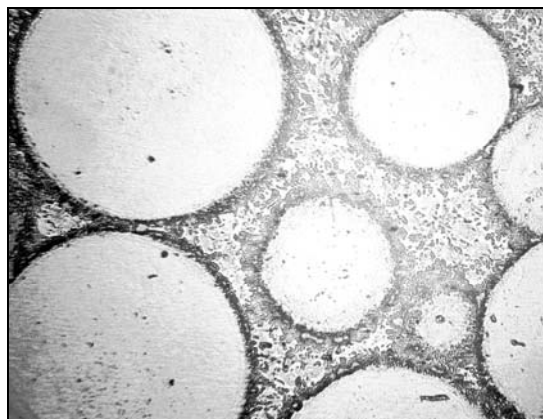
а



б



в



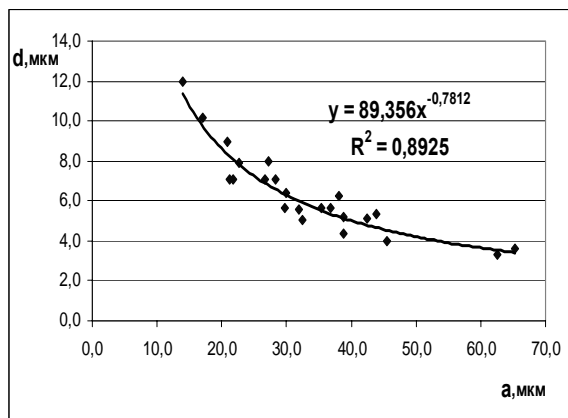
г

Рис. 1. Микроструктура композиционных материалов:
а – № 1к (× 1000); б – № 2к (× 1000); в – № 1к (× 100); г – № 2к (× 100)

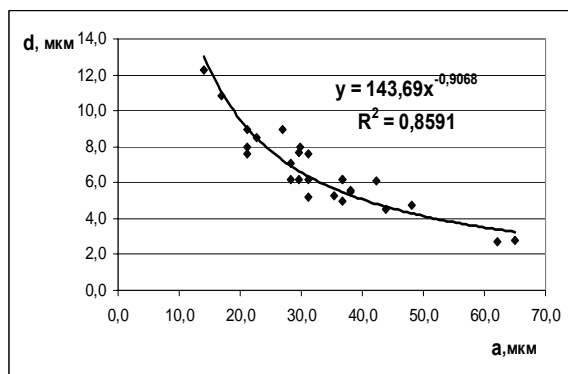
Таблица 2

**Фазовый состав и ширина зон контактного взаимодействия
на границах раздела композиционных материалов**

№ образца	Со стороны наполнителя		Со стороны матрицы		Суммарная ширина зон контактного взаимодействия, мкм
	Фазовый состав	Ширина зон контактного взаимодействия, мкм	Фазовый состав	Ширина зон контактного взаимодействия, мкм	
1к	WC, Fe ₃ W ₃ C	17,9 ± 1,6	распавшийся аустенит, Fe ₃ W ₃ C, WC	47,0 ± 3,3	64,9 ± 4,9
2к		15,8 ± 1,1		35,6 ± 3,3	51,4 ± 4,4



а



б

Рис. 2. Зависимости ширины зон контактного взаимодействия от радиуса гранул наполнителя для композиционных материалов: а – № 1к; б – № 2к

3. Обсуждение результатов

Для объяснения полученных зависимостей ширины зон контактного взаимодействия от размера сферических гранул и моделирования процессов структурообразования композиционных материалов использована оригинальная расчетная модель. В ее основу положен вероятностный принцип квантовой механики, позволивший авторам [2] моделировать межфазное взаимодействие путем расчета псевдопотенциала электронного газа. В данной работе учтена центральная симметрия гранул наполнителя, расположенных в связке.

Для получения соответствующего решения уравнения Шредингера в виде волновой функции в стационарном состоянии и определения вероятности распределения атомов (например, вольфрама) в зоне контактного взаимодействия со стороны матрицы искомая вероятность отождествлена с самим распределением вблизи границы раздела. Предположено, что временной интервал пропитки достаточен для форми-

рования стационарного состояния границ раздела, т.е. для достижения равновесия между кинетической и потенциальной энергией взаимодействия взаимопроникающих атомов. Таким образом, в течение пропитки ширина зон контактного взаимодействия, если и растет, то очень медленно.

Радиальная часть волновой функции в полях центральной симметрии описывается уравнением:

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right) - \frac{l(l+1)}{r^2} R + \frac{2m}{\hbar^2} [E - U(r)] R = 0, \quad (1)$$

где r – расстояние от центра симметрии; $R(r)$ – радиальная составляющая волновой функции; l – собственные значения момента; m – масса атома; E – энергия атома; $U(r)$ – потенциальная энергия связи центрального поля.

Процесс растворения наполнителя в связке можно описать, решив задачу трехмерной сферической потенциальной ямы, внутри которой потенциальная энергия связи имеет значение $U_0 < 0$. Атомы совершают финитное движение (пусть даже колебательное) в потенциальной яме, ограниченной размерами сферы. Также можно предположить, что взаимодействие между диффундирующим в связку атомом и интегральным полем наполнителя носит кулоновский характер. Тогда вырождение имеется не только по магнитному квантовому числу m (как при всяком движении в центрально-симметричном поле), но и по числу l . То есть, если все состояния с различными l , но одинаковыми n (главное квантовое число), обладают одинаковой энергией, тогда можно считать в уравнении (1) $l = 0$. В результате получаем классическое уравнение для радиальной части волновой функции в потенциальной трехмерной яме. Уравнение имеет общий вид:

$$\frac{1}{r} \frac{d^2}{dr^2} (rR(r)) + \frac{2m}{\hbar^2} [E - U(r)] R(r) = 0. \quad (2)$$

Внутри ямы $U(r) > 0$ ($0 < r < a$). Тогда (2) можно записать таким образом:

$$\frac{d^2}{dr^2} (rR(r)) + \frac{2m}{\hbar^2} [U(r) - |E|] (rR(r)) = 0. \quad (3)$$

Поскольку $E < 0$ (движение финитно), то множитель

$$\frac{2m}{\hbar^2} [E - U(r)] = \frac{2m}{\hbar^2} [U(r) - |E|]^2 = k^2 > 0. \quad (4)$$

Следовательно, решение уравнения (3) имеет вид:

$$R(r) = \frac{a \sin kr}{r}. \quad (5)$$

Вне ямы волновая функция является решением уравнения

$$\frac{1}{r} \frac{d^2}{dr^2} (rR(r)) + \frac{2mE}{\hbar^2} R(r) = 0. \quad (6)$$

Поскольку энергия E по-прежнему отрицательна (гранула не распадается и сохраняет форму), то уравнение (6) можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{dr^2} (rR(r)) - \chi^2 (rR(r)) &= 0; \\ -\chi^2 &= -\frac{2m|E|}{\hbar^2} = \frac{2mE}{\hbar^2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Решением уравнения (7) является

$$R(r) = \frac{ae^{-\chi r}}{r}. \quad (8)$$

Условие непрерывности волновой функции в точке $r = a$ определяет уравнение сшивки

$$\frac{(rR(r))'}{rR(r)} = -\chi, \quad (9)$$

где $R(r)$ – решение уравнения (3) (внутри ямы). Тогда справедливо выражение

$$k \operatorname{ctg}(ka) = -\chi = -\frac{1}{\hbar} \sqrt{2m|E|} = -\sqrt{\frac{2mU_0}{\hbar^2} - k^2}. \quad (10)$$

Уравнение (10) можно преобразовать к виду

$$k^2 (1 - \sin^2 ka) = \left(\frac{2mU_0}{\hbar^2} - k^2 \right) \sin^2 ka, \quad (11)$$

тогда получаем

$$\sin ka = \pm ka \sqrt{\frac{\hbar^2}{2ma^2U_0}}. \quad (12)$$

При условии $\operatorname{ctg}(ka) < 0$ выражение (12) определяет неявным образом возможные уровни энергии E_n . Но с практической точки зрения более интересным является соотношение, описывающее минимальную энергию $U_{0 \min}$, удерживающую атомы наполнителя в структуре. В уравнении (12) для первого значения (ka) , при

котором выполняется условие $\operatorname{ctg}(ka) < 0$, можно записать $ka > \pi/2$. При этом

$$\sin \frac{\pi}{2} = 1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\hbar^2}{2ma^2U_0}}, \quad (13)$$

откуда

$$U_{0 \min} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{8ma^2}. \quad (14)$$

Следовательно, минимальная отрицательная энергия связи (при которой $E = 0$), позволяющая сохранять структуру гранул наполнителя, обратно пропорциональна квадрату их радиуса.

Выражение (14) описывает процесс формирования ширины зон контактного взаимодействия, что графически иллюстрируют энергетические выражения для гранул различных размеров (рис. 3).

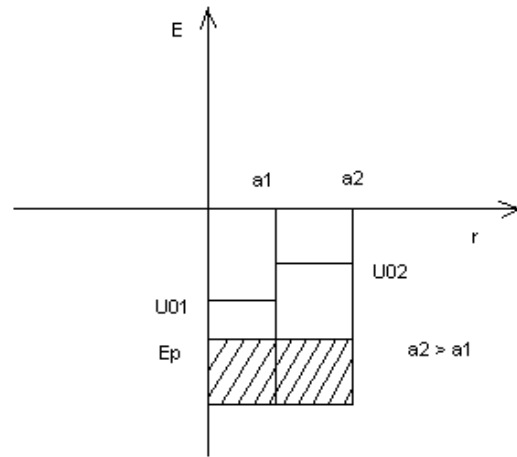


Рис. 3. Соотношение составляющих суммарной энергии E

При нагреве наполнителя во время пропитки энергетические уровни атома за счет кинетической энергии поднимаются в потенциальной яме на определенную высоту и достигают уровня E_p , энергия которого близка для гранул больших и малых размеров (хотя ее значение может различаться за счет квантовых эффектов). При достижении уровня U_0 суммарная энергия обращается в нуль, т.е. потенциальная яма не может образовывать ни одного уровня ($E_n < 0$). В этом случае гранула наполнителя распадается. Значение суммарной энергии (которая по-прежнему отрицательна в случае структурной целостности гранулы) определяется соотношением

$$|E| = |E_p| - |U_0|. \quad (15)$$

Поскольку $|U_0|$ для гранулы с большим диаметром меньше, то и значение $|E|$ для нее больше. Тогда, согласно (9), вероятность нахождения атома за пределами потенциальной ямы в точке с радиальной координатой r определяется уравнением:

$$|rR(r)|^2 = c^2 e^{-2\chi r} = \frac{c^2}{e^{2\chi r}}, \quad (16)$$

где r – расстояние от поверхности сферической гранулы наполнителя; c^2 – вероятность присутствия атомов на поверхности наполнителя. При этом

$$\chi = \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} |E_p| - \frac{\pi^2}{4a^2}}, \quad (17)$$

где m – масса атома; $|E_p|$ – абсолютное значение энергии атомов на поверхности наполнителя; a – радиус сферической гранулы наполнителя.

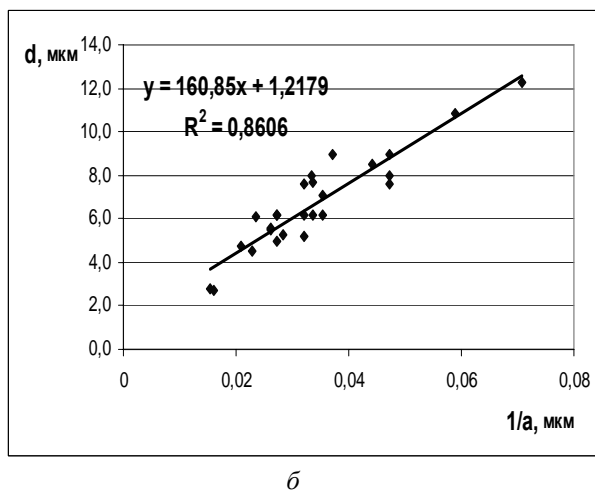
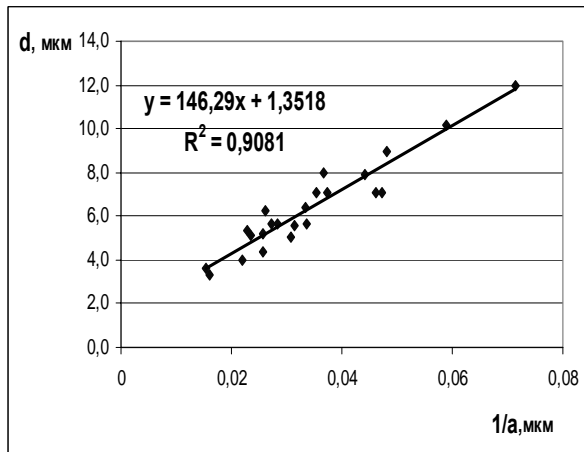


Рис. 4. Зависимости ширины зон контактного взаимодействия от радиуса гранул наполнителя в обратных координатах для композиционных материалов: а – № 1к; б – № 2к

Предположив, что вероятность миграции атомов наполнителя к границе визуально наблюдаемой зоны контактного взаимодействия пропорциональна ширине самой зоны, можно записать:

$$|dR(d)|^2 = \alpha d = c^2 e^{-2\chi d}, \quad (18)$$

где d – ширина зоны контактного взаимодействия; α – коэффициент пропорциональности.

Экспериментально установлена обратно пропорциональная зависимость ширины зоны контактного взаимодействия от радиуса гранулы наполнителя, т.е. $d = f(1/a)$. Следовательно, наблюдается линейная зависимость $d(a)$ в координатах $1/a$, что подтверждается экспериментально (рис. 4).

Свободный член уравнения регрессии, отражающий значение d_{\min} , к которому стремится ширина зоны контактного взаимодействия при увеличении размеров гранул, в случае пропитки связкой Fe-C-B-P ~ 1,35 мкм, а связкой Fe-C-B-P-Mo ~ 1,22 (различие ~ 11 %). Коэффициент наклона графической зависимости $d(a)$ при введении в связку Fe-C-B-P молибдена ~ 160 > 146. Это совпадает с наблюдаемым экспериментально уменьшением интенсивности растворения гранул наполнителя в расплавленной связке Fe-C-B-P-Mo в 1,1 раза. Для логарифмического представления уравнения (18) нормируем значения d к значениям d_{\min} , т.е. учтем, что для размеров зон контактного взаимодействия $\alpha = 1/d_{\min}$. Кроме того, примем во внимание то, что вероятность нахождения мигрирующих атомов на поверхности наполнителя близка к 1, т.е. $c^2 \sim 1$. Прологарифмируем (18), тогда

$$\frac{1}{2d} \left[\ln \frac{d}{d_{\min}} \right] = -\chi = -\sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} |E_p| - \frac{\pi^2}{4a^2}}. \quad (19)$$

Возведя в квадрат обе части уравнения (19), запишем:

$$\left[\frac{1}{2d} \left(\ln \frac{d}{d_{\min}} \right) \right]^2 = \frac{2m |E_p|}{\hbar^2} - \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{1}{a^2}. \quad (20)$$

Представим экспериментальные данные в соответствии с левой частью уравнения (20) и построим график в координатах $1/a^2$ (рис. 5), обозначив соответственно

$$b = \left[\frac{1}{2d} \left(\ln \frac{d}{d_{\min}} \right) \right]^2.$$

Используемый подход подтверждает тот факт, что расчетные значения коэффициента наклона линейной регрессии $\pi^2/4 = 2,46$. Они близки к значениям, полученным в эксперименте – 2,23 и 2,27. Из этого следует, что и второй коэффициент регрессии близок к истинным значениям, т.е.

$$\frac{2m|E_p|}{\hbar^2} \sim 0,0180 \text{ (мкм)}^{-2} \text{ в случае связки}$$

Fe-C-B-P

$$\text{и } \frac{2m|E_p|}{\hbar^2} \sim 0,0237 \text{ (мкм)}^{-2} - \text{связки}$$

Fe-C-B-P-Mo.

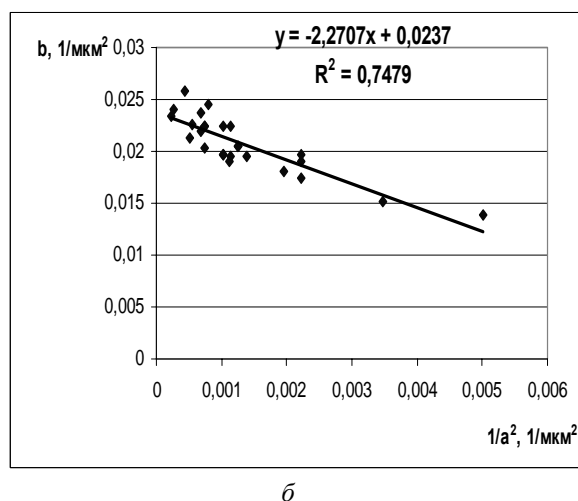
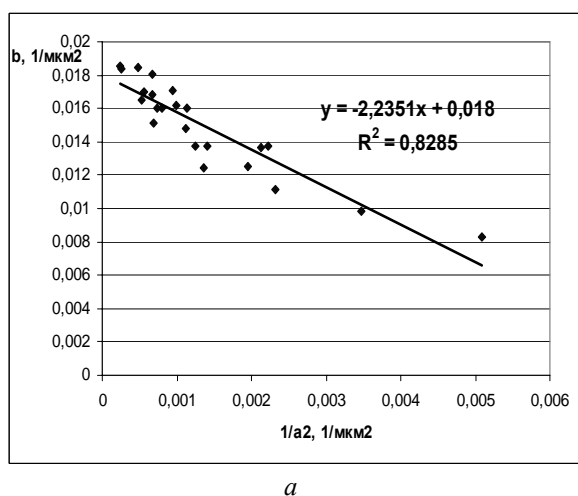


Рис. 5. Логарифмическое представление экспериментальных данных с учетом уравнения (20) для композиционных материалов: а – № 1к; б – № 2к

Таким образом, при введении молибдена пороговая величина энергии связи, удерживающая атомы в яме, увеличивается.

Кроме того, состав связки композиционных материалов позволяет учесть показатель, кото-

рый определяет глубину проникновения в нее атомов наполнителя при пропитке.

4. Выводы

1. Изучены структурный и фазовый состав зон контактного взаимодействия, которые образуются в композиционных материалах при пропитке сферических гранул наполнителя W-C связками на железной основе. Определена ширина зон контактного взаимодействия на границах раздела между наполнителем и матрицей.

2. Для объяснения характера зависимости ширины зон контактного взаимодействия от диаметра гранул наполнителя предложена вероятностная модель, позволяющая прогнозировать процессы растворения наполнителя в расплавленной связке. Модель основана на принципах квантовой механики и рассматривает решения уравнения Шредингера внутри и вне потенциальной ямы. Разработанная модель позволяет определить такие величины, как энергия, характеризующая минимальный уровень образования ямы, масса диффундирующих атомов, энергия связи и энергия активации образования зон контактного взаимодействия.

3. С учетом графической интерпретации энергетических соотношений для сферических гранул различных размеров показано, что с увеличением их радиуса вероятность вылета атома из ямы затухает быстрее. Чем меньше гранула, тем больше вероятность вылета и, соответственно, шире зона, которая окружает яму.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Юзвенко, Ю. А. Сферический релит. Способ получения и свойства [Текст] / Ю. А. Юзвенко, Е. И. Фрумин, М. А. Пашенко // Порошковая металлургия. – 1975. – № 7. – С. 1-5.
2. Портной, К. И. Расчет взаимодействия и стабильности фаз [Текст] / К. И. Портной, В. И. Богданов, Д. Л. Фукс. – М.: Металлургия, 1981. – 248 с.
3. Суховая, Е. В. Влияние фосфора и молибдена на механизм и кинетику формирования границ раздела в композиционных материалах со связкой Fe-C-B [Текст] / Е. В. Суховая, Ю. В. Сыроватко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 219-224.

Поступила в редколлегию 14.01.2011.

Принята к печати 19.01.2011.

В. Д. ШЕЛЯГИН, В. Ю. ХАСКИН, А. Т. НИКУЛИН, А. В. СИОРА, А. В. БЕРНАЦКИЙ
(Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ, Киев)

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 38ХНЗМФА

Досліджено процес лазерного і лазерно-плазмового способів легування поверхні сталевих зразків. Встановлено, що за відсутності мікротріщин структурний стан легуваного шару характеризується утворенням дисперсних фаз при рівномірному їх розподілі, невисокою щільністю дислокацій без різких градієнтів і низьким рівнем внутрішніх напружень.

Ключові слова: лазерне легування, лазерно-плазмове легування, дослідження структури, дислокації, внутрішні напруження

Исследован процесс лазерного и лазерно-плазменного способов легирования поверхности стальных образцов. Установлено, что при отсутствии микротрещин структурное состояние легированного слоя характеризуется образованием дисперсных фаз при равномерном их распределении, невысокой плотностью дислокаций без резких градиентов и низким уровнем внутренних напряжений.

Ключевые слова: лазерное легирование, лазерно-плазменное легирование, исследование структуры, дислокации, внутренние напряжения

The process of laser and laser-plasma methods of surface alloying of steel samples is investigated. It is determined that in the absence of cracks the structural state of the doped layer is characterized by the formation of dispersed phases in their uniform distribution, a low density of dislocations without any sharp gradients and low level of internal stresses.

Keywords: laser alloying, laser-plasma alloying, study of structure, dislocations, internal stresses

В современных условиях непрерывного роста стоимости легирующих компонентов объемное легирование сталей становится все менее экономичным процессом. Но уровня эксплуатационных свойств нелегированных сталей недостаточно для использования в современной промышленности. Одним из путей решения данной проблемы является применение различных способов поверхностного легирования сталей, позволяющих получать требуемые свойства рабочей поверхности при минимальном расходе легирующих элементов.

Развитие инженерии поверхности на современном этапе предполагает разработку технологических процессов нового уровня, позволяющих модифицировать поверхностный слой, радикально менять его структуру и свойства, используя в качестве теплового источника такие концентрированные потоки энергии, как ионные, лазерные, ультразвуковые, электронные и др. Однако при применении концентрированных источников нагрева возникает проблема накопления внутренних напряжений в обработанных слоях, что приводит к возникновению микротрещин.

Одним из актуальных направлений в решении данной проблемы является разработка новых комбинированных и гибридных процессов

поверхностной обработки, базирующихся на одновременном использовании для нагрева двух различных источников тепловой энергии, например, лазерного излучения и электродуговой плазмы.

Целью настоящей работы является исследование комбинированного способа лазерно-плазменного легирования стальной поверхности, определение его технологических возможностей и сравнение структурно-фазового состояния поверхностных слоев, формирующихся непосредственно при лазерной и лазерно-плазменной обработке.

В научно-технической литературе в последнее время появляется все больше публикаций о применении комбинированных процессов для нанесения покрытий, основанных на совместном использовании лазерного излучения и плазменной дуги [1–5]. Такая комбинация процессов за счет неполного перекрытия зоны плазменного напыления зоной лазерного нагрева, обеспечивает эффект подготовки поверхности, исключает необходимость струйно-абразивной обработки. Характерным результатом этого процесса является возможность получения сплошного слоя с повышенной прочностью сцепления. Нами было предложено, за счет коррекции технологических параметров про-

цесса, перейти от нанесения покрытий к легированию поверхности.

В качестве исследуемого материала была выбрана сталь 38ХНЗМФА (ГОСТ 4543-71), которая применяется для производства колец турбогенераторов и наиболее ответственных тяжело нагруженных деталей трубопроводной арматуры. В железнодорожной отрасли эта сталь нашла свое применение при изготовлении коленчатого вала четырехтактных среднеоборотных двигателей с газотурбинным наддувом и охлаждением наддувочного воздуха типа Д49 размерности ЧН26/26, производства ОАО «Коломенский завод» (Россия). Наибольшее распространение двигатели размерности ЧН26/26 получили на железнодорожном транспорте России, СНГ, стран Балтии, экспортировались в составе тепловозов в Германию, Болгарию, Францию, Монголию, Сирию и другие страны [6].

Лабораторный стенд для проведения экспериментов по лазерному и лазерно-плазменному поверхностному легированию был организован на базе трехкоординатного манипулятора, изготовленного в ИЭС им. Е. О. Патона.

В работе был использован Nd:YAG-лазер «DY044» производства фирмы «ROFIN-SINAR» (Германия) с длиной волны лазерного излучения $\lambda = 1,06$ мкм. Лазерное излучение передавалось к месту обработки по оптическому волокну диаметром 600 мкм и длиной 20 м. Из оптоволокну лазерное излучение попадало в коллиматор, где преобразовывалось с помощью системы оптических элементов, приобретало необходимые геометрические размеры и затем попадало на фокусирующую кварцевую линзу $\varnothing 50$ мм с фокусным расстоянием $F = 200$ мм. Обработка выполнялась при варьировании мощности лазерного излучения в пределах $P = 3,0 \dots 4,4$ кВт, скорости обработки $V = 400 \dots 750$ мм/мин и величины расфокусировки $\Delta F = +30 \dots +45$ мм.

Обрабатывалась наружная поверхность цилиндрических образцов изготовленных из конструкционной легированной стали 38ХНЗМФА. При лазерном легировании использовалась механическая смесь порошков с грануляцией $0 \dots 40$ мкм со следующим составом (масс. %): $(WC-W_2C) + Cr + Al + Si = 46 \% + 46 \% + 4 \% + 4 \%$. При лазерно-плазменном легировании использовалась механическая смесь порошков аналогичной грануляции с составом (масс. %): $(WC-W_2C) + Cr + Al = 48 \% + 48 \% + 4 \%$.

При проведении экспериментов по лазерному легированию образец был неподвижен и располагался на предметном столе, а лазерная фокусирующая головка закреплялась на подвижной каретке трехкоординатного манипулятора. Конструкция лазерной фокусирующей головки позволяла вести обработку образца с сосной подачей лазерного излучения и присадочного порошка. Непосредственно в сопловую часть лазерной головки присадочный порошок транспортировался с помощью аргона. Дозирование порошка осуществлялось с помощью разработанного в ИЭС им. Е. О. Патона вибрационного питателя. Для предотвращения попадания в оптический тракт отраженного от поверхности ванны жидкого металла лазерного излучения, лазерную головку наклоняли на 10° углом вперед по ходу перемещения каретки.

При проведении экспериментов по лазерно-плазменному поверхностному легированию, лазерная фокусирующая головка и плазматрон были закреплены на неподвижной опоре. Образцы закреплялись в захватах, установленных на подвижной каретке трехкоординатного манипулятора. При обработке получали прямолинейные валики за счет продольного перемещения каретки. На поверхности образца образовывалась ванна расплава глубиной до 2 мм, в которую струей ламинарной аргоновой плазмы подавалась механическая смесь порошков. В экспериментах для питания плазматрона использовали источник МПУ-4. Ток составлял $40 \dots 50$ А при напряжении $32 \dots 38$ В. Дистанция от сопла плазматрона до зоны обработки составляла $120 \dots 150$ мм. Расход плазмообразующего газа (аргон) выбрали $1,5 \dots 2$ л/мин, расход защитного газа (аргон) – $4 \dots 5$ л/мин. Угол сходимости лазерного излучения и плазменной струи составлял $30 \dots 45^\circ$. Расход присадочного порошка меняли в пределах $0,1 \dots 1$ г/с.

Из полученных образцов вырезали темплеты размером $10 \times 10 \times 10$ мм. Для 12 групп образцов, которые отличались параметрами технологических режимов, проводили металлографические исследования каждого образца на участках легированного слоя, зоны линии сплавления и основного металла.

Исследования включали световую микроскопию (на микроскопе «Versamet-2», производитель «Unitron», США), аналитическую растворную электронную микроскопию («SEM-515», производитель «PHILIPS», Голландия) и микродифракционную просвечивающую электронную микроскопию («JEM-200CX», производитель «JEOL», Япония).

Изучали структурные изменения, микротвердость, химический состав в локальных точках и его распределение по глубине слоя от внешней поверхности легированного слоя до основного металла, дислокационную структуру, образование фазовых выделений. На основании этого комплекса исследований были выполнены оценки плотности дислокаций, установлен характер распределения и уровень локальных внутренних напряжений, а также их градиентов. Особое внимание уделялось характеру формирования микротрещин, а именно их распределению, размеру и установлению причины их появления.

Исследования показали, что в результате обработки обоими способами легированный слой имеет четко выраженную кристаллическую структуру (рис. 1, 2), направленную перпендикулярно линии сплавления. Толщина легированных слоев полученных лазерным и лазерно-плазменным методом уменьшается от 2250 мкм до 1580 мкм, при увеличении скорости легирования от $V = 400$ мм/мин до $V = 750$ мм/мин.

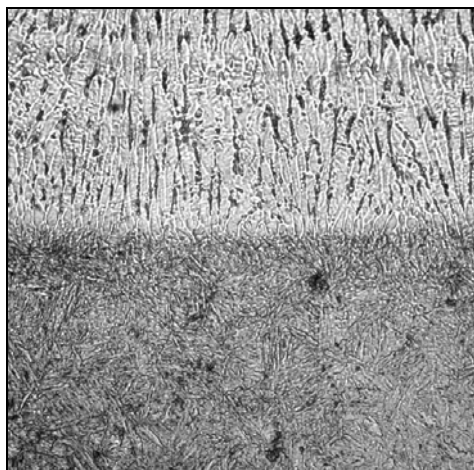


Рис. 1. Фотография микроструктуры у линии сплавления ($\times 500$) образца из стали 38ХНЗМФА с поверхностным слоем, полученным лазерно-плазменным легированием ($V = 500$ мм/мин, $P = 3,0$ кВт, $\Delta F = +30$ мм)

Со стороны основного металла у линии сплавления наблюдается зона термического влияния (ЗТВ), ширина которой увеличивается от 1300 мкм до 1650 мкм при уменьшении скорости легирования соответственно от $V = 750$ мм/мин до $V = 400$ мм/мин.

В случае лазерно-плазменной обработки (рис. 1) кристаллиты имеют как более вытяженный, так и более ячеистый характер. Они меньшего размера по сравнению с получаемыми при лазерном легировании (рис. 2).

При лазерном и лазерно-плазменном легировании одним из основных дефектов являются микротрещины, которые зафиксированы почти во всех исследуемых образцах. Однако если при применении лазерного способа микротрещины могут присутствовать в легированном слое, зоне сплавления (рис. 3) и даже основном металле, то при лазерно-плазменном легировании в зоне сплавления и основном металле микротрещины не обнаружены.

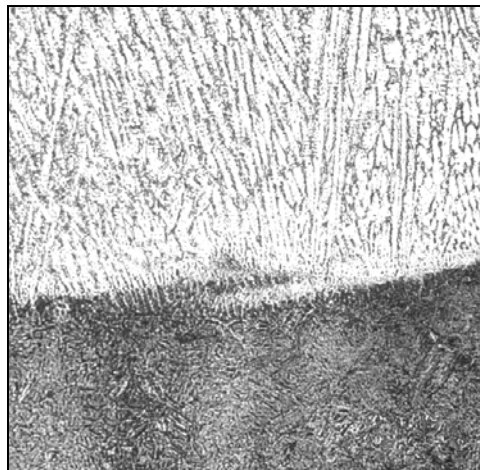


Рис. 2. Фотография микроструктуры у линии сплавления ($\times 500$) образца из стали 38ХНЗМФА с поверхностным слоем, полученным лазерным легированием ($V = 400$ мм/мин, $P = 4,4$ кВт, $\Delta F = +30$ мм)

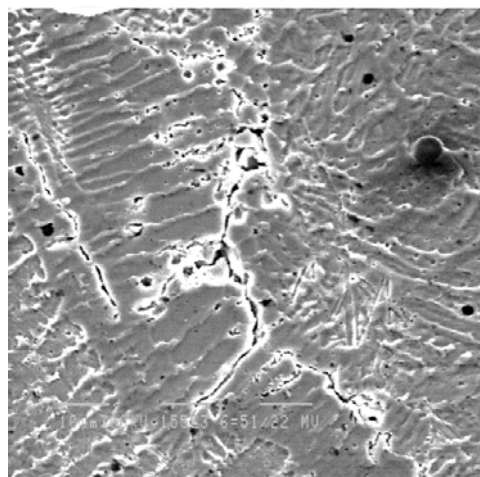


Рис. 3. Фотография микроструктуры с микротрещиной у линии сплавления ($\times 1550$) образца из стали 38ХНЗМФА с поверхностным слоем, полученным лазерным легированием ($V = 400$ мм/мин, $P = 4,4$ кВт, $\Delta F = +30$ мм)

Так, например, для образцов полученных при лазерном легировании ($P = 4,4$ кВт, $V = 400$ мм/мин, $\Delta F = +30$ мм), характерна игольчатая структура внутри кристаллитов, насыщенная вытяженными карбидами различного

размера и, соответственно, с отличающейся внутренней структурой, формирующейся в основном вдоль межзеренных границ кристаллитов. Фазовые выделения имеют сложную «паркетную» структуру (рис. 4). Наблюдается резкий градиент, как по структуре, так и по плотности дислокаций ρ , которая изменяется от $8 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ до $1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Концентрация хрома в местах формирования трещин увеличивается до 25 %.

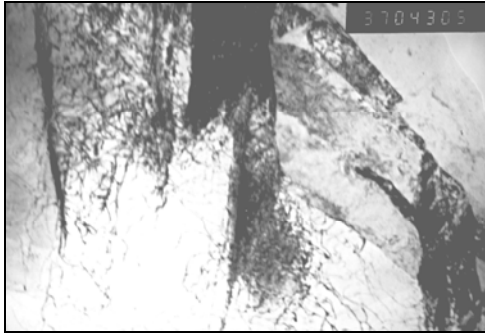


Рис. 4. Фотография структуры кристаллитов у линии сплавления ($\times 37000$) образца из стали 38ХНЗМФА с поверхностным слоем, полученным лазерным легированием ($V = 400 \text{ мм/мин}$, $P = 4,4 \text{ кВт}$, $\Delta F = +30 \text{ мм}$)

Установлено, что именно градиент по плотности дислокаций $\Delta\rho$ является основной причиной формирования резких локальных концентраторов внутренних напряжений $\tau_{\text{л/вн}}$ составляющих от $\tau_{\text{вн}} \approx 14,9 \text{ МПа}$ до 18500 МПа , что и служит причинами трещинообразования и резкого ухудшения качества поверхности.

Протяженность трещин, как в легированном слое, так и в зоне сплавления, составляет $50 \dots 550 \text{ мкм}$.

Изучение концентрационных изменений в легированном слое, показало, что в случае скорости обработки $V = 400 \text{ мм/мин}$ в объемах кристаллитов наблюдается содержание хрома $7 \dots 7,5 \%$, вольфрама $1,3 \dots 2,5 \%$, а на границе кристаллитов их содержание увеличивается до $9,5 \dots 10,4 \%$ и $3,6 \dots 4,15 \%$, соответственно. Количество железа в объемах кристаллитов составляет $85 \dots 87 \%$, а на границах уменьшается до $80 \dots 82 \%$. Градиент концентрационных изменений между объемом и границей кристаллитов составляет до 6% $\Delta\text{Fe}_{(\text{гр/об})}$, до 3% $\Delta\text{Cr}_{(\text{гр/об})}$ и до 3% $\Delta\text{W}_{(\text{гр/об})}$.

При увеличении скорости легирования до $V = 500 \text{ мм/мин}$ наблюдается аналогичная тенденция концентрационных изменений и увеличение процентного содержания элементов по сравнению с $V = 400 \text{ мм/мин}$. В объеме кристаллитов содержание хрома в среднем 14% ,

вольфрама $6,7 \dots 7,3 \%$, а на границе наблюдается увеличение содержания хрома до 15% , а вольфрама до 9% . В объеме кристаллитов железо составляет в среднем 81% , а на границе уменьшается до $75 \dots 78 \%$. Градиент концентрационных изменений в кристаллитах при $V = 500 \text{ мм/мин}$ меньше по сравнению с $V = 400 \text{ мм/мин}$ и составляет для $\Delta\text{Fe}_{(\text{гр/об})}$ до $2,5 \%$, $\Delta\text{Cr}_{(\text{гр/об})}$ — до 2% и $\Delta\text{W}_{(\text{гр/об})}$ — до $1,5 \%$. Проведенное для данного случая локальное изучение микротвердости кристаллитов показало, что как в объеме, так и на границе микротвердость составляет $2500 \dots 3480 \text{ МПа}$.

При увеличении скорости лазерного легирования до $V = 750 \text{ мм/мин}$ в объемах кристаллитов содержание хрома составляет в среднем $10,5 \%$, вольфрама 3% , а на границе увеличивается в среднем для хрома до 12% , для вольфрама до 7% . Градиент концентрационных изменений в кристаллитах составляет $\Delta\text{Fe}_{(\text{гр/об})}$ до $6,5 \%$, $\Delta\text{Cr}_{(\text{гр/об})}$ до 2% и $\Delta\text{W}_{(\text{гр/об})}$ до 3% .

Рассматривалась также такая важная особенность как наличие или отсутствие трещин.

В случае $V = 400 \text{ мм/мин}$ (см. рис. 3) и $V = 750 \text{ мм/мин}$ наблюдается формирование трещин в легированном слое возле линии сплавления. При $V = 400 \text{ мм/мин}$ длина распространения трещин составляет $50 \dots 450 \text{ мкм}$ с объемной долей V_d до 2% . При высокой скорости лазерного легирования $V = 750 \text{ мм/мин}$, наблюдается увеличение как протяженности трещин до 500 мкм , так и их объемной доли V_d до 10% . И в первом и во втором случае содержание хрома в областях с трещинами увеличивается до $20 \dots 26 \%$, а содержание вольфрама при этом составляет $2 \dots 5 \%$.

В случае лазерно-плазменного легирования на режиме $P = 3,0 \text{ кВт}$, $V = 500 \text{ мм/мин}$, $\Delta F = +30 \text{ мм}$, наблюдается структура и карбидные фазы более дискретные по размеру (рис. 5), при низкой плотности дислокаций в легированном слое $(1 \dots 8) \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$ и без их резкого градиента. Это свидетельствует об отсутствии структурных условий формирования концентраторов внутренних напряжений $\tau_{\text{вн}} \approx 148 \dots 370 \text{ МПа}$. Последнее характеризует структурное состояние поверхности как оптимальное и подтверждается практически отсутствием микротрещин.

Исследования концентрационных изменений при лазерно-плазменном легировании показали незначительное изменение по содержанию железа при переходе от легированного слоя к линии сплавления и далее к основному металлу. Уровень концентрации хрома варьи-

руется от 9 % до 13 % в легированном слое и при увеличении скорости лазерного легирования до 750 мм/мин постепенно уменьшается с приближением к линии сплавления (до значения 8 % в переходной зоне).

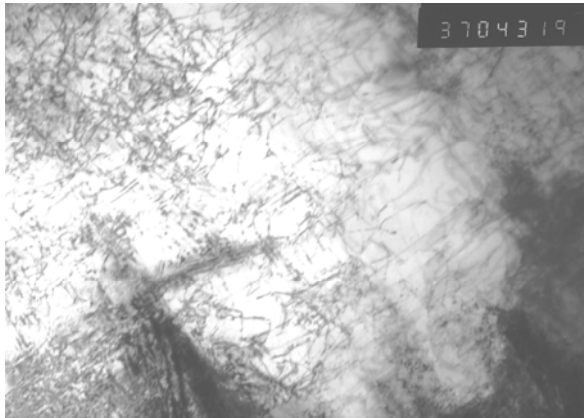


Рис. 5. Фотография структуры кристаллитов у линии сплавления ($\times 37000$) образца из стали 38ХНЗМФА с поверхностным слоем, полученным лазерно-плазменным легированием ($V = 500$ мм/мин, $P = 3,0$ кВт, $\Delta F = +30$ мм)

Размер переходной зоны уменьшается от 60 до 40 мкм при увеличении скорости легирования от 400 мм/мин до 750 мм/мин.

Выводы

Установлено, что при использовании обоих способов поверхностного легирования склонность к трещинообразованию обусловлена, прежде всего, структурными и концентрационными изменениями, связанными с перераспределениями элементов, а именно повышением концентрации хрома по границам зерен.

Это приводит к формированию резких зернограницных концентрационных градиентов, что способствует образованию в приграничных зонах карбидных фаз и, соответственно, очагов зарождения и распространения трещин. Увеличение количества трещин наблюдается на режимах с более высокими температурами нагрева, повышенной длительностью воздействия температур и пониженной скоростью охлаждения.

При сравнении образцов, полученных обоими способами поверхностного легирования, установлено, что в случае лазерно-плазменного легирования наблюдаемая структура и карбидные фазы имеют меньшие размеры при низкой

плотности и равномерном распределении дислокаций в металле легированного слоя. Это свидетельствует об отсутствии структурных условий формирования концентраторов внутренних напряжений. Последнее характеризует структурное состояние поверхности как оптимальное и подтверждается практическим отсутствием трещин.

При сравнении обоих способов поверхностного легирования установлено, что наилучшим является лазерно-плазменный при скоростях порядка 500 мм/мин и мощности излучения до 3 кВт. Это объясняется отсутствием трещин, низким уровнем концентраторов внутренних напряжений, высокой износостойкостью, также более высокими показателями микротвердости (HV в среднем 6000 МПа) по сравнению с лазерной обработкой без трещин (HV в среднем 3500 МПа).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сом, А. И. Лазер + плазма: поиск новых возможностей в наплавке [Текст] / А. И. Сом, И. В. Кривцун // Автоматическая сварка. – 2000. – № 12. – С. 36-41.
2. Schaaf, P. Reactive laser plasma coating formation [Text] / P. Schaaf, M. Kahle, E. Carpenne // Surface and Coatings Technology. – V. 200, Issues 1-4, 1 October 2005. – P. 608-611.
3. Shankar, A. Ravi. Laser surface modification of plasma sprayed yttria stabilised zirconia coatings on type 316L stainless steel [Text] / A. Ravi Shankar, U. Kamachi Mudali // Surface Engineering. – April 2009. – V. 25, No. 3. – P. 241-248.
4. Dubourg, L. Properties of alumina-titania coatings prepared by laser-assisted air plasma spraying [Text] / L. Dubourg, R. S. Lima, C. Moreau // Surface and Coatings Technology. – V. 201, Issue 14, 2 April 2007. – P. 6278-6284.
5. Григорьянц, А. Г. Технологические процессы лазерной обработки [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюрев; под ред. А. Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 664 с.
6. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.kolomnadiesel.com/productions/diesel_engine/d49/

Поступила в редколлегию 12.01.2011.

Принята к печати 17.01.2011.

НОВІ ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ВИТРАТ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ

В роботі розроблено нові принципи формування витрат на перевезення пасажирів у приміському сполученні в окремому поїзді з урахуванням особливості рухомого складу, швидкості руху та комфорту.

Ключові слова: залізничний транспорт, пасажирські перевезення, витрати

В работе разработаны новые принципы формирования расходов на перевозки пассажиров в пригородном сообщении отдельно по каждому конкретному поезду с учетом особенности подвижного состава, скорости передвижения и комфорта.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пассажирские перевозки, расходы

In the article the new principles of generating the costs of suburban passenger transportation for each specific train, taking into account features of the rolling stock, traffic speed and comfort are developed.

Keywords: railway transport, passenger transportation, costs

Вступ

Після реформування залізничного транспорту України будуть організовані приватні приміські компанії з перевезення пасажирів у приміському сполученні, які будуть мати кілька власників. Фінансування цих компаній буде виконуватися за рахунок коштів власників (Укрзалізниця, місцевих або обласних адміністрацій, приватних організацій) та державних субсидій, які поступово будуть зменшуватися залежно від фінансових показників та конкретних умов за угодами.

Постановка задачі

Тарифи на перевезення пасажирів у приміському сполученні повинні забезпечувати отримання власниками компанії доходів від надання відповідних послуг у розмірі, який забезпечить компенсацію їх витрат та формування економічно-обґрунтованого прибутку. Для цього слід спочатку визначити витрати окремого поїзду з урахуванням рухомого складу, з якого він сформований, швидкості руху та комфортності.

Результати

Розрахунок тарифів базується на основі звичайних даних за формою 10-зал, діючої Номенклатури витрат з основних видів економічної діяльності залізничного транспорту України, інструкції з калькулювання собівартості перевезень на залізничному транспорті України.

Тарифи на перевезення пасажирів у приміському сполученні повинні бути диференційовані залежно:

- від покоління моторвагонного рухомого складу (старого, нового);
- виду рухомого складу (МВРС, рейковий автобус, вагон-трамвай);
- класності вагону (1-й клас, 2-й клас, 3-й клас);
- категорії поїзда за швидкістю (звичайний, швидкий, швидкісний);
- рівнем якості послуг (звичайний та підвищеного комфорту).

Під видами послуг розуміються послуги з перевезення пасажирів у приміському сполученні у вагонах певного типу та поїзді певної категорії.

Слід сказати, що реформування приміських пасажирських перевезень у країнах СНГ та Балтії відбувається дуже повільно, оскільки цей вид залізничних перевезень дуже збитковий, а субсидії уряду та компенсації пільгових перевезень виділяються не в повному обсязі. З цього приводу можна дійти висновку, що в Україні цей процес також буде відбуватися повільно.

Можна очікувати таку послідовність реформування приміських пасажирських перевезень:

1. Спочатку будуть утворені приміські пасажирські компанії за участю тільки Державної акціонерної компанії (ДАК) «УЗ» з частковою компенсацією пільг Урядом, але при суттєвих змінах організації та технології приміського залізничного руху;
2. Поступово місцеві органи влади великих міст із значною кількістю приміського населення, задіяного на підприємствах міста, будуть утворювати приміські пасажирські компанії разом з ДАК «УЗ»;
3. Після закінчення дії світової фінансово-економічної кризи, відновлення сталої діяльно-

сті великих підприємств міста із значною кількістю працівників, що мешкає у приміській зоні, приватні інвестори – власники цих підприємств почнуть приймати участь в організації спільних приміських залізничних компаній, які будуть виконувати не тільки приміські, а й внутрішньоміські перевезення.

Відповідно до наведеної вище послідовності, поетапно будуть будуватися приміські тарифи.

Для правильної побудови тарифів спочатку слід класифікувати витрати приміської пасажирської залізничної компанії, які умовно можна поділити на три основні частини (рис. 1):

- Послуги Державної акціонерної компанії ДАК «УЗ»;
- Власні витрати приміської пасажирської компанії;
- Послуги сторонніх організацій.

В свою чергу послуги Державної акціонерної компанії ДАК «УЗ» залежно від департаменту, який буде виконувати даний вид робіт, можна поділити на дві складові:

- Локомотивна складова, яка включає витрати локомотивного господарства (це господарство може належати локомотивному Департаменту або Департаменту інфраструктури);
- Інфраструктурна складова, яка включає витрати Департаменту інфраструктури на утримання інфраструктури залізниць та організацію руху приміських пасажирських поїздів по ній.

Власні витрати приміської пасажирської компанії для полегшення розрахунків тарифів можна умовно поділити на п'ять складових:

- Моторвагонна складова, що включає витрати на утримання моторвагонних електропоїздів, дизель-поїздів, рейкових автобусів та вагонів-трамваїв;
- Вагонна складова, яка включає звичайні пасажирські вагони, які ще експлуатуються на неелектрифікованих ділянках залізниць України.
- Витрати на утримання власної пасажирської інфраструктури, що знаходиться на балансі компанії;
- Витрати на утримання власної вокзальної інфраструктури, або продажу квитків у вокзалах, що належать іншим власникам;
- Інші витрати приміської пасажирської компанії, частина з яких мусить включатися до складу тарифів на перевезення.

Послуги сторонніх організацій виділено окремо, оскільки частина з них включаються до складу тарифів на перевезення пасажирів не напряму, а після певних розрахунків. До них слід віднести:

- Оренду рухомого складу за різними договорами;
- Послуги сторонніх депо та заводів з ремонту рухомого складу, що належить пасажирській компанії;
- Послуги сторонніх організацій з ремонту будівель та споруд, що належать пасажирській компанії;
- Інші види послуг.

Додатково слід враховувати те, що кожна приміська пасажирська компанія може мати різний форми стосунків з Державною акціонерною компанією ДАК «УЗ»:

- Мати власні вокзали 3 – 5 класу, або орендувати в них приміщення;
- Орендувати приміську інфраструктуру, або викупити її;
- Ремонтувати рухомий склад в ДАК «УЗ» або у моторвагонних депо та заводах інших власників;
- Розраховуватися з ДАК «УЗ» за нитку графіка або на інших умовах.

З огляду на сказане концептуальний підхід до побудови тарифів на приміські пасажирські перевезення, що виконуються окремими філіями, дочірніми підприємствами та компаніями-операторами має бути гнучким, універсальним, ґрунтуватися спочатку на базі нової номенклатури витрат Укрзалізниці та статистичної форми 10-зал, а потім за власними дослідженнями після сталої роботи на ринку транспортних послуг.

Математично формулу для розрахунку витрат пасажирської приміської компанії (ВПК) в загальному вигляді можна представити (1):

$$\text{ВПК} = \text{П}_{\text{дак}} + \text{ВВК} + \text{ПСО}, \quad (1)$$

де $\text{П}_{\text{дак}}$ – послуги Державної акціонерної компанії ДАК «УЗ», грн;

ВВК – власні витрати приміської пасажирської компанії, грн;

ПСО – послуги сторонніх організацій, грн;

$$\text{П}_{\text{дак}} = \text{П}_{\text{ле}} + \text{П}_{\text{лт}} + \text{П}_{\text{іс}}, \quad (2)$$

де $\text{П}_{\text{ле}}$ – витрати за користування локомотивів електричної тяги, грн;

$\text{П}_{\text{лт}}$ – витрати за користування локомотивів теплової тяги, грн;

Π_{ic} – витрати за користування залізничною інфраструктурою, грн;

$$ВВК = В_{еп} + В_{дп} + В_{ра} + В_{вт} + В_{впі} + В_{вв} + В_i, \quad (3)$$

де $В_{еп}$ – витрати на роботу та утримання електропоїздів, грн;

$В_{дп}$ – витрати на роботу та утримання дизель-поїздів, грн;

$В_{ра}$ – витрати на роботу та утримання рейкових автобусів, грн;

$В_{вт}$ – витрати на роботу та утримання вагонів-трамваїв, грн;

$В_{впі}$ – витрати на утримання власної пасажирської інфраструктури, грн;

$В_{вв}$ – витрати на утримання власної вокзальної інфраструктури, грн;

$В_i$ – інші витрати пасажирської компанії (крім третьої групи), грн;

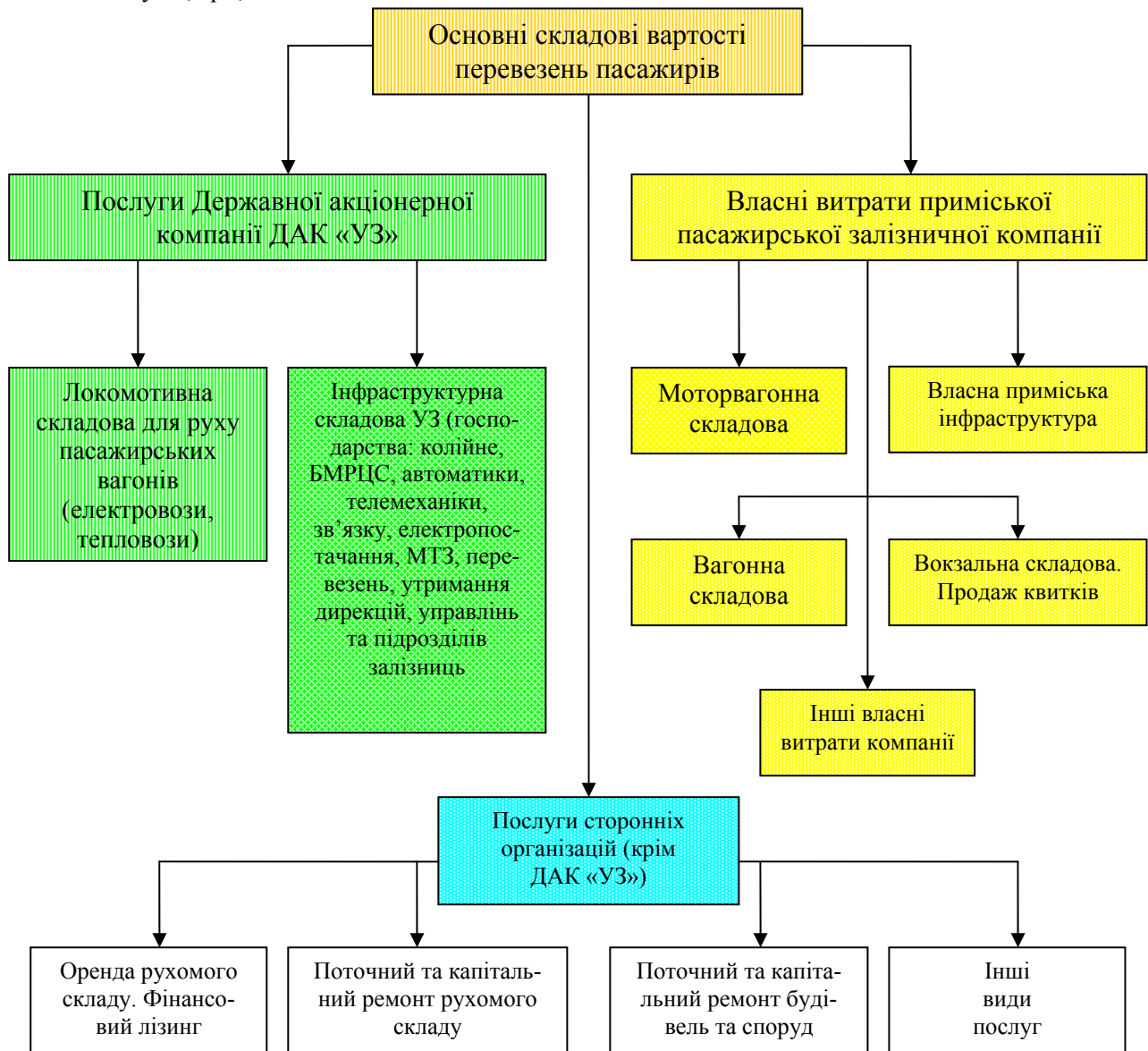


Рис. 1. Основні частини побудови тарифів на перевезення пасажирів у приміському сполученні

$$\text{ПСО} = \text{П}_{оррс} + \text{П}_{ррс} + \text{П}_{рбс} + \text{П}_i, \quad (4)$$

де $\text{П}_{оррс}$ – витрати на оренду рухомого складу за різними договорами, грн;

$\text{П}_{ррс}$ – витрати на поточний та капітальний ремонт власного рухомого складу, грн;

$\text{П}_{рбс}$ – витрати на поточний та капітальний ремонт інших будівель та споруд, що не увійш-

ли до складу власної пасажирської інфраструктури, грн;

Π_i – інші витрати (крім витрат другої групи).

В свою чергу, кожен із складових формул (2) – (4) слід поділити на початкову-кінцеву та рухому операції та згрупувати за окремими вимірниками витрат, які є загальними для даної групи.

Висновки

В роботі запропоновано новий теоретико-методичний підхід до визначення витрат окремого приміського пасажирського поїзду з урахуванням виду рухомого складу, категорії поїзда за швидкістю, рівнем комфорту та класності вагонів, що дозволило визначити його збитковість та надати пропозиції стосовно зниження

собівартості перевезень на певному напрямку руху.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Номенклатура витрат з основних видів економічної діяльності залізничного транспорту України [Текст] / Офіційно-практичне видання. – Вид-во ТОВ «Інпрес». – К.: Мін-во транспорту та зв'язку України, Укрзалізниця, 2008. – 414 с.
2. Витрати галузевих господарств за видами перевезень, економічними елементами та статтями витрат за фактичними показниками [Текст] / Матеріали Укрзалізниці. – К.: Укрзалізниця, 2010.

Надійшла до редколегії 12.01.2011.

Прийнята до друку 17.01.2011

УДОСКОНАЛЕННЯ ФІНАНСОВОГО КОНТРОЛЮ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

В даній статті проаналізовано доцільність фінансового контролю на металургійних підприємствах, а також визначено проблемні фактори, вирішення яких може призвести до підвищення ефективності роботи металургійних підприємств.

Ключові слова: удосконалення фінансового контролю, металургійне підприємство, підвищення ефективності роботи

В данной статье проанализирована целесообразность финансового контроля на металлургических предприятиях, а также определены проблемные факторы, решение которых может привести к повышению эффективности работы металлургических предприятий.

Ключевые слова: усовершенствование финансового контроля, металлургическое предприятие, повышение эффективности работы

In this article we analyze the expediency of the financial control at metallurgical enterprises. The problem factors, the solution of which can result in increasing the operational efficiency of metallurgical enterprises are also defined.

Keywords: financial control improvement, metallurgical enterprise, increase of operational efficiency

У сучасних умовах економічного розвитку питання підвищення ефективності та конкурентоспроможності промислових підприємств є предметом наукового дослідження зарубіжних та вітчизняних науковців. Дослідженням у цьому напрямі присвячені теоретичні та науково-прикладні розробки таких російських вчених як В. Бочаров, А. Фісун, Н. Хрущ, Д. Черваньов, В. Швандар, А. Шеремет, а також українських науковців О. Алімова, О. Амоші, І. Александрова, Р. Бриля, А. Гальчинського, М. Герасимчука, Б. Губського, Б. Кваснюка, Е. Лібанової, Л. Лігоненко, І. Лукінова, Ю. Макогона, О. Манойленка, В. Онікієнка, А. Ткаченка, Л. Федулової, Я. Жаліло. Питанням розвитку металургійних підприємств в Україні присвячено ряд статей вітчизняних вчених Ю. Адно, В. Волкова, М. Губи, М. Гулі, С. Дорогунцова, О. Крещенка, О. Кленіна, Т. Логутової, В. Майорченка, Д. Стеценка, І. Феофанової, Ю. Чентухова.

Зазначимо, що у контексті сучасної економічної кризи удосконалення контролю на металургійних підприємствах України набуває особливої актуальності.

У даний час перед підприємствами України стоять задачі підвищення своєї конкурентоздатності, стабільності та стійкості в умовах, що постійно змінюються. Важливу роль у рішенні цих задач повинні відіграти розробка та впровадження нових форм і методів управління підприємством. Особливого значення набуває фінансовий менеджмент, однією з найважливіших функцій якого є фінансовий контроль.

Відомо, що промисловий потенціал гірничо-металургійного комплексу України є фундаментним елементом економіки держави. Металургія, гірничо-металургійний комплекс (ГМК) здійснює основний внесок до бюджету, забезпечуючи понад 40 % надходжень валюти в країну [1]. Майже 30 % становить його частина у валовому внутрішньому продукті. На металургійну промисловість спирається енергетика, машинобудування, будівництво, фінансова сфера. Підприємства ГМК забезпечують робочі місця в найбільш густонаселених регіонах країни. Ресурсний потенціал гірничо-металургійного комплексу України визначається наявними покладами залізної (четверте місце у світі) і марганцевої руд, вугілля, вапняків, тобто основних сировинних матеріалів для виробництва металу. За обсягами виробництва металургійна промисловість України посідає сьоме місце у світі [1]. Отже, можна зробити висновок, що ефективна діяльність металургійного комплексу, який складається більшою мірою з чорної, а також кольорової металургії, є значним фактором економічного розвитку України.

Проте, світова фінансова криза суттєво вплинула на розвиток гірничо-металургійного комплексу України. Різке зниження світового попиту і падіння цін на світових товарних ринках призвели до значного падіння обсягів української зовнішньої торгівлі товарами.

Проте, світова фінансова криза суттєво вплинула на розвиток гірничо-металургійного комплексу України. Різке зниження світового попиту і падіння цін на світових товарних ринках призвели до значного падіння обсягів української зовнішньої торгівлі товарами.

Сучасний стан металургійного комплексу України характеризується технологічним відставанням у порівнянні з розвинутими країнами Європи та світу. Чорна металургія України відстає від світового рівня з багатьох причин, найважливішими з яких є низька інноваційність, енергоємність та недосконалий фінансовий контроль.

Слід відмітити, що в Україні на одиницю продукції витрачається в 3 рази більше енергетичних ресурсів, ніж в індустріально розвинених країнах світу, що робить продукцію металургійної галузі обмежено конкурентоздатною на світовому ринку, обсяги її реалізації обмежуються в основному потребами внутрішнього ринку.

На потреби промисловості витрачається близько 60 % всіх паливно-енергетичних ресурсів країни (табл. 1).

Таблиця 1

Споживання паливно-енергетичних ресурсів на металургійних підприємствах гірничо-металургійного комплексу України у 2006-2007 рр.

Види паливно-енергетичних ресурсів	Роки		
	2006	2007	2008
1. Коксова продукція, млн т у.п.	17,54	19,24	20,31
2. Газ природний, млн т у.п.	7,60	8,34	8,70
3. Газ доменний, млн т у.п.	6,99	7,60	7,80
4. Газ коксовий, млн т у.п.	1,70	1,87	2,10
5. Мазут, млн т у.п.	0,21	0,20	0,23
6. Вугілля, млн т у.п.	1,87	1,52	1,81
7. Електроенергія, млрд кВт·год	17,32	17,93	18,07

Проблеми енергозбереження в чорній металургії є загальнодержавним завданням. Її вирішення включає технологічні, енергетичні, організаційно-технічні і фінансово-економічні заходи.

Проте, ці заходи, що передбачені прийнятими законодавчими актами майже не працюють. Закони передбачають фінансову підтримку проектів і програм енергозбереження для підприємств, які активно використовують вторинні енергоресурси, шляхом надання податкових пільг, але фактичний стан справ не відповідає вимогам нормативних документів. Регіональні програми підвищення ефективності викорис-

тання енергії розроблені частково, фінансування програм з бюджету спостерігається тільки в окремих регіонах. Податкові пільги, направлені на надання допомоги в реалізації програм в Україні не діють.

Відомо, щоб успішно вести господарство, забезпечити виконання виробничих і фінансових завдань, необхідний систематичний контроль за реалізацією продукції, запасами товарно-матеріальних цінностей, їх обігом, правильності використання власних оборотних засобів, позик банку і своєчасності надходження передбачених доходів.

В процесі фінансового контролю здійснюється перевірка виконання господарських і фінансових планів-прогнозів, дотримання режиму економії, стану збереження власності, раціональності і ефективності використання засобів, які є в господарстві, а також здійснюється контроль за витратами, основними задачами якого є зниження собівартості продукції, підвищення рентабельності господарської діяльності.

Для забезпечення ефективного управління металургійним підприємством та його інноваційного розвитку необхідно мати достовірну інформацію про витрати діяльності. Оптимізація організації обліку витрат дасть можливість скласти обґрунтовані прогнози і плани, та значно скоротити потік інформації. Це дасть змогу спрямувати більше ресурсів на аналітичну роботу та пошук кращих шляхів розвитку підприємства, у тому числі шляхом упровадження нових технологій.

На сучасному етапі планування і прогнозування витрат на металургійних підприємствах має здійснюватися на основі комплексного аналізу та пошуку шляхів найбільш ефективного соціально-економічного розвитку всього підприємства. Зміни у чинних нормативно-правових актах (у тому числі з питань оподаткування, обліку, державних стандартів) та коливання світової кон'юнктури як на саму продукцію підприємств, так і на ресурси (газ, електроенергія, технологічні домішки) призводять до того, що планувати діяльність підприємства, навіть на короткостроковий період стає для підприємств важким випробуванням. Ускладнює проблему і відсутність повної та вичерпної офіційної статистичної інформації щодо існуючого економічного стану та можливостей розвитку окремого регіону, галузі. Важливим завданням у системі управління витратами для металургійних підприємств є активізація впровадження наукових знань та передових інноваційних технологій у виробництво.

Крім того, для ефективного функціонування підприємства необхідно проводити систематичний контроль за надходженням виробничих запасів.

Щоб охарактеризувати рух товарів, необхідно використати наступну формулу, яку називають балансом товарообігу (1):

$$З_{\text{п}} + Н = Р + П + В + З_{\text{к}}, \quad (1)$$

де $З_{\text{п}}$ – товарні запаси на початок досліджуваного періоду;

$Н$ – надходження товару;

$Р$ – товарообіг;

$П$ – товарні втрати у зв'язку з їх природнім зменшенням;

$В$ – інші причини вибуття;

$З_{\text{к}}$ – товарні запаси на кінець періоду.

Актуальність проблеми ефективного управління надходженням виробничих запасів обумовлена тим, що стан постачання впливає на конкурентоспроможність підприємства, його фінансовий стан і фінансові результати. Ефективне управління матеріальними запасами є важливим чинником підвищення ефективності функціонування підприємства.

Політика управління запасами є частиною загальної політики управління оборотними активами металургійного підприємства, що складає оптимізацію загального розміру й структури запасів товарно-матеріальних цінностей, мінімізацію витрат обслуговування й забезпечення ефективного контролю за їхнім рухом.

Проте, на даний час не вирішеним залишається питання оцінки ефективності впровадження й застосування принципів закупівельної логістики на металургійних підприємствах.

Наявність оптимальних запасів на підприємстві, яке можна забезпечити шляхом організації управління й контролю за потоками матеріальних і фінансових ресурсів, за станом і рівнем запасів дозволяє підприємству безперебійно функціонувати. Необхідний (оптимальний) розмір залишків запасів для забезпечення найбільш ефективної господарської діяльності визначається шляхом їх нормування (розрахунку нормативу). Нормативний розмір залишків виробничих запасів, які тимчасово не беруть участі в господарській діяльності, а забезпечують її безперервне ритмічне здійснення, визначається шляхом множення середньодобового їх споживання на підприємстві (у натуральному або вартісному виразі) на норму запасу в днях (2):

$$З = О \cdot Д, \quad (2)$$

де $З$ – норматив залишків виробничих запасів;

$О$ – середньодобове використання виробничих запасів підприємством;

$Д$ – кількість днів роботи підприємства, що забезпечуються нормативним залишком виробничих запасів.

Досягнення високої конкурентоспроможності можливе завдяки структурній перебудові українських металургійних компаній та впровадження державних механізмів щодо підвищення рівня внутрішнього ринку металопродукції.

Структурна перебудова української металургійної промисловості дозволить забезпечити її подальший розвиток, підвищення конкурентоспроможності металургійної продукції, і, як наслідок, усунення перешкод і труднощів збуту цієї продукції на зовнішніх та внутрішньому ринках і розширення участі в міжнародному економічному обміні.

Усунення викривлень в інформації та забезпечення ефективної роботи системи фінансового контролю на промисловому підприємстві вимагає здійснення його функцій в їхній послідовності та взаємозв'язках, для чого необхідна розробка методики проведення фінансового контролю за його основними елементами.

Причини викривлень інформації в системі фінансового контролю багаточисельні та різноманітні й вимагають вивчення та систематизації для створення умов їхнього попередження.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Голубченко, А. Морфологія і генезис гірничо-металургійного комплексу України [Електрон. ресурс] / А. Голубченко, А. Мазур. – Режим доступу: <http://www.dt.ua/newspaper/articles/49532>
2. Губа, М. А. Шляхи оптимізації енергоспоживання у металургійній галузі [Електрон. ресурс] / М. А. Губа, В. П. Волков. – Режим доступу: http://www.confcontact.com/2007may/3_guba.htm
3. Загорська, Т. П. Ринок металопродукції і розвиток гірничо-металургійного комплексу України [Текст] / Т. П. Загорська // Економіка і прогнозування. – 2005. – № 4. – С. 95-106.
4. Крещенко, О. В. Підвищення ефективності системи управління з питань здійснення постачання на металургійних підприємствах [Електрон. ресурс] / О. В. Крещенко. – 2009. – Режим доступу: <http://www.univer.km.ua/visnyk/1212.pdf>
5. Любич, Б. Б. Зовнішньоекономічна діяльність металургійних підприємств в умовах світової фінансової кризи [Електрон. ресурс] / Б. Б. Любич. – 2008. – Режим доступу: <http://manved.at.ua/publ/2-1-0-4>
6. Экономические проблемы черной металлургии Украины [Текст] : монография / под общ. ред. С. С. Аптекаря, А. И. Амоши. – Донецк: ДонГУЭТ, 2005. – 383 с.

Надійшла до редколегії 20.01.2011.

Прийнята до друку 24.01.2011.

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ

Розглянуто теоретичні підходи щодо адаптації організаційно-виробничої структури до ринкових умов. Розроблено практичні рекомендації щодо посилення конкурентоспроможності залізничного транспорту в умовах ринкового середовища.

Ключові слова: залізничний транспорт України, реструктуризація, посилення конкурентоспроможності

Рассмотрены теоретические подходы адаптации организационно-производственной структуры к условиям рыночных отношений. Разработаны практические рекомендации по усилению конкурентоспособности железнодорожного транспорта в условиях рыночной среды.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт Украины, реструктуризація, усиление конкурентоспособности

The theoretical approaches on adaptation of organization-and-production structure to market conditions are considered. The practical recommendations to enhance the competitiveness of railway transport in the market environment are developed.

Keywords: railway transport in Ukraine, restructurization, improvement of competitiveness

Постановка проблеми та її зв'язки з науковими чи практичними завданнями

Найважливішою сучасною проблемою залізничного транспорту України є підвищення його конкурентоспроможності на ринку транспортних послуг. Світ змінюється, на ринок виходять нові конкурентні сили. Проте, галузь залізничного транспорту не зазнає суттєвих змін, які б забезпечили їй конкурентне позиціонування на ринку транспортних послуг. Різкий спад суспільного виробництва в Україні в період кризової ситуації викликав значне скорочення обсягів перевезень на залізничному транспорті. Ситуацію найбільш загострила нинішня світова фінансово-економічна криза, що негативно вплинула на функціонування галузі. Тому виникла необхідність пошуку шляхів підвищення ефективності діяльності залізничного транспорту. Адже, ефективне функціонування залізничної галузі пов'язане з удосконаленням його організаційної структури, з оновленням основних виробничих фондів та рухомого складу; впровадженням нових технологій; наданням нових видів послуг і захопленням нових секторів транспортного ринку; підвищенням прибутковості за рахунок перевезень вантажів і пасажирів та інтегруванням до європейської транспортної системи. Для відновлення позицій залізниць необхідна чітка державна політика, а задля її реального втілення доцільно створити відповідні умови. Отже, для досягнення максимального очікуваного ефекту з метою вирішення проблеми забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту необхідними є

рішення на основі принципу комплексного і системного підходу.

Аналіз останніх досліджень та виділення невирішених частин загальної проблеми

Проблемам конкурентоспроможності, реструктуризації та реформування залізничного транспорту присвячено ряд досліджень вітчизняних і закордонних фахівців. Насамперед слід згадати праці Бараша Ю. С., Бабича В. П., Дейнеки О. Г., Диканя В. Л., Кулаєва Ю. Ф., Левицького І. Ю., Пасічника В. І., Позднякової Л. О., Сича Е. М., Смаглія А. А., Федюшина Ю. М., Цвєтова Ю. М., Чигарова П. Г., Чередниченко О. Ю. та інших. У роботах цих вчених розкрито теоретичні і практичні аспекти щодо реформування залізничного транспорту, а саме: проблеми вдосконалення організаційно-виробничої структури залізничного транспорту, відокремлення інфраструктури від процесу перевезень; створення умов для розвитку внутрішньогалузевої конкуренції; введення гнучких тарифів, підвищення інвестиційної привабливості галузі тощо. Але незважаючи на значний вклад вищезазначених фахівців у сучасну науку, основні завдання, які пов'язані з реструктуризацією залізничної галузі, до цих пір є надзвичайно проблемними та недостатньо вирішеними. Враховуючи досвід перетворень транспортної галузі в різних країнах, можна прийняти до висновку, що підвищення ефективності роботи залізничного транспорту можливо досягнути лише за рахунок удосконален-

ня його організаційної структури управління. В умовах сучасної ринкової економіки подальший розвиток залізничного транспорту вимагає негайного підвищення якості надаваних послуг та конкурентоспроможності серед різних видів транспорту. У зв'язку з цим **метою статті** є визначення оптимальних шляхів щодо проведення структурних змін з урахуванням досвіду провідних країн, визначення механізмів їх впровадження з метою підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту в умовах економічного зростання в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження

У сучасних умовах ринкової економіки та динамічних змін стає очевидним, що будь-яке підприємство або галузь для виживання та збереження конкурентоспроможності повинні постійно корегувати свою діяльність з урахуванням вимог зовнішнього середовища. Це пов'язано з тим, що зміна факторів зовнішнього середовища може призвести до виникнення певного дисбалансу між підприємством та середовищем і спричинити необхідність адаптації підприємства. У зв'язку з цим, воно має володіти здатністю своєчасно проводити адекватні зміни. Такі зміни на підприємстві можуть бути здійснені за допомогою реструктуризації [1].

Комплекс реорганізаційних заходів на підприємстві, які мають на меті не лише вихід його з кризи, але і забезпечення подальшого розвитку, називають процесом реструктуризації. Реструктуризація, як правило, включає в себе структурні зміни на підприємстві, що пов'язані із зміною стратегії, змінами у асортименті продукції або послуг, тощо, але не можна розуміти реструктуризацію лише як зміну оргструктури, або поділ підприємства. Дуже часто поділ підприємства на окремі господарські суб'єкти або виділення самостійних підприємств не лише не підвищує конкурентоздатність підприємства, товару або послуги, а навпаки, має негативні наслідки і може призвести до банкрутства. Тому будь-які зміни на підприємстві мають відбуватися не стихійно, а згідно раніше розробленого плану. Зміни, які здійснюються в рамках реструктуризації, зачіпають основи його діяльності і тому мають знаходити відображення в стратегічних планах підприємства, конкретизуючись через систему тактичних і оперативних планів. Отже, при проведенні перетворень необхідне проходження принципу плановості.

Комплексне оздоровлення або реструктуризація підприємства є комплексною інновацією, що спрямована на оптимізацію всіх функцій підприємства, забезпечення досягнення більшого економічного ефекта підприємством [2].

Зростання добробуту населення дає більше варіантів для здійснення транспортних сполучень, що повинні відрізнятися більшою швидкістю та якістю обслуговування пасажирів. Разом з тим, глобалізовані ринки визначають нові транспортні рішення, чинячи тиск на всі види транспорту і зменшуючи можливості урядів в частині контролю за темпами змін. Реформи на залізничному транспорті (зміни структурні, форм власності і методів управління) стали наслідком цих процесів. Потенційні конкурентні переваги залізниць визначаються їх можливістю здійснювати цілорічно регулярний рух, перевозити основну частину потоків масових вантажів і забезпечувати мобільність трудових ресурсів. Особливе значення залізниць визначається також великими відстанями перевезень, віддаленістю місць виробництва основних сировинних ресурсів від пунктів їх споживання і морських портів. Таким чином, залізничний транспорт є важливою складовою єдиної транспортної системи України, а його продукція у вигляді перевізного процесу домінує в цілому у транспортній системі.

Аналіз проблем, що виникли у сфері залізничного транспорту, дозволив виявити моменти, які є критичними для умов подальшого соціально-економічного зростання країни:

- необхідність прискореного оновлення основних фондів залізничного транспорту;
- подолання технічного і технологічного відставання від передових країн світу за рівнем залізничної техніки;
- необхідність поліпшення транспортної забезпеченості регіонів і розвитку пропускних спроможностей залізничних ліній;
- необхідність зняття обмежень для зростання обсягів транзитних вантажних перевезень;
- необхідність підвищення безпеки функціонування залізничного транспорту;
- недостатність інвестиційних ресурсів.

Реструктуризація спрямована на поліпшення якості транспортного обслуговування користувачів, підвищення ефективності перевезень і зменшення безпосередньої участі держави в транспортній діяльності та скорочення монопольного сектору [3].

Як вже зазначалось вище, досвід реструктуризації залізничного транспорту економічно

розвинутих країн світу показує, що в усіх країнах спостерігаються практично однакові підходи щодо реформування залізничної галузі. Процеси реструктуризації здійснюються на засадах, що типові для усіх країн з ринковою економікою: відокремлення управління інфраструктурою залізниць від комерційної роботи, сприяння розвитку недержавних структур в залізничному транспорті, створення комерційних компаній – перевізників, створення умов для розвитку внутрішньогалузевого конкурентного середовища [4].

Реформування прийнято починати з верхніх рівнів управління, і залізничний транспорт тут не виняток. По-перше, необхідно підвищити відповідальність і розширити права начальників доріг, пов'язані з координацією діяльності філій компанії на ввірених їм полігонах мережі. Це дозволить уникнути суб'єктивізму в прийнятті рішень. Нова оптимізована організаційна структура компанії буде побудована, з одного боку, на ринкових принципах, а з іншого - повністю відповідати особливостям управління залізничною галуззю. Зокрема, необхідно відокремити позиції головного інженера залізничної мережі, що відповідає за вироблення науково-технічних програм розвитку, збалансований розвиток елементів інфраструктури мережі та її підтримки на високому технічному рівні [5].

По-друге, необхідно уточнення позиціонування компанії на транспортному ринку, а також удосконалення системи роботи з клієнтами. Клієнтоорієнтованість сьогодні є найважливішим чинником успішності бізнесу. Приватні оператори активно просувають свої послуги на ринку, оскільки розуміють потреби клієнтів і краще можуть їх задовольняти. Виходить, що, працюючи на одній і тій же технологічній основі та інфраструктурі, залізниці поступаються незалежним операторам саме в роботі з клієнтами. Щоб уникнути цього є необхідність запровадити диференційований підхід до клієнтів, ввести в практику різні класи послуг, підпорядкувати всю технологію перевізної діяльності задоволенню інтересів пасажирів. Вийти на ринок з інтегрованими транспортними послугами, розширити географію свого впливу за межі залізничної інфраструктури – ось вирішення цієї проблеми.

Висновки

Таким чином, прогресивне мислення, зміна статусу залізничної галузі, модернізація рухомого складу та раціоналізація перевізного процесу є перспективними напрямками розвитку послуг залізничного транспорту на європейському ринку. Але попри всі намагання залізничників, урятувати галузь без допомоги держави не вдасться. Перехід від одного етапу реструктуризації до наступного повинен відбуватися лише за умов створення відповідних технічних, економічних та соціальних передумов.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аистова, М. Д. Реструктуризация предприятий: вопросы управления. Стратегии, координация структурных параметров, снижение сопротивления преобразованиям [Текст] / М. Д. Аистова. – М.: Альпина Паблишер, 2002. – 287 с.
2. Томпсон, Л. Варианты неизбежных реформ [Текст] / Л. Томпсон // Железные дороги мира. – 2005. – № 7. – С. 419-423.
3. Бараш, Ю. С. Основные направления структурной реформы железнодорожного транспорта [Текст] / Ю. С. Бараш // Заліз. трансп. України. – 2004. – № 2. – С. 76.
4. Аннален, Г. Железные дороги Словении – реструктуризация и стратегия [Текст] / Г. Аннален // Железные дороги мира. – 2005. – № 6/7. – С. 257-262.
5. Субботин, А. С. Методика повышения конкурентоспособности предприятия [Текст] / А. С. Субботин, С. Е. Васильев, И. С. Любимов // Проблемы современной экономики. – 2009. – № 3 (31).
6. Никулина, Е. В. Совершенствование организационной структуры управления железнодорожным транспортом Украины [Текст] / Е. В. Никулина // Вісник Харківського нац. ун-ту. Екон. сер. – 2000. - № 479. – С. 355-360.
7. Нікуліна, О. В. Тенденції реструктуризації залізничного транспорту провідних країн Європи [Текст] / О. В. Нікуліна // Вісник Харківського нац. ун-ту. Екон. сер. – 2001. - № 502. – С. 153-158.
8. Чернявский, Ю. М. Формирование механизма реструктуризации с целью повышения эффективности и конкурентоспособности [Текст] / Ю. М. Чернявский. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2002. – 141 с.

Надійшла до редколегії: 20.05.2010.

Прийнята до друку 21.10.2010.

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ЩОДО РОЗРОБКИ АЛГОРИТМУ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ

Встановлено, що початковим етапом реструктуризації є діагностика підприємства, за результатами якої приймається рішення щодо розробки алгоритму структурних перетворень. Організаційно-управлінський аналіз є важливою складовою діагностики і направлений на виявлення методів і принципів системи управління підприємством. Результати проведеного організаційного аналізу дозволяють встановити проблемні зони і вузькі місця в системі стратегічного управління залізницями України в цілому і в окремих напрямках їх господарської діяльності.

Ключові слова: реформування, реструктуризація, діагностика, організаційний аналіз, структура управління

Установлено, что начальным этапом реструктуризации является диагностика предприятия, по результатам которой принимаются решения о разработке алгоритма структурных преобразований. Организационно-управленческий анализ является важной составляющей диагностики и направлен на выявление методов и принципов управления предприятием. Результаты проведенного организационного анализа позволяют установить проблемные зоны и узкие места в системе стратегического управления железными дорогами в целом и в отдельных направлениях хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: реформирование, реструктуризация, диагностика, организационный анализ, структура управления

It was established that the initial stage of reorganization is to run diagnostics of the enterprise, under which a decision on development of an algorithm for structural transformations shall be made. Organizational and management analysis is an important component of diagnostics and is aimed at defining the methods and principles for the enterprise management system. The results of the carried out organizational analysis allow defining the problems and «bottle necks» in the system of strategic management of Ukrainian railways as a whole and in different directions of their economic activities.

Keywords: reforming, restructurisation, diagnostics, organizational analysis, management structure

Реформи залізничного транспорту які здійснюються у країнах світу проходять перш за все під впливом симптомів неблагополуччя у галузі.

Симптоми неблагополуччя, поява яких змушує власника прийняти рішення про реформування суб'єкта господарювання, самі по собі не дають можливості «поставити діагноз» і вибрати необхідний напрямок реструктуризації. Для прийняття рішення щодо впровадження тих або інших засобів реструктуризації необхідна детальна діагностика підприємства. З метою вирішення даної задачі авторам статті пропонується виділити три площини інформації про підприємство (рис. 1).

Важливим моментом є розробка антологічної схеми, за допомогою якої визначаються області, у яких необхідно проводити дослідження щоб отримати відповідну інформацію про підприємство (рис. 2).

Далі необхідно визначити відповідність параметрів складових антологічної схеми вітчизняним та європейським стандартам (рухомого складу, інфраструктури, інших основних захо-

дів), ефективність організації перевезень, а також рівень задоволення у перевезеннях.

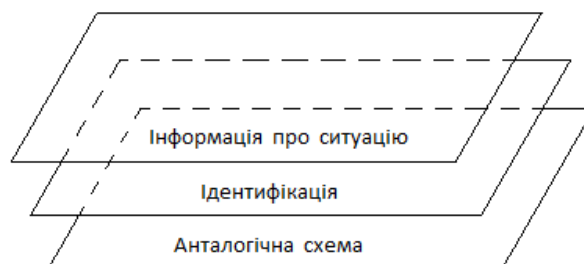


Рис. 1. Структура інформації про підприємство

Інформація про ситуацію містить відповідні дані про фінансовий ефективний стан підприємства, вплив зовнішніх факторів і податкової політики, нормативно-правової бази, конкурентного середовища, політичного фактору, тощо.

Таким чином, розглянута схема визначає наступні об'єкти діагностики: виробничо-господарський, фінансово-економічний, організаційно-управлінський та зовнішньоекономічний.

де $Ч_{\text{пос}}$ – кількість формалізованих посад;

$Ч_3$ – загальна кількість посад згідно штатного розкладу;

2) показник складності системи управління:

$$K_{\text{ск}} = Ч_{\text{д}} / Ч,$$

де $Ч_{\text{д}}$ – кількість посад; $Ч$ – загальна кількість робітників підприємства.

Вітчизняний дослідник організаційних структур – Мартиненко М. М. – запропонував

використовувати інші показники щодо організаційного аналізу об'єктів, які враховують трудомісткість задач (відносні показники та коефіцієнти). Правда, слід зазначити, що його методика розрахунку може стосуватися для будь-якого промислового підприємства, а не експлуатаційної діяльності залізниць. Певні проблеми при цьому пов'язані з розрахунком показника трудомісткості діяльності залізниць України.

Таблиця 1

Показники здійснення організаційного аналізу системи управління залізницями України

Показники	Формула	Позначення, що застосовуються у формулі
1. Структурний коефіцієнт централізації функцій управління залізницями	$K_{\text{сц}} = N_{\text{цп}} / N_{\text{зп}}$	$N_{\text{цп}}$ – кількість залізниць, що управляються з єдиного центру; $N_{\text{зп}}$ – загальна кількість структурних підрозділів в межах залізниць України.
2. Кількісний коефіцієнт централізації діяльності	$K_{\text{кц}} = N_{\text{цч}} / N_{\text{зч}}$	$N_{\text{цч}}$ – чисельність робітників залізниць що управляються з єдиного центру; $N_{\text{зч}}$ – загальна кількість робітників в межах залізниць.
3. Коефіцієнт централізації системи управління	$K_{\text{цу}} = N_{\text{цу}} / N_{\text{уз}}$	$N_{\text{цу}}$ – кількість робітників центрального управління (апарату управління залізницями); $N_{\text{уз}}$ – загальна кількість робітників управління (в цілому в залізничному транспорті).
4. Коефіцієнт централізації окремих функцій	$K_{\text{ц}} = T_{\text{п}} / (T_{\text{п}} + T_{\text{ц}})$	$T_{\text{п}}$ – витрати праці робітників апарату управління по даній функції в люд.-днях; $T_{\text{ц}}$ – сумарні витрати праці в люд.-днях.
5. Коефіцієнт структурної напруженості	$K_{\text{сн}} = N / d$	N – загальна кількість підрозділів, що підлегли апарату управління в залізничному транспорті; d – питома вага робітників апарату управління від загальної кількості працівників.
6. Коефіцієнт збереження норм керованості	$K_{\text{кер}} = Ч_{\text{ф}} / Ч_{\text{н}}$	$Ч_{\text{ф}}$, $Ч_{\text{н}}$ – фактична та нормативна чисельність робітників, що підлегли одному керівнику.
7. Швидкість реагування системи управління залізницями на виконання завдань її структурними елементами	$K_{\text{шв}} = (2 \cdot PY_3) / \left(OP_3 \cdot \sum_{i=1}^k \frac{1}{K_i} \right)$	PY_3 – кількість рівнів управління в залізниці; OP_3 – загальний обсяг робіт приведеної роботи (прив. т-км); K_i – кількість керівників на i -у рівні в залізниці.

Тому для проведення організаційного аналізу ефективності функціонування та результати-

вності створених залізниць України ОСУ автором статті пропонується методика, яка відрі-

няється від існуючих тим, що враховує показники, які використовуються чи можуть бути використані саме для організаційного аналізу системи управління залізничним транспортом. Відтак, встановимо кількісний коефіцієнт централізації, коефіцієнт централізації окремих функцій, коефіцієнт збереження норм керованості (ці коефіцієнти наведено у табл. 1) можна розрахувати як в цілому по Укрзалізниці, так і для окремої залізниці. Наведена в табл. 1 система показників оцінки ОСУ залізницями України неповна, в узагальненому вигляді характе-

ризує структуру управління залізницями. Здійснення організаційного аналізу за представленою системою показників не дає однозначної відповіді про раціональність та ефективність вибраної ОСУ.

Саме тому ми пропонуємо проводити організаційний аналіз діяльності залізниць для здійснення оптимального реформування, спираючись не лише на вищеперераховані показники, але й на послідовну реалізацію етапів комплексного організаційного аналізу ще й структури апарату управління (табл. 2).

Таблиця 2

Основні етапи організаційного аналізу залізниць України

Показник	Розрахунок показника
Тип інтеграції	Вертикальна
Вид ОСУ	Дивізіонна
Кількість ступенів управління	$C_y = 4$
Середньоспиксова чисельність	Q_{cc} – згідно штатних розкладів за схемою ОСУ
Чисельність апарату управління Центральний	Q_{ay} – згідно штатного розкладу Укрзалізниці
Залізниць	Q_{az} – згідно штатних розкладів залізниць
Кількість структурних підрозділів	n_{cn} – розраховується за схемою ОСУ
Середньоспиксова чисельність структурних підрозділів	Q_{cn} – згідно штатних розкладів структурних підрозділів
Чисельність апарату структурних підрозділів	$Q_{асп}$ – згідно штатним розкладам структурних підрозділів
Середньомісячна заробітна плата у апараті управління	Z_{ayp} – звітні дані за відповідний період
Середня кількість апарату управління (центрального та залізниць на 1 структурний підрозділ)	$Q_{py} = \frac{Q_{ayp}}{n_{cn}}$
Середня кількість апарату (всього) на 1 працюючого	$Q_{pn} = \frac{Q_{ayp} + Q_{асп}}{Q_{cn}}$
Коефіцієнт керованості	$K_{кер} = \frac{1}{z} \cdot \sum_1^z \frac{p^o ki}{p^H ki}$
Річні витрати на утримання апарату управління	Результати ОСУ

Відтак, саме за результатами проведення організаційного аналізу ОСУ необхідно встановити проблемні зони та вузькі місця в системі стратегічного управління залізницями України в цілому та при управлінні їх реформуванням, зокрема. В результаті чого потрібно здійснити оцінку існуючих параметрів розвитку Укрзалізниці та імовірнісну (тобто прогнозу) – організаційно-управлінського потенціалу майбутнього складу та ОСУ суб'єкта господарювання, Укрзалізниці.

Тільки після ретельно здійсненого організаційно-управлінського аналізу ієрархічних структур здійснюється послідовність реалізації та основа методичних підходів; склад методів та засобів проведення реорганізації, а, виходячи також із поставлених цілей розвитку – обґрунтувати комплекс пріоритетних реструктуризаційних заходів на залізницях України.

Підкреслимо, що реформування залізниць України на основі регіоналізації транспортного обслуговування та запропонований автором

статті перехід на трирівневе управління залізницями, суть якого полягає у створенні регіональних підприємств залізничних перевезень замість існуючих нині залізниць та дирекцій залізничних перевезень [7], дають можливість скоротити загальну чисельність апарату управ-

ління залізниць на 2650 чол., в т.ч. центральний апарат управління – на 235 чол., апарат залізниць – на 2145 чол. При цьому підвищується коефіцієнт керованості з 0,23 до 0,30 та забезпечується річна економія заробітної плати в сумі 198750 тис. грн.

Таблиця 3

Результати організаційного аналізу структури управління залізницями України

Показник	Розрахунок показника
Тип інтеграції	Вертикальна
Вид ОСУ	Дивізійна
Кількість ступенів управління	$C_y = 4$
Середньоспикова чисельність	$Ч_{cc} = 364189$ чол.
Чисельність апарату управління Центральний	$Ч_{ay} = 810$ чол.
Залізниць	$Ч_{az} = 7283$ чол.
Кількість структурних підрозділів	$n_{сп} = 646$
Середньоспикова чисельність структурних підрозділів	$Ч_{сп} = 351896$ чол.
Чисельність апарату структурних підрозділів	$Ч_{асп} = 28487$ чол.
Середньомісячна заробітна плата у апараті управління	$З_{ауп} = 6250$ грн.
Середня кількість апарату управління (центрального та залізниць на 1 структурний підрозділ)	$Ч_{py} = \frac{8093}{646} = 12,53$ чол.
Середня кількість апарату (всього) на 1 працюючого	$Ч_{rp} = \frac{8093 + 28487}{351896} = 0,1$ чол.
Коефіцієнт керованості	$K_{кер} = \frac{1}{4} \cdot \frac{40}{44} = 0,23$
Річні витрати на утримання апарату управління	$B_{ап}^{річ} = (8093 + 28487) \cdot 6250 \cdot 12 = 2743,5$ млн грн

Відтак, зазначимо, що діагностика ОСУ суб'єктів господарювання із застосуванням такого інструментарію, як SWOT-аналіз, фінансово-економічний та організаційний аналізи дозволяють здійснити об'єктивну оцінку результативності їх функціонування та визначити організаційні проблеми щодо впровадження процесу реструктуризації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Мазур, И. И. Реструктуризация предприятий и компаний [Текст] : учебник для вузов / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро. – М.: ЗАО «Изд-во «Экономика», 2001. – 456 с. (Современное бизнес-образование).
2. Ігнат'єва, І. А. Стратегічний менеджмент: теорія, методологія, практика [Текст] : монографія / І. А. Ігнат'єва. – К.: Знання України, 2005. – 250 с.

3. Мартиненко, М. М. Основи менеджменту [Текст] : підручник / М. М. Мартиненко. – К.: Каравела, 2005. – 496 с.
4. Барінов, В. А. Организационное проектирование [Текст] : учебник для программы MBA / В. А. Барінов. – М.: ИНФА-М, 2005. – 399 с.
5. Масютин, С. А. Корпоративное управление: опыт и проблемы [Текст] / С. А. Масютин. – М.: ООО «Финтатинформ», 2003. – 280 с.
6. Алімов, О. М. Балансування стратегій в стратегічному наборі підприємств [Текст] / О. М. Алімов, І. А. Ігнат'єва // Актуальні проблеми економіки. – 2005. – № 7 (49). – С. 109-116.
7. Ейтутіс, Г. Д. Стратегія реформування залізниць України на основі регіоналізації транспортного обслуговування [Текст] : дис. ... докт. екон. наук / Г. Д. Ейтутіс. – К., 2010.

Надійшла до редколегії 21.12.2010.
Прийнята до друку 27.12.2010.

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ПОБУДОВИ МЕХАНІЗМУ УПРАВЛІННЯ ПАСАЖИРСЬКИМИ ПРИМІСЬКИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ

У статті розглянуто основні підходи удосконалення механізму управління пасажирськими залізничними перевезеннями в приміському сполученні та запропоновано класифікацію моделей реформування пасажирських залізничних перевезень у приміському сполученні залежно від масштабів, ступеня самостійності, відомчої підпорядкованості та кількості власників майбутньої компанії.

Ключові слова: реформування, приміські пасажирські перевезення, модель реформування, компанії-оператори

В статье рассмотрены основные подходы усовершенствования механизма управления пассажирскими железнодорожными перевозками в пригородном сообщении и предложена классификация моделей реформирования пассажирских железнодорожных перевозок в пригородном сообщении в зависимости от масштабов, степени самостоятельности, ведомственной подчиненности и количества владельцев будущей компании.

Ключевые слова: реформирование, пригородные пассажирские перевозки, модель реформирования, компании-операторы

In the article the basic approaches of improving a management mechanism for passenger suburban railway transportations are considered, and the classification of reformation models for passenger suburban railway transportations depending on scales, degree of independence, department subordination and amount of proprietors of future company is offered.

Keywords: reformation, passenger suburban transportations, reformation model, operator companies

Вступ

Пошук нових ефективних дій в області управління пасажирським господарством України і формування нового економічного механізму взаємин між учасниками пасажирських перевезень залізничним транспортом є ключовими напрямками реформування пасажирського господарства Укрзалізниці.

Відповідно до цільової програми реформування [1] кожне господарство мусить побудувати новий або удосконалити старий механізм управління своєю діяльністю.

Пасажирське господарство кілька років по тому було реформовано і з нього було виділені приміські перевезення. Але це реформування не враховувало майбутнє акціонування залізничного транспорту, можливість організації незалежних приміських пасажирських компаній, економічну самостійність пасажирських перевезень, припинення їх перехресного фінансування за рахунок вантажних, 100 % компенсацію перевезення пільгових категорій громадян та ін.

Аналіз стану проблеми та постановка задачі роботи

Для проведення досліджень стосовно удосконалення механізму управління приміськими

залізничними перевезеннями доцільно визначитися з поняттями:

- модель побудови приміських пасажирських залізничних компаній;
- механізм управління приміськими залізничними перевезеннями.

В економічній енциклопедії [2] поняття «механізм управління підприємствами» відсутнє, але є поняття «моделі організації виробництва», під якими розуміють «оптимальні варіанти діяльності господарюючих суб'єктів (підприємств, об'єднань) відповідно до технологічних способів виробництва, обсягу та асортименту продукції, маркетингової орієнтації, форми власності, регіонального розташування, транспортування продукції та ін.».

Для поняття механізму управління приміськими залізничними перевезеннями у приміському сполученні можливо запропонувати таке визначення: механізм управління приміськими залізничними перевезеннями у приміському сполученні – це система заходів (програмних, правових, адміністративних, логістичних, технічних) та сукупність підприємств і структурних підрозділів, побудованих за певною ієрархією залежно від їх функцій та взаємодії для ефективного виконання своєї місії та цілей в умовах сучасного ринку (рис. 1).



Рис. 1. Фінансово-правові взаємовідносини приміської пасажирської компанії

Мета статті – дослідити основні підходи вдосконалення механізму управління пасажирськими залізничними перевезеннями в приміському сполученні та запропонувати класифікацію моделей реформування пасажирських залізничних перевезень у приміському сполученні залежно від масштабів, ступеня самостійності, відомчої підпорядкованості та кількості власників майбутньої компанії.

Виклад основного матеріалу

Серед найважливіших заходів реформування організаційної структури управління приміського сполучення – скорочення багатоступінчастості управління за рахунок переходу до галузевого комерційного розрахунку, об'єднання оперативно-виробничих і фінансово-економічних важелів управління в єдиний галузевий виробничий центр (підприємство, пасажирська компанія і т.п.).

Функції такого підприємства може виконувати компанія-оператор з організації перевезень і обслуговування пасажирів у приміському сполученні. Це підприємство повинне мати фінансово-економічне відособлення, права юридичної особи, самостійний баланс і інші ознаки унітарного підприємства.

Найбільш складний етап – структурне відособлення підприємств пасажирського комплексу.

На цьому етапі необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) Визначити який буде склад компанії, за яким принципом формуватимуться структурні підрозділи (як пасажирські дирекції, як великі самостійні підприємства і т.п.).
- 2) Забезпечити фінансово-економічне відособлення пасажирських перевезень в дальньому і приміському сполученні.
- 3) Організаційне відособлення далекого і приміського сполучення.

Необхідно визначити:

- адміністративні центри і прилеглі до них території, де можливе організаційне виділення приміських перевезень в самостійне підприємство (у власності Укрзалізниці, муніципальній, змішаній власності і т.п.);
- адміністративні центри і прилеглі до них території, в зоні яких такі приміські підприємства створювати недоцільно (при цьому взаємодія з адміністраціями регіонів проводиться на контрактній основі залізничною компанією дальніх перевезень через свої регіональні дирекції);
- адміністративно-територіальне відособлення регіональних пасажирських дирекцій і інших підрозділів на обмеженому полігоні залізниці (на базі однієї-двох дирекцій залізниці). Юридичне оформлення статутних документів пасажирського господарства.
- Витрати по приміських пасажирських перевезеннях.

Одна з основних проблем у тому, що методики калькуляції витрат пасажирських перевезень в територіальному розрізі, і в першу чергу, у приміському сполученні не існує.

Очевидно, що на першому етапі Укрзалізниця із залученням галузевих інститутів повинна розробити систему формування прибутків і фінансування витрат у приміській пасажирській залізничній компанії (далі ППЗК) з використанням спеціального пасажирського прибутково-розпорядничого рахунку.

На другому етапі реформування структури управління приміського пасажирського господарства необхідно здійснити юридичне оформлення ППЗК. На підставі виконаних робіт на першому етапі з відособлення пасажирського господарства на обмежених полігонах залізниці створюється приміська пасажирська залізнична компанія до складу якої повинні входити регіональні дирекції та інші підприємства приміського пасажирського комплексу.

Перший і другий етапи, враховуючи відмінності і специфіку залізниць, різну долю пасажирських перевезень, можуть в часі досягати 2...3 і більше років. Цей процес неможливо штучно прискорювати. Він вимагає значної підготовчої роботи, підбору кадрів, формування нової системи взаємин: фінансових, економічних, правових і т.д.

Протягом третього етапу, рішення за яким повинне прийматися на рівні МІУ і КМУ, на залізницях відокремлюється вантажна і пасажирська робота. При цьому найбільш прийнятним виглядає варіант виділення в самостійні компанії, пасажирські компанії-оператори дальнього сполучення. ППЗК при цьому також може вийти із складу залізниці (якщо вона раніше не вийшла як муніципальна), навіть якщо залишається в державній власності. При цьому розрахунки з державними регіональними суб'єктами вона здійснюватиме самостійно.

На цьому етапі залізницею і ППЗК мають бути визначені усі організаційні і фінансово-економічні взаємини.

Найважливішим моментом є виділення прибутків компанії за джерелами (виручка від реалізації квитків, цільове субсидування або інші зовнішні джерела і т.д.)

Третій етап в часі може співпадати з четвертим. Оскільки відношення з державним бюджетом потребують формування на мережевому рівні структури або органу, що буде координувати приміські пасажирські перевезення і взаємодіяти з державними органами законодавчої і виконавчої влади.

Для досягнення цієї мети необхідна реалізація концепції структурної перебудови приміського пасажирського господарства, і створення на мережі залізниць пасажирського підприємства з рухом фінансових коштів по галузевій вертикалі. Це дає можливість застосовувати єдину технічну і технологічну політику в керівництві приміським пасажирським господарством, розвивати його матеріально-технічну базу на користь всієї залізниці. Завдяки цьому буде досягнуто централізоване оперативне управління,

єдність технології в організації пасажирських перевезень.

Зважаючи на вищесказане, можливо відзначити, що метою створення приміської пасажирської залізничної компанії є:

- підвищення якості обслуговування пасажирів і зниження витрат на приміські перевезення;
- виділення перевезень пасажирів в приміському сполученні в самостійний вид діяльності;
- забезпечення реальної участі державних регіональних суб'єктів в компенсації збитків від приміських перевезень;
- досягнення максимальної ефективності функціонування пасажирського комплексу на основі об'єднання в єдиному центрі оперативно-виробничих функцій управління;
- зниження збитковості приміських пасажирських перевезень;
- участь компанії-оператора в інших видах рентабельної діяльності, результати якої можуть бути консолідовані на оновлення основних фондів;
- створення сприятливого інвестиційного клімату для оновлення приміського рухомого складу і інших основних фондів приміського пасажирського комплексу.

Створення ППЗК повинне враховувати зацікавленість ДП «УЗ» і регіональних державних адміністрацій у розвитку приміських перевезень, тому засновниками даної компанії виступатимуть Укрзалізниця і державні адміністрації області.

На основі визначення наведеного вище пропонується механізм управління залізничними приміськими перевезеннями:

Інтеграційна модель – 1 компанії використовується, коли Укрзалізниця залишає за собою право управління та використання державного майна (приміські вокзали, платформи, резерви провідників та ремонтні депо), яке входить до складу господарства приміських перевезень. При цьому окремі новоутворені приміські пасажирські компанії є структурними підрозділами і не мають права юридичної особи.

Інтеграційна модель – 2 компанії використовується, коли Укрзалізниця залишає за собою право управління та використання державного майна, яке входить до складу господарства приміських перевезень, але при цьому окремі новоутворені приміські пасажирські компанії є дочірніми підприємствами – юридичними особами.

Модель «Державний холдинг» передбачає пряму підпорядкованість Укрзалізниці, що надає змогу краще узгоджувати технологічні та

економічні відносини між ними. При застосуванні такої моделі ППЗК втрачають частину своєї самостійності, оскільки холдинговій управлінській компанії будуть делеговані деякі економічні та управлінські функції, а також можливість представляти ППЗК на внутрішній та міжнародній арені.

На відміну від Державного холдингу *модель Регіонального холдингу* будується на базі кількох Приміських залізничних пасажирських компаній, які розташовані в одному регіоні, що об'єднує кілька областей, із залученням майна (приміські вокзали, платформи, резерви провідників та ремонтні депо) ДАК «УЗ», інвестицій місцевих органів влади і приватних підприємств. Регіональний холдинг може будуватися без залучення капіталу приватних підприємств. Найбільшої ефективності діяльність Регіонального холдингу може набути за умови впровадження у ППЗК рейкових автобусів та технології «вагон-трамвай».

Приміська залізнична пасажирська компанія утворюється за умови об'єднання майна та грошових коштів Державної акціонерної компанії «Українські залізниці» місцевих органів влади та приватних підприємств, що розташовані в одній, двох або трьох споріднених областях. Існує можливість будувати Приміську залізничну пасажирську компанію у межах більшої кількості сусідніх невеликих за населеністю та територією областей, якщо між ними існує тісний історичний міграційний зв'язок.

На основі сказаного вище залежно від кількості власників, масштабів діяльності, форми об'єднання, можна запропонувати таку класифікацію моделей побудови ППЗК:

- *Інтеграційна – 1*, коли регіональні ППЗК входять до складу Департаменту пасажирських перевезень Державної акціонерної компанії «Українські залізниці» як відокремлені структурні підрозділи;
- *Інтеграційна – 2*, коли регіональні ППЗК входять до складу Департаменту пасажирських перевезень Державної акціонерної компанії «Українські залізниці» як дочірні підприємства – юридичні особи;
- *Розділення*, коли регіональні ППЗК – юридичні особи і не підпорядковані нікому крім Міністерства транспорту та зв'язку України;
- *Державний холдинг*, яка передбачає утворення між Державною акціонерною компанією «Українські залізниці» та окремими ППЗК – юридичними особами додаткової управлінської структури, яка буде управляти 100 % акцій окремих приміських па-

сажирських компаній та координувати їх діяльність;

- *Регіональний холдинг*, коли регіональні ППЗК – юридичні особи підпорядковані управлінській структурі, яка утворена Державною акціонерною компанією «Українські залізниці», місцевими та обласними органами влади і приватними підприємствами;
- *Приміська залізнична пасажирська компанія*, яка утворена за рахунок майна і коштів Державної акціонерної компанії «Українські залізниці», місцевих та обласних органів влади і приватних підприємств.

Висновок

Основним завданням створення ефективного механізму управління приміськими залізничними перевезеннями у приміському сполученні є досягнення максимальної ефективності функціонування системи, забезпечення повного і якісного задоволення платоспроможного попиту населення на перевезення з мінімальними витратами.

Одним із шляхів створення ефективного механізму управління приміськими залізничними перевезеннями у приміському сполученні є утворення компаній-операторів з організації перевезень і обслуговування пасажирів у приміському сполученні.

Основною метою створення компаній-операторів з приміських пасажирських перевезень є досягнення максимальної ефективності функціонування пасажирського комплексу на основі централізованого управління перевезеннями (шляхом об'єднання оперативно виробничих і фінансово-економічних важелів управління в єдиному виробничому центрі) і обслуговування пасажирів у приміському сполученні в межах території (крупного вузла) одного або декількох регіональних суб'єктів в тісній взаємодії з місцевою адміністрацією.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бараш, Ю. С. Реформування структур управління залізничним транспортом у країнах з перехідною економікою [Текст] / Ю. С. Бараш // Заліз. трансп. України. – 2003. – № 6.
2. Економічна енциклопедія [Текст] : в 3-х т. / за ред. С. В. Мочерного. – К.: Академія, 2001. – Т. 3. – 146 с.

Надійшла до редколегії 09.11.2010.

Прийнята до друку 18.11.2010.

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ОТ ОГРАНИЧЕНИЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ СНИЖЕНИЯ ЗА СЧЁТ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ

Одним з напрямків економії енергоресурсів та зменшення питомих витрат на виконання перевізної роботи може бути підвищення максимально допустимих швидкостей руху поїздів в кінці «шкідливих» спусків за рахунок поліпшеного утримання колії і своєчасне усунення діючих попереджень (тимчасових обмежень швидкості) у визначеній черговості, з урахуванням економічної ефективності даних заходів. У статті наводиться методика і приклади розрахунків економічної оцінки втрат від обмежень швидкості руху поїздів.

Ключові слова: організація утримання колії, обмеження швидкості руху поїздів, економічна оцінка втрат

Одним из направлений экономии энергоресурсов и уменьшения удельных расходов на выполнение перевозочной работы может быть повышение максимально-допустимых скоростей движения поездов в конце «вредных» спусков за счёт улучшения содержания пути и своевременное устранение действующих предупреждений (временных ограничений скорости) в определённой очередности, с учётом экономической эффективности данных мероприятий. В статье приводится методика и примеры расчётов экономической оценки потерь от ограничений скорости движения поездов.

Ключевые слова: организация содержания пути, ограничения скоростей движения поездов, экономическая оценка потерь

One of directions of saving the energy and reducing the specific costs of carrying out the transportation work may be raising the maximum permissible speed of trains at the end of «bad» down-grades through improved track maintenance and timely removal of the existing warnings (temporarily speed restrictions) in a certain order, taking into account the economic efficiency of these activities. The article presents methods and examples of calculations of the economic evaluation of losses due to the restrictions of train traffic speed.

Keywords: track maintenance organization, restrictions of train traffic speeds, economic evaluation of losses

Постановка проблемы

В ряд наиболее важных задач, стоящих перед железными дорогами в современных условиях работы, входят повышение скорости движения поездов, экономия энергоресурсов и уменьшение удельных расходов на выполнение работы. Эти задачи, как правило, не могут быть решены одновременно, поскольку повышение скорости движения сопровождается увеличением расходов топлива и расходов на ремонты подвижного состава и пути. Однако из этого правила есть некоторые исключения.

На крутых спусках пути скорость движения поезда может повышаться без использования силы тяги локомотива (т.е. без затрат топлива) за счёт отрицательного уклона. При этом в ряде случаев поезд достигает максимально-допустимой (предельной) скорости до окончания спуска. Такие спуски считаются «вредными». После достижения предельной скорости дальнейшее движение поезда по этому спуску возможно с предельной скоростью при подтормаживании. Повышение максимально допустимой ограничением скорости в конце «вредного» спуска могло бы привести одновременно и к повышению скорости движения по участку (экономии времени), и к экономии топлива на передвижение за счёт использования дополни-

тельной кинетической энергии, приобретаемой поездом на спуске.

Ещё одно исключение из правила составляют некоторые действующие предупреждения (ограничения максимальной скорости движения, временно вводимые на определённых отрезках участка пути из-за плохого состояния пути, в связи с проведением ремонтных работ, использованием инвентарных рельсов и др.), устранение которых позволяет в ряде случаев повысить скорость движения поезда при одновременном снижении расходов на передвижение.

Анализ исследований в данной области

Изменение скоростей и режимов движения поезда на отрезке пути приводит к изменению величины расходов на преодоление поездом данного отрезка. Зависимость расходов на передвижение поезда от скоростей и режимов его движения анализировалась рядом исследователей. Ещё в начале 20 века Б. Д. Воскресенский [3, 4], А. Л. Васютынский [1, 2] и позже проф. Ю. В. Ломоносов [6] связывали затраты на ремонт пути и подвижного состава не с пробегом, а с механической работой тяги, величина которой зависит от скоростей и режимов движения поезда.

Затем эта взаимосвязь получила признание и конкретное выражение благодаря работам проф. М. М. Протодьяконова [14], проф. А. Е. Гибшмана [5], проф. Г. И. Черномордика [16, 17], которыми были разработаны нормативы затрат, связанных с механической работой тяги и преодоления сил сопротивлений движению поезда, для условий проектирования железных дорог (в основном при сравнении вариантов трассы). Для условий эксплуатации существующих линий данная взаимосвязь впервые была применена в исследованиях проф. Г. И. Черномордика [16, 17]. Существенная работа по нормированию затрат, связанных с механической работой тяги и сил сопротивления движению была выполнена в Гипротранстэи МПС СССР [12]. Ценные научные и проектные разработки в этом направлении выполнены, в частности, инженерами П. А. Луговым и Л. Г. Цыпиным [7, 8].

В дальнейшем взаимосвязь между скоростями движения и расходами на ремонты и на топливо использовалась К. К. Тихоновым [15], Н. Д. Малькевичем [9, 10] и другими исследователями при поиске оптимальных скоростей и режимов движения поездов, а также в других оптимизационных задачах.

Выделение ранее неисследованной части проблемы

Проблема повышения максимально допустимой скорости движения в конце «вредных» спусков исследована недостаточно. Отсутствует методика оценки экономической эффективности данного мероприятия.

Решения об установлении действующих предупреждений, о целесообразности и очередности их устранения, о сроках, затратах ресурсов и требуемом качестве проводимых при этом ремонтных работ, в существующей практике эксплуатации железных дорог принимаются без учёта экономической эффективности данных мероприятий.

Цель исследования

Целью данной работы является разработка методики экономической оценки потерь от ограничений скорости движения поездов в местах действующих предупреждений и на «вредных» спусках, позволяющей выполнять такие расчёты для конкретных отрезков пути и конкретных условий движения, на основе которых можно было бы принимать решения об очередности проведения ремонтных работ по устранению действующих предупреждений и о целесообразности повышения скорости

движения в конце «вредных» спусков с учётом величины необходимых для этого дополнительных затрат ресурсов на содержание и ремонты пути.

Основной материал

Методика расчёта расходов на преодоление поездом отрезка пути в зависимости от скоростей и режимов движения

От скоростей и режимов движения зависят следующие группы расходов: амортизационные отчисления с вагонов и локомотивов, заработная плата локомотивной бригады, заработная плата проводников и другого персонала поезда, потери времени пассажирами и грузами в пути, приведенные капиталовложения в подвижной состав. Величина суммарных расходов на передвижение конкретного поезда и каждой из перечисленных их составляющих будет различной при различных скоростях и режимах движения.

Для расчёта величины расходов на преодоление заданного отрезка пути в зависимости от скоростей и режимов движения удобно использовать систему расходных ставок, включающую такие измерители, как затраченное время, проделанная механическая работа сил тяги локомотива, механическая работа сил сопротивления движению и механическая работа сил торможения.

В зависимости от количества измерителя «затраченное время» можно рассчитать величину таких расходов, как расход топлива (электроэнергии) для собственных нужд локомотива и вагонов, амортизационные отчисления с вагонов и локомотивов, заработная плата локомотивной бригады, заработная плата проводников и другого персонала поезда, потери времени пассажирами и грузами в пути, приведенные капиталовложения в подвижной состав.

Под механической работой сил сопротивления движению понимается произведение силы сопротивления движению на расстояние передвижения поезда. Износ подвижного состава и пути, связанный с передвижением поезда по участку, происходит в процессе преодоления сопротивления движению поезда. Поэтому расходы по износу подвижного состава и пути, а также по их смазке, несколько снижающей износ трущихся деталей, напрямую зависят от механической работы сил сопротивления движению. Сила сопротивления движению определяется в соответствии с Правилами тяговых расчётов [13] и количественно зависит от скорости движения, массы подвижного состава и груза, типа подвижного состава и пути и других параметров.

Силы сопротивления движению преодолеваются за счёт силы тяги, создаваемой локомотивом. Произведение касательной силы тяги локомотива на обод колеса на путь перемещения поезда как подвижной единицы называется механической работой локомотива. Механическая работа локомотива может происходить только в результате потребления локомотивом топлива или электроэнергии. Таким образом, в зависимости от количества измерителя «механическая работа локомотива» можно рассчитать величину расходов на топливо (электроэнергию) для тяги.

Под механической работой сил торможения понимается произведение силы торможения на расстояние передвижения поезда. Механическая работа сил торможения, как и механическая работа сил сопротивления, приводит к износу подвижного состава и пути.

Пользуясь предложенной системой расходов ставок можно рассчитать расходы на пере-

движение конкретного поезда по заданному отрезку пути.

Экономическая эффективность повышения максимально-допустимой скорости движения в конце «вредного» спуска

В качестве примера выполнены расчёты для поездки в направлении Брест – Барановичи Белорусской железной дороги грузового поезда массой 4100 т, составленного из 50 гружёных вагонов, локомотив ВЛ80С. Максимально допустимая ограничением скорость равна 80 км/ч. Расчёты выполнены с использованием программы «Тяговые расчёты», разработанной Н. Д. Малькевичем и Н. Ф. Зеньчуком. На рис. 1 приведены фрагменты графиков тяговых расчётов, на которых показана скорость движения поезда, при наличии ограничения скорости в конце «вредного» спуска и без него.

Результаты тяговых расчётов и расчёт экономии от повышения скорости за одну поездку приведены в табл. 1.

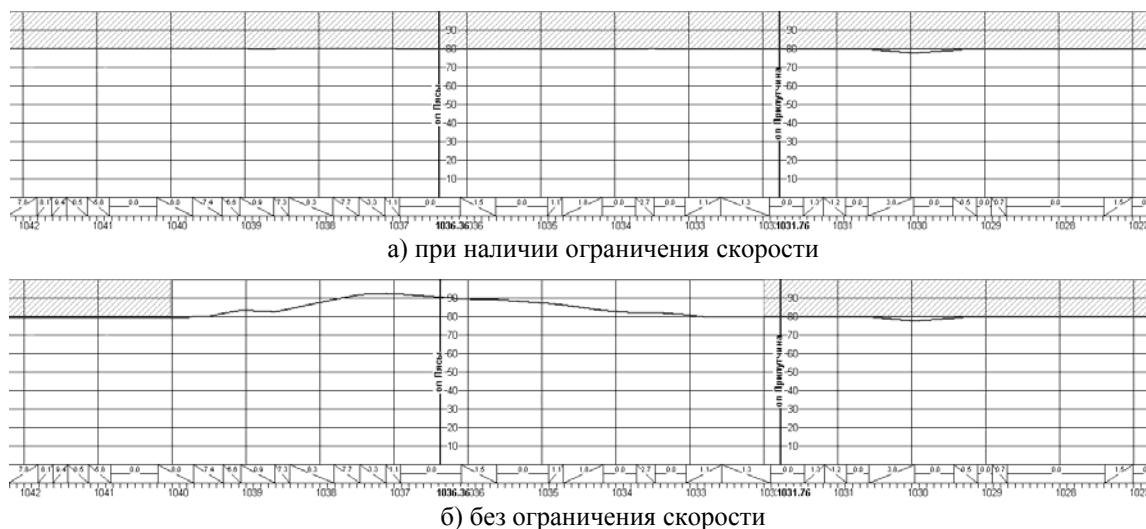


Рис. 1. Фрагменты графиков тяговых расчётов для движения по «вредному» спуску

За одну поездку грузовым поездом экономия от мероприятия составляет 75 557,6 бел. руб. При размерах движения в данном направлении 9 поездов в сутки суточная экономия составит $75\,557,6 \cdot 9 = 680\,018,4$ бел. руб., годовая экономия составит $680\,018,4 \cdot 365 = 248\,206\,716$ бел. руб. (примерно 83 тыс. дол. США).

Результаты экономической оценки потерь от ограничения скорости, возникающие при наличии «вредного» спуска, могут быть использованы для принятия решений о повышении максимально допустимой скорости в конце «вредного» спуска с учётом необходимых для этого расходов на содержание и ремонт пути.

Экономическая эффективность устранения действующих предупреждений на участках железной дороги

Перед отрезком пути, на котором установлено ограничение скорости, поезд снижает скорость с применением выбега или торможения, затем следует со скоростью, допустимой ограничением. По окончании ограничения поезд снова набирает скорость (разгоняется). В результате увеличивается время нахождения поезда на участке, и соответственно зависящие от времени расходы; возникает дополнительная механическая работа сил торможения для снижения скорости поезда, что ведёт к износу пути и подвижного состава, в частности подсистем, активно участвующих в тор-

можении; выполняется дополнительная работа сил тяги для разгона поезда после преодоления отрезка пути с действующим предупреждением, что связано с дополнительным расходом топлива. На отрезке пути, по которому поезд движется с ограничением скорости, несколько уменьшается работа сил сопротивления движению поезда и

работа сил тяги, соответственно меньше будут износ подвижного состава и пути и расход топлива на тягу. Так же работа сил сопротивления будет несколько меньшей на отрезках пути, где поезд снижает скорость перед ограничением и разгоняется после окончания ограничения.

Таблица 1

**Расчёт экономии от повышения максимально-допустимой скорости движения
в конце «вредного» спуска за одну поездку грузовым поездом**

Наименование измерителя	Величина измерителя		Разность величин измерителей	Расходная ставка, бел. руб.	Экономия, бел. руб.
	до повышения скорости	после повышения скорости			
Механическая работа сил сопротивления, т-км	120,7	121,7	-1,0	1285	-1285,0
Механическая работа сил торможения, т-км	22,2	0,0	22,2	1285	28527,0
Механическая работа сил тяги, т-км	277,4	241,0	36,4	1285	46774,0
Время, мин.	19,4	19,1	0,4	3854	1541,6
Величина экономии от повышения скорости (итого)					75557,6

В качестве примера выполнен расчёт потерь от действующего предупреждения на отрезке пути Костюковка – Лазурная, 1 главный путь, 210 км ПК4 – 211 км ПК10, на участке Гомель – Жлобин Белорусской железной дороги. На этом отрезке пути после среднего ремонта пути действовало предупреждение, ограничивавшее скорость движения до 60 км/ч. До установки предупреждения максимально допустимая скорость движения для грузовых поездов была равна 80 км/ч. Вес поезда равен 4172 т, в составе поезда 47 гружёных и 15 порожних вагонов. Локомотив 2ТЭ10М. Размеры движения равны 7 поездов в сутки.

На рис. 2 приведены фрагменты графиков тяговых расчётов, на которых показана скорость движения грузового поезда при наличии действующего предупреждения и без него. Результаты тяговых расчётов для грузового поезда для участка Гомель – Жлобин и расчёт потерь от действующего предупреждения за одну поездку приведены в табл. 2.

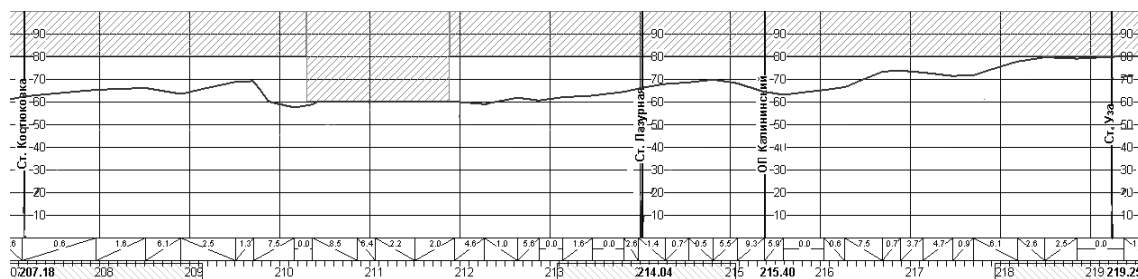
За одну поездку грузовым поездом потери от рассматриваемого действующего предупреждения составляют 53 827,4 бел. руб. При средних размерах грузового движения в данном направлении 7 поездов в сутки среднесуточные потери составят $53\,827,4 \cdot 7 = 376\,792$ бел. руб.,

потери за месяц составят $376\,792 \cdot 30 = 11\,303\,754$ бел. руб. В пересчёте на год экономический эффект составит $376\,792 \cdot 365 = 137\,529\,080$ бел. руб. (примерно 46 тыс. дол. США).

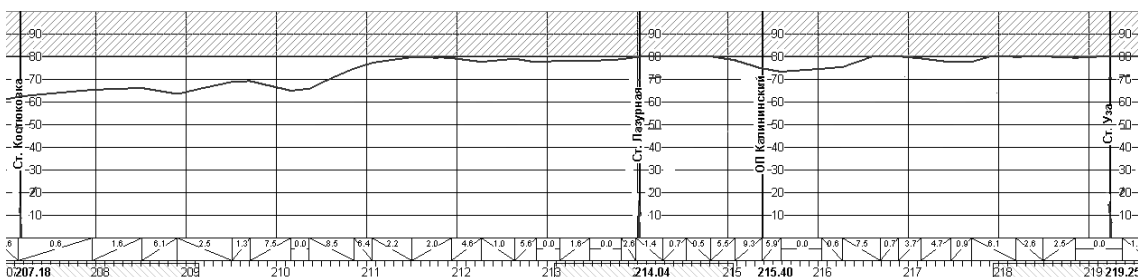
Для каждого действующего предупреждения можно рассчитать коэффициент эффективности его устранения как отношение полученного экономического эффекта к необходимым для этого расходам. В первую очередь необходимо устранять те действующие предупреждения, эффективность устранения которых выше.

Если на участке имеется несколько мест с ограничениями скорости движения, то в первую очередь необходимо устранять ограничение, которое наиболее ограничивает скорость, а при равных ограничениях скоростей в первую очередь надо устранять такое, которое расположено в конце «вредного» спуска, так как в конце этих спусков скорость движения поезда достигает наибольшего максимально допустимого значения.

В конце подъёмов скорость ограничения не всегда реально достижима по силе тяги локомотива для поездов большой массы. Поэтому эти ограничения можно устранять в последнюю очередь.



а) при наличии действующего предупреждения



б) без действующего предупреждения

Рис. 2. Фрагменты графиков тяговых расчётов для движения по отрезку пути с действующим предупреждением

Таблица 2

Расчёт потерь от действующего предупреждения (ДП) за одну поездку грузовым поездом

Наименование измерителя	Величина измерителя, т-км		Разность величин измерителей	Расходная ставка, руб.	Расходы, руб.
	без ДП	при наличии ДП			
Механическая работа сил сопротивления, т-км	1296,0	1291,0	-5,0	1285,0	-6425,0
Механическая работа сил торможения, т-км	244,6	273,6	29,0	1285,0	37265,0
Механическая работа сил тяги, т-км	1064,3	1078,5	14,2	1285,0	18247,0
Время, мин	80,53	81,76	1,23	3854,0	4740,4
Величина потерь от действующего предупреждения (итога)					53827,4

Выводы

Потери из-за ограничений максимальной скорости движения поездов на «вредных» спусках и в местах действующих предупреждений могут быть значительными. Для того чтобы оценить величину потерь от ограничения скорости, нужно сопоставить расходы на передвижение поездов по данному отрезку пути без ограничения скорости и с учётом ограничения.

Для расчёта величины расходов на преодоление поездом заданного отрезка пути в зависимости от скоростей и режимов движения удобно использовать систему расходных ставок, включающую такие измерители, как затраченное время, проделанная механическая рабо-

та сил тяги локомотива, механическая работа сил сопротивления движению и механическая работа сил торможения.

Выполненный в качестве примера расчёт экономического эффекта от повышения максимально-допустимой скорости движения в конце «вредного» спуска на перегоне Тевли – Оранчицы участка Брест – Барановичи Белорусской железной дороги показывает, что за одну поездку грузовым поездом экономия от мероприятия составляет 75 558 бел. руб. (примерно 25 дол. США), а годовая экономия составит 248 206 716 бел. руб. (примерно 83 тыс. дол. США).

Дополнительный износ подвижного состава и пути, возникающий при этом за счёт более

высоких скоростей движения поезда, будет меньшим, чем износ, возникающий при движении поезда в конце «вредного» спуска на сравнительно высоких скоростях с подтормаживанием.

Выполненный в качестве примера расчёт величины потерь от действующего предупреждения, установленного на отрезке пути Костюковка – Лазурная участка Гомель – Жлобин Белорусской железной дороги показывает, что за одну поездку грузовым поездом потери составляют 53 827 белорусских рублей. В пересчёте на год экономический эффект составит 137 529 080 бел. руб. (примерно 46 тыс. дол. США).

Устранение конкретного действующего предупреждения даёт экономический эффект и обходится в определённую сумму расходов. Для каждого действующего предупреждения можно рассчитать коэффициент эффективности его устранения как отношение полученного экономического эффекта к сделанным расходам. В первую очередь необходимо устранять те действующие предупреждения, эффективность устранения которых выше.

Таким образом, результаты экономической оценки потерь от ограничений скорости от действующих предупреждений могут быть использованы при принятии решений об установлении действующих предупреждений, о целесообразности и очередности их устранения, о сроках, затратах ресурсов и требуемом качестве проводимых при этом ремонтных работ. Результаты экономической оценки потерь от ограничения скорости, возникающие при наличии «вредного» спуска, могут быть использованы для принятия решений о повышении максимально допустимой скорости в конце «вредного» спуска. Данные мероприятия позволят снизить затраты, связанные с движением поездов по участкам железной дороги.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васютинский, А. Л. Годовые расходы и эксплуатационная длина русских железных дорог [Текст] / А. Л. Васютинский // Инженер. – 1905. – № 3-4.
2. Васютинский, А. Л. Железные дороги [Текст] / А. Л. Васютинский. – Варшава, 1905.
3. Воскресенский, Б. Д. Основные начала механики железнодорожного транспорта [Текст] / Б. Д. Воскресенский // Экспериментальный ин-т путей сообщения. – 1919. – Бюл. № 9.
4. Воскресенский, Б. Д. Теория работы железнодорожных поездов [Текст] / Б. Д. Воскресенский. – Екатеринослав, 1903.
5. Гибшман, А. Е. Эксплуатационно-экономические обоснования выбора параметров перспективных паровозов [Текст] / А. Е. Гибшман. – В кн.: Вопросы экономики железнодорожного транспорта. Сб. статей. – М.: Трансжелдориздат, 1948.
6. Ломоносов, Ю. В. Научные основы эксплуатации железных дорог [Текст] / Ю. В. Ломоносов. – Изд. 4-е. – Берлин, 1922 (рус.).
7. Луговой, П. А. Техничко-экономические расчёты при реконструкции железных дорог [Текст] / П. А. Луговой, Л. Г. Цыпин. – М.: Трансжелдориздат, 1963.
8. Луговой, П. А. Основы технико-экономических расчётов на железнодорожном транспорте [Текст] / П. А. Луговой, Л. Г. Цыпин, Р. А. Аукционек. – М.: Транспорт, 1973. – 232 с.
9. Малькевич, Н. Д. Исследование зависимости между оптимальным планом формирования, весом и скоростью движения грузовых поездов [Текст] . автореф. и дис. ... канд. техн. наук / Н. Д. Малькевич. – Гомель: БИИЖТ, 1966.
10. Оптимизация скорости движения и режимов ведения поезда [Текст] / Н. Д. Малькевич [и др.]; под ред. А. А. Михальченко; Белорус. гос. ун-т трансп. // Совершенствование работы транспортных систем: Сб. науч. тр. – Гомель: БелГУТ, 2001. – С. 21-31.
11. Михальцев, Е. В. Себестоимость железнодорожных перевозок [Текст] / Е. В. Михальцев. – М.: Трансжелдориздат, 1957.
12. Нормы эксплуатационных расходов для технико-экономических расчетов [Текст]. – Гипротрансэи МПС. Изд. стеклограф. – М., 1961.
13. Правила тяговых расчётов для поездной работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
14. Протодьяконов, М. М. Изыскание и проектирование железных дорог [Текст] / М. М. Протодьяконов. – М.: Трансжелдориздат, 1934.
15. Тихонов, К. К. Оптимальные ходовые скорости грузовых поездов [Текст] / К. К. Тихонов. – М.: Транспорт, 1964. – 262 с.
16. Материалы по сравнительному анализу методов овладения грузооборотом [Текст] / Г. И. Черномордик [и др.]. – М., Трансжелдориздат, 1935.
17. Черномордик, Г. И. Техничко-экономические обоснования норм проектирования новых железных дорог [Текст] / Г. И. Черномордик. – М.: Трансжелдориздат, 1948.

Поступила в редколлегия 12.01.2011.

Принята к печати 17.01.2011.

И. В. КЛИМЕНКО (ДИИТ)

АДАПТАЦИЯ МЕТОДА Т. ДЕМАРКА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕКТОРНЫХ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В статті запропоновано використання методу Т. Демарка для побудови оперативного прогнозу основних показників діяльності підприємств залізничного транспорту.

Ключові слова: прогнозування властивостей вагонопотоків, методи оперативного прогнозування, аналіз часових рядів, метод Т. Демарка

В статье предложено использование метода Т. Демарка для построения оперативного прогноза основных показателей деятельности предприятий железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: прогнозирование свойств вагонопотоков, методы оперативного прогнозирования, анализ временных рядов, метод Т. Демарка

In the article the use of method of T. Demark for construction of the operative forecast of the basic indicators of activity of railway transport enterprises is offered.

Keywords: forecasting properties of wagon streams, operational forecasting methods, time series analysis, method of T. Demark

Проблемы оперативного прогнозирования экономических показателей, представленных векторными, интервальными временными рядами

Одним из основных этапов осуществления перевозочного процесса на железнодорожном транспорте является планирование. Этот этап призван заблаговременно определять объем работы каждого отдельного подразделения для осуществления основной цели железной дороги – перевозки грузов и пассажиров.

Планирование также предполагает составления плана перевозок на будущее (день, месяц, квартал, год и т.д.). В связи с этим и возникает необходимость прогнозирования перевозочного процесса. Особое внимание стоит уделить оперативному прогнозированию вагонопотоков.

Временной ряд вагонопотока является векторным интервальным временным рядом (рис. 1).

В связи с этим, оперативное прогнозирование не может осуществляться известными статистическими и аналитическими методами, без предварительной «обработки» исходных данных.

Использование метода Т. Демарка для построения оперативного прогноза

Для построения оперативного прогноза вагонопотока было предложено использовать ме-

тод Т. Демарка [1]. Его специфика не позволяет непосредственно применить его для прогнозирования вагонопотоков, т.к. каждый отдельный интервал временного ряда вагонопотока имеет одну характеристику – количество вагонов.

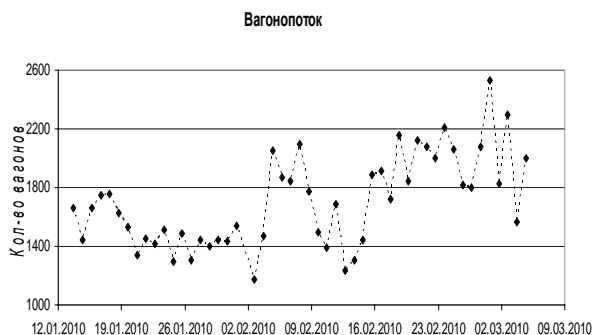


Рис. 1. Передача вагонов по стыковым станциям

В биржевых временных рядах каждый отдельный интервал (период) имеет четыре характеристики:

- цена открытия биржи (C_0);
- цена закрытия биржи (C_3);
- максимальная цена за период (C_{\max});
- минимальная цена за период (C_{\min}).

В связи с этим, было предложено использовать каждый интервал временного ряда как отдельную характеристику ряда. Исходя из ранее сказанного, методика Т. Демарка была адаптирована для построения оперативного прогноза вагонопотока:

$$X = \frac{(\min\{Знач2, Знач1\} + \max\{Знач2, Знач1\} + 2 \cdot Знач_{срел})}{2}; \quad (1)$$

$$Y = \frac{(X - \max\{Знач2, Знач1\}) + (X - \min\{Знач2, Знач1\})}{2}, \quad (2)$$

где: Y – прогнозное значение; $Знач1$, $Знач2$ – предыдущие значения ряда; $Знач_{срел}$ – среднее арифметическое $Знач1$ и $Знач2$; $\max\{Знач2, Знач1\}$ – максимум из двух значений; $\min\{Знач2, Знач1\}$ – минимум из двух значений.

Главный вопрос, который необходимо было решить – это «какое количество предыдущих значений ряда нужно использовать для построения прогноза – 2, 3, 4 или больше?»

В результате проведенного анализа установлено, что взаимосвязь между соседними элементами временного ряда существенна, т.е., предыдущее значение оказывает значительное влияние на последующее. Но при удалении на один элемент от текущего это влияние значительно снижается.

Таким образом, необходимо использовать всего лишь два предыдущих уровня ряда для построения оперативного прогноза, т.к. дальнейшее увеличение количества значений ряда для прогнозирования является неэффективным. На рис. 2, представлен оперативный прогноз вагонопотока с использованием адаптированного метода Т. Демарка.

Основным слабым звеном этого метода была точность прогноза. Для оценки точности прогноза, построенного этим методом, воспользовались методом «бутстреп».

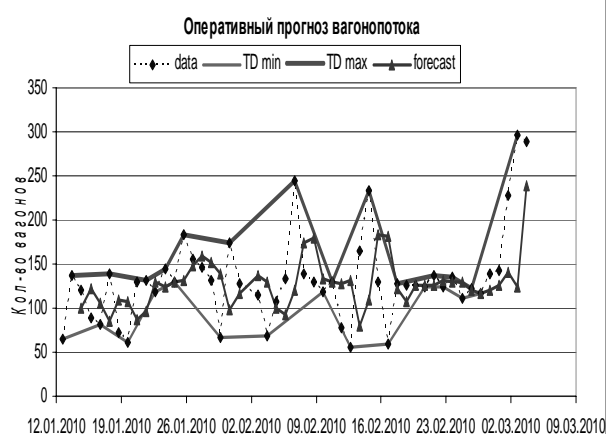


Рис. 2. Оперативный прогноз вагонопотока

Одним из предназначений этого метода является увеличение количества данных для анализа. Для этого из исходного временного ряда исключаем одно значение. Таким образом, по-

лучаем «новый» временной ряд, который сохраняет все характеристики исходного. Процесс можно повторять многократно, при этом после каждого образования «нового» временного ряда необходимо возвращать исключенные значения обратно:

$$x_2, x_3, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{n-1}, x_n; \quad (3)$$

$$x_1, x_3, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{n-1}, x_n; \quad (4)$$

$$x_1, x_2, x_4, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{n-1}, x_n. \quad (5)$$

Таким образом, увеличив количество подобных выборок и построив прогноз по каждой из них, можно провести оценку точности адаптированного метода:

$$e(\hat{Y}) = \frac{\sum_{i=1..n} \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right)}{n} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Прогнозы по каждой выборке усреднили. Для прогноза, который представлен на рис. 3, количество выборок, полученных с помощью «бутстреп», равно 5, при этом относительная ошибка прогноза от фактического составила $e(\hat{Y}) = 8,77\%$.



Рис. 3. Оперативный прогноз вагонопотока с использованием «бутстреп»

Экспериментально было установлено, что при увеличении количества выборок, полученных при помощи «бутстреп», точность прогноза значительно не увеличивается. К примеру, для вышеописанного ряда относительная ошибка

прогноза при 25 выборках составила $e(\hat{Y}) = 8,74\%$.

Также было установлено, что с помощью адаптированного метода Т. Демарка можно прогнозировать и другие показатели. К примеру, на рис. 4 представлен временной ряд простоя вагонов на станции в денежном выражении.



Рис. 4. Простой вагонов по станции
в денежном выражении

В результате установлено, что большинство показателей работы предприятий железнодорожного транспорта представлены векторными интервальными временными рядами. Для составления оперативного прогноза этих показателей можно использовать адаптированный метод Т. Демарка, который в комбинации с методом «бутстреп» позволяет не только построить прогноз, но и оценить его точность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демарк, Т. Р. Технический анализ – новая наука [Текст] / Т. Р. Демарк. – М.: Диаграмма, 1997. – 280 с.

Поступила в редколлегию 12.01.2011.

Принята к печати 20.01.2011.

Д. В. КОЛЕСНИКОВ (Державне агентство України з управління державними корпоративними правами та майном, Україна)

СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ МОДЕЛЕЙ ВЕРТИКАЛЬНО-ІНТЕГРОВАНИХ СТРУКТУР В УКРАЇНІ

Наведено результати наукового дослідження, яке спрямовано на розробку теоретико-методологічних механізмів створення ефективних моделей вертикально-інтегрованих структур. Висвітлено наявність вертикально-інтегрованих структур на природно-монопольних ринках у приватному і державному секторах економіки та пріоритетні напрямки інтегрування.

Ключові слова: вертикально-інтегровані структури, природні монополії, конкуренція, кластер, економічна політика, організаційна структура

Приведены результаты научного исследования, которое направлено на разработку теоретико-методологических механизмов создания эффективных моделей вертикально-интегрированных структур. Отражено наличие вертикально-интегрированных структур на природно-монопольных рынках в частном и государственном секторах экономики и приоритетные направления интегрирования.

Ключевые слова: вертикально-интегрированные структуры, природные монополии, конкуренция, кластер, экономическая политика, организационная структура

The results of scientific research aimed at development of methodology-theoretical mechanisms of building the effective models of vertically-integrated structures are presented. A presence of vertically-integrated structures on natural-monopolistic markets at private and governmental sectors of economy and priority directions of integration are given.

Keywords: vertically-integrated structures, natural monopolies, competition, cluster, economic policy, organizational structure

Інтеграційні процеси постійно відбуваються в економіці будь-якої країни. Ці процеси мають горизонтальну та вертикальну спрямованість. Якщо горизонтальна інтеграція в основному переслідує мету більшого впливу на ринок виробниками, спрямована на зменшення рівня конкуренції, то вертикальна інтеграція носить технологічний характер і спрямована на об'єднання підприємств що пов'язані ланцюгом доданої вартості певної продукції. Така інтеграція дозволяє знизити собівартість продукції шляхом зниження трансакційних витрат, економії на виконанні спільних функцій (адміністративних, маркетингових, господарських та ін.), оптимального використання ресурсів, тощо.

З точки зору державного управління інтеграційні процеси є позитивним явищем, якщо вони відповідають економічній політиці держави. Негативними наслідками інтеграційних процесів для держави є монополізація ринків, впровадження неефективних механізмів державного управління через лобіювання інтересів великими інтегрованими структурами. Позитивними наслідками для держави є ті інтеграційні процеси, які ведуть до підвищення ефективності виробництва, конкурентоспроможності інтегрованої структури та економіки взагалі. На

сьогодні актуальною є тематика наукових досліджень, котрі вирішують проблеми державного управління інтеграційними процесами.

При дослідженні останніх публікацій можна стверджувати, що різні аспекти формування інтегрованих структур розглядалися багатьма авторами. Зокрема, процеси інтеграції у галузях економіки досліджували Люльчак З. С., Карпій О. П., Ільчук Г. І. [6], Кузьменко Л. Г. [5], Підлісний П., Чеховська М. [8], Скопенко Н. С., Тюха І. В. [11], а також інтеграційні процеси у контексті інноваційного розвитку досліджує Федулова Л. І. [14], кластерна інтеграція представлена у дослідженнях Третька В. В., Любохинця О. В. [13], Добуша Ю. Я. [4]. Проте додаткового дослідження потребують теоретико-методологічні підходи до формування ефективних моделей вертикально-інтегрованих структур.

Метою цієї статті є вирішення проблеми формування ефективних, з точки зору держави, моделей вертикально-інтегрованих структур. Для протидії негативним наслідкам інтегрування суб'єктів господарювання ці процеси повинні відбуватися під контролем держави, а тому на державному рівні повинна бути сформульована концепція інтеграційних процесів та розроблення моделі інтеграційних утворень.

Основні результати дослідження

Для вирішення поставленого питання потрібно сформулювати принципи державної економічної політики щодо процесів інтегрування. Бачення цілей, принципів, завдань державного управління інтеграційними процесами міститься у наукових роботах Люльчака З. С., Карпія О. П., Ільчук Г. І. [6], Федулової Л. І. [14], Кузьменка Л. Г. [5].

Зокрема, стратегічні цілі державної економічної політики щодо інтеграційних процесів у паливно-енергетичному комплексі Люльчак З. С., Карпій О. П., Ільчук Г. І. формулюють як [6]:

- зростання конкурентоспроможності;
- використання ефекту синергії;
- мінімізацію суспільних витрат реструктуризації паливно-енергетичного комплексу;
- зростання енергетичної безпеки країни;
- зростання доданої вартості, та конкретизують стратегічні цілі тактичними [6]:
- зростання використання існуючого потенціалу підприємств;
- збільшення вартості фірми;
- більшу силу впливу на ринок (певніший ринок збуту),
- зменшення загроз з боку конкурентів (нейтралізація конкурентів),
- отримання економічно-фінансових переваг, зокрема податкових;
- зменшення операційних витрат;
- мінімізацію ризику діяльності (зокрема через диверсифікацію дій);
- диверсифікацію діяльності, зокрема в аспекті комплементарних продуктів (теплоносій, гаряча вода);
- приваблення бізнес-партнера (покращання конкурентної ситуації),
- прямування до досягнення і збереження екологічних стандартів,
- захист локальних ринків праці (стабільніша зайнятість),
- можливість приватизації паливно-енергетичних комплексів.

Цілі, які сформулювали у своїх роботах Люльчак З. С., Карпій О. П., Ільчук Г. І., стосуються лише паливно-енергетичного комплексу і для використання на загальнодержавному рівні потребують певного уточнення і доповнення, окрім цього, тактичні цілі інтегрування подані під кутом зору суб'єктів інтегрування, а не держави.

Федулова Л. І. ж у своїй роботі виділяє завдання інтегрованих корпоративних об'єднань як [14]:

- концентрацію інвестиційних ресурсів на пріоритетних напрямках розвитку економіки;
- забезпечення фінансовими ресурсами сфери промислових НДДКР та прискорення НТП;
- підвищення експортного потенціалу та конкурентоспроможності продукції вітчизняних підприємств;
- сприяння демонополізації ринків продукції промислового комплексу;
- здійснення прогресивних структурних змін в промисловості;
- формування раціональних технологічних та коопераційних зв'язків;
- розвиток конкурентного економічного середовища.

Тобто Федулова Л. І., ставлячи завдання перед інтегрованими структурами, вбачає, що вони відіграватимуть позитивну роль у формуванні державної інноваційної та інвестиційної політики та сприятимуть посиленню конкуренції і зміцнюватимуть експортний потенціал держави.

Кузьменко Л. Г. у своїй роботі наводить принципи державного регулювання інтеграційних процесів у сфері природних монополій європейських країн, серед яких є принцип лібералізації ринків (тобто конкуренція повинна бути присутньою на будь-яких ринках); обмеження конкуренції європейськими державами (не повинно виходити за рамки, необхідні для успішного виконання суб'єктами природномонопольних ринків своїх завдань); рівність усіх форм власності (тобто держава не повинна надавати будь-яких спеціальних преференцій підприємствам державної форми власності) [5].

Враховуючи напрацювання вітчизняних вчених, можна сформулювати власне бачення принципів державного управління інтеграційними процесами в економіці, а саме:

Принцип недопущення монополізації ринків. Для цього державна економічна політика повинна бути спрямована на протидію інтеграційним процесам, які створюють умови для посилення монопольного становища певного суб'єкта господарської діяльності. У зв'язку з цим принципом держава повинна заохочувати вертикальні інтеграційні процеси, оскільки горизонтальні процеси, у більшості випадків, мають на меті завоювання монопольного становища. Цей принцип потрібно використовувати

обачно стосовно вітчизняних і іноземних виробників, оскільки, як зазначає Федулова Л. І., певні європейські країни інколи дозволяють вітчизняному виробнику монополізувати вітчизняний ринок для того, щоб він зміг досягнути конкурентних переваг на зовнішніх ринках [14].

Принцип послідовності реформування. Цей принцип означає, що наступні дії держави щодо реформування економіки повинні узгоджуватися з попередніми діями. Наприклад, у електроенергетиці вже здійснені кроки з розподілу ринку на природномонопольний та конкурентний сектори (приватизація обленерго), тому недоцільно переходити на монопольну модель організації енергетичного ринку (який існує у Франції, Японії та Польщі).

Відповідність стратегії економічної безпеки України. Не повинна допускатися інтеграція суб'єктів господарювання, внаслідок якої можуть виникати загрози економічній безпеці держави. З точки зору професора Сухорукова А. І., загрози економічній безпеці – це чинники, що ускладнюють саморегуляцію економіки та реалізацію економічних інтересів, спричиняють вихід економічних показників за межі нормативних або граничних значень [12]. Такі загрози можуть виникати у разі нерегульованої державою монополізації ринків, від яких залежить розвиток економіки у цілому (до таких ринків можуть відноситися газовий ринок, ринок нафтопродуктів, ринок електроенергії тощо).

Інтеграція повинна бути спрямована на збільшення ланцюга доданої вартості продукції. Інтеграція суб'єктів господарювання, яка не спрямована на збільшення ланцюга доданої вартості, ефективною є лише в тому випадку, якщо вона спрямована на отримання ефекту масштабу. У всіх інших випадках вона спрямована на монополізацію ринку, і тому держава не повинна заохочувати такого роду інтеграцію.

Інтеграція з метою підвищення ефективності. Інтеграція суб'єктів господарювання повинна відбуватися з метою підвищення ефективності господарської діяльності. Підвищення ефективності може відбуватися за рахунок ефекту масштабу, скорочення спільних функцій, ефекту синергії та ін., але, якщо наперед відо-

мо, що інтеграція не спрямована на підвищення ефективності, то вона не повинна заохочуватися державою.

Для ефективного функціонування вертикально-інтегрованих структур доцільно розробити моделі таких структур для ринків природних монополій та ринків, які не пов'язані з природними монополіями. Аналіз зарубіжної практики організації інтегрування на ринках природних монополій показує, що ефективними є дві основні моделі організації таких структур. Кожна з цих моделей передбачає стимулювання конкуренції.

Перша модель базується на розмежуванні ринку природної монополії на природномонопольний сегмент та конкурентний сегмент. Схема такого ринку наведена у табл. 1.

За даної моделі природномонопольний сегмент ринку повинен належати державній компанії або приватній, яка жорстко регулюється державною кампанією, яка за оплату надає можливість користуватися іншим суб'єктам господарювання на рівних умовах. До природномонопольного сегменту ринку відносяться послуги, які надаються певною інфраструктурою (системою електромереж, мережею залізничних колій, газотранспортною системою, тощо). До конкурентного сегменту відноситься продукція, яка є предметом угод на певному ринку (електроенергія, природний газ, послуги з перевезення, послуги зв'язку, тощо).

Роль держави за даної моделі зводиться до регулювання відповідного ринку (практика зарубіжних країн показує, що таке регулювання повинно бути жорстким), володіння одним або кількома суб'єктами господарської діяльності, які обслуговують ринок. Конкуренція приватної та державної форми власності дозволяє державі більш чітко відслідковувати стан справ на ринку, а також забезпечувати надання низьковартісних послуг певним категоріям споживачів або здійснювати виробництво певних продуктів (послуг), які є непривабливими для приватного сектору.

У практиці зарубіжних країн існує також інша модель організації ринку природних монополій. Ця модель передбачає штучний поділ природномонопольного сегменту ринку між вертикально-інтегрованими суб'єктами господарювання. Ця модель поєднує переваги вертикальної інтеграції з конкурентними засадами господарювання. Схематично дана модель наведена у табл. 2.

**Модель ринку природної монополії, що базується на розмежуванні ринку
на природномонопольний та конкурентний сегменти**

Суб'єкт господарювання 1					
Природномонопольний сегмент ринку					
Конкурентний сегмент ринку					
Суб'єкт гос- подарювання 2	Суб'єкт гос- подарювання 3	Суб'єкт гос- подарювання 4	Суб'єкт гос- подарювання 5	Суб'єкт гос- подарювання 6	

Ця модель функціонує як модель ринку, що не є природномонопольним. На практиці вона реалізована у сфері залізничних перевезень США, де залізнична інфраструктура поділена за географічним принципом між вертикально-інтегрованими компаніями, котрі надають її у користування один одному за правилами, які встановлені державою. Держава, як і за умов першої моделі, може володіти однією або кількома вертикально-інтегрованими компаніями. Даний досвід може бути перенесеним і на інші сфери діяльності, такі як електроенергетика, газовий сектор, водопостачання, тощо. Спільними рисами першої і другої моделей організації природномонопольного ринку є необхідність жорсткого державного регулювання.

Можлива і третя модель організації природномонопольного ринку – це модель, за якою ринок повністю належить одному монополісту (як правило, державної форми власності). Дана модель відрізняється стабільністю та прогнозованістю і може бути застосована до стратегічно важливих галузей діяльності. На практиці ця модель використана в електроенергетиці Франції. Слід зауважити, що ця модель, незважаючи на свою теоретичну простоту, насправді не є простою.

На сьогодні модель газового сектору України є подібною до третьої моделі організації природномонопольного ринку. Останні роки її функціонування показують, що державний монополіст НАК «Нафтогаз України» є заручником політичної ситуації. Співпраця цього суб'єкта з приватними компаніями створювала можливості для витоку капіталу, в результаті технічний стан газотранспортної системи України є незадовільним. З іншого боку електроенергетичний сектор України працює за моделлю, наближеною до першої, і хоча його роботу не можна вважати ідеальною, проте приватизація обленерго (тобто створення конкурентного сегменту ринку) дозволила вивести цей сектор з глибокої кризи, забезпечити своєчасність платежів за надані послуги.

Однією з важливих характеристик ефективної моделі вертикально-інтегрованої структури є її організаційно-правова форма, формально закріплює характер зв'язків між елементами інтегрованої структури, між структурою та її власниками. Аналіз організаційно-правових форм господарських об'єднань, які можуть бути використані інтегрованими структурами, представлений у наукових роботах Буряка П. Ю., Лівіновської О. В., Підлісного П., Чеховської М., Скопенко Н. С., Тюхи І. В. [2, 8, 11].

Вертикально-інтегровані структури в Україні можуть використовувати організаційно-правову форму підприємства або господарського об'єднання. Організаційно-правова форма підприємства робить зв'язки між структурними одиницями інтегрованої структури жорсткими, оскільки вони після об'єднання приймають форму структурних одиниць новоствореного підприємства. Найбільш відповідною організаційно-правовою формою підприємства для утворення інтегрованої структури є акціонерне товариство. Функціонування цієї організаційно-правової форми регламентується Законом України «Про акціонерні товариства» [9].

Згідно з чинним законодавством України, господарські об'єднання можуть мати наступні організаційно-правові форми: асоціації, корпорації, консорціуми, концерни, холдингові компанії, промислово-фінансові групи [3, 10]. Організаційно-правові форми господарських об'єднань є більш гнучкими для цілей інтеграції господарських суб'єктів. Ці форми надають більше можливостей для вибору форм взаємодії між учасниками інтегрованої структури, які наведені у табл. 3.

**Модель ринку природної монополії, що не базується на розмежуванні ринку
на природномонопольний та конкурентний сегменти**

Природномонопольний сегмент ринку					
Конкурентний сегмент ринку					
Суб'єкт господарювання 1	Суб'єкт господарювання 2	Суб'єкт господарювання 3	Суб'єкт господарювання 4	Суб'єкт господарювання 5	

Серед охарактеризованих у табл. 3 організаційно-правових форм найбільш поширеними при вертикальній інтеграції є концерн та холдингова компанія. Ці організаційно-правові форми дозволяють найбільшою мірою централізувати управління об'єднанням.

Заслужує на окрему увагу такий різновид інтеграції як інтеграція навколо певного кластеру. Кластер – це група технологічно пов'язаних підприємств, які регіонально локалізовані [4, 13]. Науковими дослідженнями та практикою господарювання доведено, що кластерний тип інтеграції дозволяє суттєво підвищити конкурентоспроможність підприємств, які входять до кластеру.

У своїх роботах Третько В. В. та Любохинець О. В. називають наступні переваги кластерної інтеграції [13]:

- підвищення продуктивності підприємств за рахунок кращого доступу до висококваліфікованої робочої сили, спеціалізованої інформації, кращої мотивації керівників та працівників;
- збільшення темпів інновацій і визначення їх напрямку, створюючи фундамент для майбутнього економічного зростання;
- сприяння створенню нових підприємств, що, у свою чергу, призводить до збільшення та посилення кластера;
- розширення доступу до ринків збуту;
- збільшення гнучкості та створення ефекту великого масштабу.

Кластерний тип інтеграції дещо змінює уявлення про те, що інтеграція відбувається тільки у сфері великого капіталу. До кластера залучаються переважно середньо- та малочисельні підприємства. Для нашої держави кластерний тип вертикальної інтеграції є не менш важливим, ніж інтеграція великого капіталу.

Аналіз зарубіжних моделей кластерної інтеграції представлені у роботі Бойко Л. І. та Кудрі С. В. [1]. Зокрема, автори виділяють амери-

канську, шотландську та італійську моделі кластерів (табл. 4).

Для України, як країни, що не має довготривалих традицій інтегрування самостійних підприємницьких структур, також характерна італійська модель кластерної інтеграції, оскільки суб'єкти такої інтеграції прагнуть до максимального збереження економічної самостійності.

Ще однією важливою характеристикою моделі вертикально-інтегрованої структури є її організаційна структура. Види організаційних структур є усталеними в практиці господарської діяльності, тому підприємству чи об'єднанню доцільно обрати той тип структури, котрий найбільше сприятиме реалізації його цілей. При формуванні організаційної структури потрібно враховувати загальні науково-практичні тенденції у цій сфері, які спрямовані на укрупнення одиниць розподілу праці, що покладаються в основу організаційних структур, децентралізацію повноважень, використання форм і методів, що сприяють прояву ініціативи працівників.

Укрупнення одиниць розподілу праці пов'язане з появою поняття «бізнес-процес», яке, на відміну від функції, спрямоване на реалізацію певної цілі діяльності підприємства чи об'єднання (функція спрямована на виконання певного відрізка роботи, яка не обов'язково прямо пов'язана з реалізацією певної цілі діяльності). Відповідно «бізнес-процес» лежить в основі процесного підходу до формування організаційної структури. Процесний підхід має основні переваги перед функціональним, а саме – дозволяє прискорити протікання процесів діяльності підприємства (а відповідно, вивільнити частину працівників), виконує мотиваційну функцію (працівник, орієнтований на виконання цілей, усвідомлює важливість своєї роботи для виконання місії організації, а відповідно, більше мотивований до якісної роботи).

**Характеристика організаційно-правових форм, що можуть бути використані
для створення інтегрованої структури**

Назва організаційно-правової форми	Визначення організаційно-правової форми	Характеристика організаційно-правової форми
Акціонерне товариство	Господарське товариство, статутний капітал якого поділено на визначену кількість акцій однакової номінальної вартості, корпоративні права за якими посвідчуються акціями [9].	Дана організаційно-правова форма може бути використана, якщо суб'єкти господарювання інтегруються шляхом злиття чи приєднання. Інтеграція самостійних господарюючих суб'єктів за цією організаційно-правовою формою є складною, оскільки після інтеграції вони повністю втрачають свою самостійність.
Холдингова компанія	Акціонерне товариство, яке володіє, користується та розпоряджається холдинговими корпоративними пакетами акцій (часток, паїв) двох або більше корпоративних підприємств [10].	Холдингова компанія – це досить гнучка організаційно-правова форма, котра дозволяє її учасникам вирішувати різноманітні завдання серед яких створення центру прийняття рішень та концентрації капіталу, оптимізація оподаткування, поєднання підприємств за технологічним принципом, розподіл ризиків між структурними одиницями холдингу.
Асоціація	Договірне об'єднання, створене з метою постійної координації господарської діяльності підприємств, що об'єдналися шляхом централізації однієї або кількох виробничих та управлінських функцій, розвитку спеціалізації і кооперації виробництва, організації спільних виробництв на основі об'єднання учасниками фінансових та матеріальних ресурсів для задоволення переважно господарських потреб учасників асоціації [3].	Асоціація – це організаційно-правова форма, яка дозволяє найбільшою мірою зберегти незалежність її учасників. Як правило, ця організаційно-правова форма використовується підприємствами однієї галузі з метою координації їх діяльності та лобювання інтересів галузі в цілому, тобто при горизонтальній інтеграції.
Корпорація	Договірне об'єднання, створене на основі поєднання виробничих, наукових і комерційних інтересів підприємств, що об'єдналися, з делегуванням ними окремих повноважень централізованого регулювання діяльності кожного з учасників органам управління корпорації [3].	Організаційно-правова форма, яка надає можливість її учасникам зберігати незалежність, проте вимагає від них делегування певних повноважень централізованому органу. З визначення цієї форми випливає, що вона призначена для вертикальної інтеграції. Може використовуватися як проміжний етап для створення більш жорсткої інтегрованої структури.
Консорціум	Тимчасове статутне об'єднання підприємств для досягнення його учасниками певної спільної господарської мети (реалізації цільових програм, науково-технічних, будівельних проектів тощо) [3].	Консорціум – це форма тимчасової інтеграції для виконання певних господарських цілей.
Концерн	Статутне об'єднання підприємств, а також інших організацій, на основі їх фінансової залежності від одного або групи учасників об'єднання, з централізацією функцій науково-технічного і виробничого розвитку, інвестиційної, фінансової, зовнішньоекономічної та іншої діяльності [3].	Організаційно-правова форма, яка часто вживається при інтеграції. Передбачає централізацію управління у рамках одного найбільш потужного учасника.

Типові зарубіжні моделі кластерів [1]

Назва моделі	Характеристика моделі
Модель США	Підприємства кластера знаходяться в одному регіоні і максимально використовують його природний, кадровий та інтеграційний потенціал. Як правило, продукція кластерів орієнтована на експорт.
Шотландська модель	За цієї моделі ядром спільного виробництва стає велике підприємство, що об'єднує навколо себе невеликі фірми. Таку модель обирають країни Європейського Союзу.
Італійська модель	Більш гнучка і рівноправна співпраця підприємств малого, середнього і великого бізнесу. Фахівці вважають, що для країн з перехідною економікою найбільше підходить саме така форма кластерної організації виробництва.

Переваги і недоліки різних організаційних структур управління залежно від цілей підприємства чи об'єднання проаналізовані Петренком С. А., які наведено у табл. 5 [7]. Поряд з перевагами та недоліками організаційних структур підприємств та об'єднань, слід враховувати також те, що лінійно-функціональна організаційна структура є надто простою, щоб забезпечити управління інтегрованою структурою. Матрична же структура є дуже гнучкою, але вона використовується в обмеженій кількості видів діяльності. Зокрема, вона підходить для організації науково-дослідної, проектної, консалтингової діяльності, тобто для інтегрованої

структури найбільше відповідають лінійно-функціональна та дивізійна організаційні структури.

Виходячи з переваг та недоліків лінійно-функціональної та дивізійної організаційних структур, можна зробити висновок, що лінійно-функціональна структура більшою мірою підходить для жорстких форм інтеграції, коли суб'єкти інтеграції втрачають свою самостійність, а дивізійна – підходить для інтегрованих структур з більшою мірою самостійності суб'єктів інтеграції.

Таблиця 5

Переваги та недоліки типових організаційних структур [7]

Переваги організаційної структури	Недоліки організаційної структури
Лінійно-функціональна організаційна структура	
<ul style="list-style-type: none"> – швидке виконання дій щодо розпорядження та вказівок, які видаються вищестоящими керівниками нижчестоящим; – раціональне поєднання лінійних та функціональних взаємозв'язків; – стабільність повноважень та відповідальність персоналу; – єдність та чіткість розпорядництва; – оперативне прийняття рішень; – персональна відповідальність кожного керівника за результати діяльності; – професійне вирішення завдань спеціалістами функціональних служб. 	<ul style="list-style-type: none"> – дублювання управлінських функцій; – розпорошення відповідальності; – внутрішні виробничі бар'єри, які відділяють виробничі підрозділи від функціональних; – протиріччя між лінійними та функціональними керівниками; – протидія лінійних керівників роботі функціональних спеціалістів; – спотворення інформації функціональних керівників при її передачі лінійними керівниками виконавцям.
Дивізійна організаційна структура	
<ul style="list-style-type: none"> – забезпечує управління багатoproфільним підприємством із загальною кількістю працівників до 100 тисяч і територіально віддаленими підрозділами; – забезпечує більшу гнучкість та більш швидко реакцію на зміни у зовнішньому середовищі; – при розширенні самостійності відділень вони стають «центрами отримання прибутку», активно працюючи над підвищенням ефективності і якості виробництва; – більш тісний зв'язок виробництва зі споживачами. 	<ul style="list-style-type: none"> – розбіжності інтересів центру і дивізіонів; – «управлінці» відділені від виконавців значною кількістю рівнів управління; – основні зв'язки є вертикальними – це призводить до затягуванні процесу прийняття рішень; – дублювання функцій у центрі та в дивізіоні; – складність контролю з центру за порушеннями на місцях.

Висновки

1. Дослідження теоретико-методологічних засад формування ефективних моделей вертикально-інтегрованих структур дозволяють зробити висновок, що ефективними будуть ті моделі, котрі враховують галузеву специфіку та відповідають принципу послідовності реформування. Зокрема, щодо природномонопольних галузей, то вважаю, що нашій державі потрібно переймати досвід високорозвинених країн та створювати конкурентні сегменти на цих ринках, тим більше, що певні кроки у цьому напрямку вже здійснені у галузі електроенергетики. Монопольна модель функціонування таких ринків показала свою неефективність у газовому секторі.

2. Потрібно розробити концепцію державної економічної політики у сфері інтеграційних процесів, яка повинна охоплювати певні види інтеграції і протидіяти тим, які не відповідають стратегії державної економічної безпеки. Зокрема, повинен охоплюватися найбільш продуктивний вид вертикальної інтеграції – кластерна інтеграція, яка дозволить підвищити конкурентоспроможність середніх та малих підприємств, сприяти впровадженню інноваційних технологій у їх діяльність та покращити добробут регіонів.

3. Організаційні структури ефективних моделей вертикально-інтегрованих об'єднань повинні базуватися на сучасних методологічних підходах, а саме на процесному підході, за якого в основу організаційної структури покладається бізнес-процес, а не функція.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бойко, Л. І. Кластерний аналіз як одна з ефективних форм співробітництва [Текст] / Л. І. Бойко, С. В. Кудря // Економічний простір. – 2009. – № 22/1. – С. 327-331.
2. Буряк, П. Ю. Трансформація підприємницьких структур в умовах інтеграції [Текст] / П. Ю. Буряк, О. В. Лівіновська // Вісник Львівської держ. фінансової академії. Науковий журнал. – 2010. – № 18. – С. 7-16.
3. Господарський кодекс [Електрон. ресурс] : Закон України: за станом на 15.01.2011 р. / Верховна Рада України. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=436-15&p=1297332899958> 485
4. Добуш, Ю. Я. Особливості формування кластерів у рекреаційній сфері [Текст] / Ю. Я. Добуш //

- Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2008. – № 633. – С. 192-198.
5. Кузьменко, Л. Г. Світовий досвід регулювання суб'єктів природних монополій та основні напрямки вдосконалення їх регулювання в Україні [Текст] / Л. Г. Кузьменко // Наукові записки НаУКМА. Збірник наук. пр. – 2007. – Т. 68: Економічні науки. – С. 40-47.
6. Люльчак, З. С. Засади консолідації підприємств у паливно-енергетичному комплексі України [Текст] / З. С. Люльчак, О. П. Карпій, Г. І. Ільчук // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2009. – № 649. – С. 109-120.
7. Петренко, С. А. Порівняльний аналіз моделей організаційних структур підприємства [Текст] / С. А. Петренко // Бюл. Міжн. Нобелівського екон. форуму. Збірник наук. пр. – 2010. – № 1 (3), Том 2. – С. 245-252.
8. Підлісний, П. Теоретичні та практичні підходи до створення вертикально-інтегрованої системи господарського управління на залізничному транспорті [Текст] / П. Підлісний, М. Чеховська // Економіст. – 2010. – № 5. – С. 58-62.
9. Про акціонерні товариства [Електрон. ресурс] : Закон України: за станом на 01.01.2011 р. / Верховна Рада України. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=514-17&p=1297332899958> 485
10. Про холдингові компанії в Україні [Електрон. ресурс] : Закон України: за станом на 15.01.2011 р. / Верховна Рада України. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=3528-15>
11. Скопенко, Н. С. Формування та функціонування інтегрованих об'єднань в олійно-жировій галузі України [Текст] / Н. С. Скопенко, І. В. Тюха // Економіка харчової промисловості. Наук. журнал. – 2010. – № 3 (7). – С. 5-13.
12. Сухоруков, А. І. Проблеми фінансової безпеки України [Текст] : монографія / А. І. Сухоруков. – К.: НІПМБ, 2004. – 117 с.
13. Третько, В. В. Світовий досвід становлення та розвитку кластерів як інструмента активізації трансферу технологій [Текст] / В. В. Третько, О. В. Любохинець // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2008. – № 628. – С. 331-336.
14. Федулова, Л. І. Інтеграційні процеси корпоративних структур: можливості для інноваційного розвитку економіки України [Текст] / Л. І. Федулова // Економіка і прогнозування. – 2007. – № 3. – С. 9-31.

Надійшла до редколегії 24.01.2011.

Прийнята до друку 27.01.2011.

А. А. ПОКОТИЛОВ (ДІПТ)

ФАКТОРИ І ПАРАМЕТРИ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТІВ ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА

У статті розглянуто фактори й параметри інвестиційної привабливості об'єктів житлового будівництва, виконано їхню класифікацію за характером впливу.

Ключові слова: об'єкт житлового будівництва, інвестиційна привабливість, класифікація

В статье рассмотрены факторы и параметры инвестиционной привлекательности объектов жилищного строительства, выполнена их классификация по характеру воздействия.

Ключевые слова: объект жилищного строительства, инвестиционная привлекательность, классификация

In the article the factors and parameters of the investment attractiveness of housing projects are considered, their classification according to the nature of influence is completed.

Keywords: housing project, investment attractiveness, classification

Актуальність проблеми

Розвиток житлової сфери визначає наявність об'єктивної потреби населення в поліпшенні житлових умов. В Україні житлова проблема є однією із самих актуальних в силу дефіциту житла, доступного за ціною. Рівень, динаміка й коливання платоспроможного попиту серед населення на житло залежить від ступеня, а також стабільності доходів конкретних споживачів, ціни на будівельну продукцію й від стану економіки країни в цілому.

Цінова політика на ринку нерухомості істотно й для інвесторів, і для потенційних споживачів. Ціна на житлі визначається безліччю факторів: параметрами планування, місцем розташування в місті (районі), наявністю інфраструктури й т.д. Таким чином, ціну на об'єкти житлового будівництва житла визначають два фундаментальних фактори, що діють на ринку: попит з боку платоспроможних покупців; обмеженість пропозиції. Свою чергу ці фактори формують ступінь інвестиційної привабливості об'єктів житлового будівництва.

Аналіз останніх наукових досліджень і публікацій

Оцінки ефективності інвестицій і оцінки інвестиційної привабливості житлового будівництва розглядаються закордонними й вітчизняними вченими в межах дослідження проблеми:

- аналізу і оцінки ефективності інвестицій: Беренсом В., Бірманом Г., Бланком І. А., Божановою В. Ю. та ін. [4 – 7];

- аналізу і оцінки інвестиційної привабливості житлового будівництва: Грибовським С. В., Ордуєм Н., Фрідманом Д., Зюма-

ліною А. Р., Назаренко А., Третьяковим А. Г. та ін. [9 – 13].

Однак, більш детальної проробці вимагає питання визначення факторів і параметрів впливу на інвестиційну привабливість об'єктів житлового будівництва, що й обумовило актуальність даної роботи.

Мета роботи – визначити фактори і параметри інвестиційної привабливості об'єктів житлового будівництва та виконати їх класифікацію за характером впливу.

Виклад основного матеріалу дослідження

Інвестиційна діяльність у житловому будівництві визначається факторами, які на неї впливають. Ці фактори, визначають інтенсивність і ефективність інвестиційних процесів, знаходиться в сфері уваги місцевої, регіональної й державної влади. Сукупність цих факторів визначає інвестиційну привабливість конкретної країни, регіону, міста, галузі, підприємства й ін.

Інвестиційна привабливість є комплексною характеристикою, що може застосовуватися до різних об'єктів: від конкретного інвестиційного проекту (підприємства, фінансового інструмента, до галузевого комплексу або території). Цей параметр відображає факт відповідності даного інвестиційного об'єкта конкретним цілям певного інвестора.

Коли мова йде про інвестиційну привабливість сфери житлового будівництва, законодавчі й виконавчі органи влади, впливаючи на її параметри, забезпечують стійкий приплив внутрішніх і іноземних інвестицій у її сферу через удосконалення законодавчої бази, формування й реалізацію активної інвестиційної політики, зниження інвестиційних ризиків [1, 2].

В Законі України «Про інвестиційну діяльність» поняття інвестицій визначене як сукупність всіх видів грошових, майнових і інтелектуальних цінностей, вкладених у реалізацію різних програм і проектів виробничої, комерційної, соціальної, культурної або якої-небудь іншої сфери з метою одержання прибутку (доходу) або одержання соціально-економічного ефекту [1].

Інвестиції в об'єкти житлового будівництва – це вкладення капіталу в організацію бізнесу в житловій сфері. Мета цього – одержання соціально-економічного ефекту інвестором та споживачем: прибутку й забезпечення стандартних умов проживання громадян.

На передінвестиційному етапі реалізації будівельного інвестиційного проекту інвестиції в житлову сферу – це авансовані вкладення капіталу для придбання землі, що служить просторовою базою розміщення об'єктів житлового, соціально-культурного й побутового призначення, які формують кінцеву вартість готової будівельної продукції.

З одного боку, інвестиції в об'єкти житлового будівництва збільшують їхню вартість. З іншого боку – вони забезпечують необхідний рівень комфортності цих об'єктів.

Таким чином, крім економічної прибутковості, інвестиційні вкладення в житлову сферу дають ще позитивний соціальний ефект, який проявляється у вигляді поліпшення умов життя й побуту населення, збільшення кількості власників, стабілізації рівня життя в суспільстві й ін.

Інвестиції в житло також розглядаються як інвестиції в реальні активи, це: освоєння земельних ділянок, будівництво безпосередньо будинків, проведення ремонтно-реконструктивних заходів, технічне житлового-комунальне обслуговування житлового будинку.

Форма здійснення інвестицій буває в двох проявах:

- прямі інвестиції: вкладення капіталу безпосередньо в спорудження, в будинки, що реконструюються та ремонтуються;

- портфельні інвестиції: придбання акцій та облігацій, часток, паїв підприємств у інших учасників інвестиційного процесу.

Відомі наступні особливості інвестицій в житло:

- довгостроковість вкладень;
- тривалість періоду обертання інвестованого капіталу;
- необхідний великий розмір стартового капіталу для входження в галузь;

- безліч джерел фінансування;
- надійність і ефективність вкладень;
- значні витрати для професійного управління і житлово-комунального обслуговування житла.

Але, головною особливістю інвестування в будь-яку галузь економіки вважається формування сприятливого інвестиційного клімату країни, що, насамперед, залежить від економічних і політичних факторів усередині самої країни.

В дисертаційній роботі д.е.н., професора Аніна В. І. поняття «інвестиційний клімат» визначено наступним чином. Інвестиційний клімат – це комплекс політичних, соціально-економічних організаційно-правових, соціокультурних, фінансових і географічних факторів, на підставі яких іноземний підприємець оцінює ступінь ризику своєї діяльності, визначає припустимий рівень прибутковості від капіталовкладень і в результаті приймає рішення про здійснення інвестицій [3].

Інвестиційний клімат може бути оцінене як сприятливий, так і не сприятливий. Сприятливий інвестиційний клімат – це клімат, що сприяє активної діяльності інвесторів, що стимулює приплив капіталу. Несприятливий інвестиційний клімат – це клімат, що підвищує ризик для інвесторів, що веде до відтоку капіталу й загасанню інвестиційної діяльності.

На інвестиційний клімат впливають дві групи факторів:

- об'єктивні (до них відносять: природно-кліматичні умови, оснащеність сировинними та енергетичними ресурсами, географічне місцезнаходження, демографічна ситуація й ін.);

- суб'єктивні (до яких відносять фактори, що пов'язані з управлінням діяльністю людей).

Інвестиційна привабливість має наступні рівні: державний, регіональний, галузевий, підприємства, проектний, окремих фінансових інструментів.

У Великому економічному словарі за редакцією Азриліяна А. Н. наведено наступне визначення: «інвестиційна привабливість – це система заходів, що стимулює інвестиції (податкові пільги, прямі дотації та ін.) спрямована на встановлення структури й масштабів інвестицій, напрямків їхнього використання і джерел одержання в сферах і галузях економіки» [8].

В статті Назаренко А. наведено наступне поняття: «інвестиційна привабливість – це відносне поняття, що відображає думку певної групи інвесторів відносно співвідношення рівня ризику, рівня прибутковості й вартості фі-

нансових ресурсів у тій або іншій країні/регіоні/галузі, а також співвідношення рівня ризику/прибутковості/вартості ресурсів у різних країнах/регіонах/галузях».

Поняття «інвестиційна привабливість» складається з двох взаємодоповнюючих складових: «інвестиційний потенціал» та «інвестиційний ризик».

Під ризиком розуміють ймовірність того, що отриманий надалі дохід та інші вигоди від реалізації проекту будуть відрізнятись від прогнозованих (за Фрідманом Дж. і Ордуєм Н.) [13].

Під терміном «інвестиційний ризик» мається на увазі платна відшкодовна готовність інвестора вкладати свій капітал у конкретний проект при усвідомленій імовірності виникнення збитків або недоодержання доходів у порівнянні із прогнозним варіантом [13].

Таким чином, ризик – це імовірнісна категорія, що вимірюється як імовірність певного рівня втрат. Якщо ймовірність мала, то інвестор може здійснювати інвестиційні вкладення. У протилежному випадку інвестор може не зважитися на такі дії. Рівень інвестиційного ризику відображає ймовірність втрати інвестиції та дохід від них [13].

В табл. 1 наведено фактори і параметри інвестиційної привабливості об'єктів житлового будівництва.

Але більш поглиблений аналіз показує, що існують фактори, які впливають позитивно та негативно на інвестиційну привабливість об'єктів житлового будівництва.

Перша група – фактори, що підвищують інвестиційну привабливість об'єктів житлового будівництва. До них відносять:

1. Тривалість періоду експлуатації готової продукції об'єктів житлового будівництва.

2. Об'єкти житлового будівництва – це спосіб збереження капіталу, який можна застрахувати (крім таких випадків, як стихійні лиха, землетруси та ін.).

3. Ріст чисельності й потреб населення в поліпшенні житлових умов впливає на ріст попиту на об'єкти житлового будівництва.

4. Попит на об'єкти житлового будівництва не підданий великим коливанням, тобто при стабільній економіці він має найчастіше тенденцію до росту (за винятком кризових ситуацій на ринку).

5. У випадку обмеженості доступної за ціною пропозиції на ринку, вартість об'єктів житлового будівництва зростає, що підвищує їхню інвестиційну привабливість для суб'єктів рин-

ку, діяльність яких орієнтована на збереження й збільшення капіталу.

Таблиця 1

Фактори і параметри інвестиційної привабливості об'єктів житлового будівництва

№ з/п	Фактори	Параметри
1	Географічне положення	Вигідне
2	Забезпеченість природними ресурсами та їх доступність	Рівень забезпеченості природними ресурсами високий і ресурси доступні
3	Стан оточуючого середовища	Екологічна обстановка нормальна
4	Структурна розмаїтість економіки	Структура економіки адекватна вимогам ринку
5	Стан і розвиток інфраструктури ринку	Системи інфраструктури працюють швидко і надійно
6	Розвиток культури й освіти населення	Рівень освіти і кваліфікації населення високий. Існують можливості для навчання необхідним професіям
7	Соціально-політична стабільність	Соціально-політичний клімат безпечний
8	Економічна стабільність	Рівень виробничих витрат, які контролюються владою, низький; існує доступ до інвестиційного капіталу і кредитних ресурсів; виявляється сприяння зовнішньоекономічної діяльності з боку адміністрації
9	Взаємодія органів управління з підприємствами	Взаємодія адміністрації міста і підприємств міста взаємовигідна і прозора
10	Інформаційне і комунікаційне поле	Рівень оснащеності передовими технологіями високий
11	Нормативно-правове поле	Стан господарського законодавства і регулювання не обмежують розвиток виробництва
12	Система пільг інвесторам	Податкова система прийнятна і стабільна

6. Об'єкти житлового будівництва можуть виступати як джерело додаткового доходу для власника (в якості оренди).

7. У випадку одержання кредиту об'єкти житлового будівництва найкращі як застава для кредиторів.

8. Об'єкти житлового будівництва менше піддані зношуванню (фізичному або моральному) порівняно з іншими спонукуваними об'єктами інвестування, у зв'язку із чим немає необхідності у регулярному технічному обслуговуванні й ремонті.

9. Об'єкти житлового будівництва прив'язані до однієї земельної ділянки, тому його вартість зростає одночасно зі збільшенням вартості землі або поліпшенням інвестиційного клімату.

Друга група – фактори, що знижують інвестиційну привабливість об'єктів житлового будівництва. До них відносять:

1. Тривалість періоду окупності інвестицій (потрібне відволікання коштів на досить тривалий час в об'єкти житлового будівництва).

2. Необхідність вкладати велику суму коштів у зведення або придбання об'єктів житлового будівництва.

3. Вартість об'єктів житлового будівництва може знизитися у випадку зниження попиту на них.

4. Наявність на інвестиційному ринку інших більш привабливих об'єктів для інвестування, ніж об'єкти житлового будівництва (предмети мистецтва, антикваріат, прибутковий бізнес, цінні папери й ін.).

5. Більш низька ліквідність, ніж в інших об'єктів інвестування на ринку (автомобілі, цінні папери).

6. Складність і ризикованість процесів реєстрації й перереєстрації прав власності на об'єкти житлового будівництва при здійсненні яких-небудь угод з ними.

7. Високі витрати, пов'язані з оновленням або капітальним ремонтом об'єктів житлового будівництва.

8. Вартість об'єктів житлового будівництва може знизитися у випадку зниження рейтингів факторів місця розташування (погіршення екологічної ситуації, зміни в гіршу сторону транспортної розв'язки, погіршення рельєфу місцевості й ін.).

9. Вартість об'єктів житлового будівництва може знизитися у випадку погіршення інвестиційного клімату (політична ситуація в країні, економічні й соціальні умови й т.д.).

З метою підвищення ефективності використання інвестицій ними необхідно управляти, а саме: управляти всіма аспектами інвестиційної діяльності.

Сьогодні в Україні одна з першочергових задач – ефективне управління інвестиціями. В умовах переходу до ринку існує багато різноманітних організаційно-правових форм підприємств будівельної галузі, у яких виникають проблеми розробки інноваційних методів управління інвестиціями. Останні, з одного боку, погоджують інтереси всіх учасників інвестиційно-будівельного процесу, а з іншого боку – досить легко прив'язуються до специфіки діяльності кожної окремої організації, що розглядається.

Підвищення інвестиційної привабливості можна досягти через проведення заходів, дій та політик на рівні країни або регіону, що зазначені в Законі України про стимулювання розвитку регіонів [2].

На практиці доведено, що високих позитивних результатів можна домогтися при розробці механізмів державного регулювання розвитку суміжних галузей, також механізмів стимулювання залучення інвестицій у галузі/країну/регіон, але при цьому необхідно врахувати інтереси всіх їхніх учасників, удосконалити систему страхування інвестиційних ризиків, підвищити державні гарантії та ін.

Висновки і перспективи подальших наукових досліджень

В статті розглянуто теоретичні основи формування поняття інвестиційної привабливості. Встановлено, що це поняття використовується по відношенню до рівня країн, регіонів, галузей, підприємств, об'єктів інвестування, фінансових інвестиційних інструментів та ін.

Визначено фактори та параметри інвестиційної привабливості об'єктів житлового будівництва, виконано їх класифікацію за характером позитивного та негативного впливу на об'єкти житлового будівництва.

В подальших наукових розробках планується розробити економіко-математичну модель оцінки їх впливу на інвестиційну привабливість об'єктів житлового будівництва.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України про інвестиційну діяльність [Текст] : Від 18 вересня 1991 р., № 1560-XII / Україна. Закон // Відомості Верховної Ради. – 1991. – № 47. – С. 1351-1359.

2. Закон України про стимулювання розвитку регіонів [Текст] : Від 20 грудня 2005 р., № 3235-IV / Україна. Закон // Відомості Верховної Ради. – 2005. – № 51. – С. 2662, ст. 548.
3. Анін, В. І. Теоретико-методологічні основи функціонування будівельних організацій в конкурентному середовищі [Текст] : дис. ... докт. екон. наук / В. І. Анін. – К., 2004. – 399 с.
4. Беренс, В. Руководство по оценке эффективности инвестиций [Текст] / В. Беренс, П. Хавранек. – М.: ИНФРА-М, 1995. – 528 с.
5. Бирман, Г. Экономический анализ инвестиционных проектов [Текст] / Г. Бирман, С. Шмидт. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997. – 631 с.
6. Бланк, И. А. Инвестиционный менеджмент [Текст] / И. А. Бланк. – К.: ИТЕМ ЛТД, 1995. – 304 с.
7. Божанова, В. Ю. Определение привлекательной зоны для инвестирования в строительство жилья [Текст] / В. Ю. Божанова // Комунальне господарство міст: Наук.-техн. зб. – Вип. 92. – Х., 2010. – С. 79-89.
8. Большой экономический словарь [Текст] / под ред. А. Н. Азрилияна. – 7-е изд., доп. – М.: Ин-т новой экономики, 2008. – 1472 с.
9. Грибовский, С. В. Оценка доходной недвижимости [Текст] / С. В. Грибовский. – СПб.: Питер, 2001. – 336 с.
10. Зюмалина, А. Р. Инвестиционная привлекательность города: понятие, определения, способы оценки [Текст] / А. Р. Зюмалина // Молодой ученый. – № 8. – Т. 1. – М., 2011. – С. 133-137.
11. Назаренко, А. Инвестиционная привлекательность и стоимость недвижимости [Электрон. ресурс] / А. Назаренко // Commercial Real Estate. – 2006. – № 4 (сентябрь). – Режим доступа: <http://www.kanzas.ua/go/ru/article--ResourceID--25463--category--estimation--page.html>
12. Третьяков, А. Г. Управление инвестиционной активностью в регионе [Текст] : автореф. дис. ... канд. екон. наук // А. Г. Третьяков. – М.: ГАГС, 2006. – С. 18.
13. Фридман, Д. Анализ и оценка приносящей доход недвижимости [Текст] / Д. Фридман, Н. Ордуй. – М.: Дело АТД, 1995. – 480 с.

Надійшла до редколегії 18.01.2011.

Прийнята до друку 27.01.2011.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЦІН НА ДОДАТКОВІ ПОСЛУГИ, ЩО НАДАЮТЬСЯ ПАСАЖИРАМ НА ВОКЗАЛАХ І В ПОЇЗДАХ

Розглянуто порядок складання калькуляцій на додаткові послуги, що надаються пасажиром на вокзалах, пропонується методика розрахунку прямих витрат.

Ключові слова: залізничний транспорт, пасажирське господарство, додаткові послуги, калькулювання

Рассматривается порядок составления калькуляций на дополнительные услуги, предоставляемые пассажирам на вокзалах, предлагается методика расчета прямых расходов.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пассажирское хозяйство, дополнительные услуги, калькуляция

The order of drafting of calculations on the additional services given to passengers at train stations is considered; a procedure of calculation of the direct charges is offered.

Keywords: railway transport, passenger facilities, additional services, calculation

Вступ

Розробка єдиного методичного підходу до визначення цін на додаткові послуги, що надаються пасажиром на вокзалах, набуває актуальності в період реструктуризації залізниць. Метою створення методики є наближення ціни послуги за калькуляцією до реальної ринкової ціни, правильне визначення прямих витрат.

Постановка задачі

Визначення цін на додаткові послуги, що надаються пасажиром та клієнтам залізниць на вокзалах, відбувається шляхом складання калькуляцій.

Удосконалена методика повинна забезпечувати розрахунок прямих витрат за нормативами з урахування росту цін на прогностичний період; максимальне віднесення матеріальних витрат, витрат на оплату праці, відрахувань на соціальні заходи, амортизації та деяких інших операційних витрат напівпрямі на конкретну послугу; розподіл загальновиробничих, адміністративних витрат структурного підрозділу, а також адміністративних, інших операційних витрат та витрат на збут залізниці на окремі послуги; обґрунтування вибору критеріїв розподілу витрат на окремі центри витрат та на послуги, що надаються в них.

Правила складання калькуляцій передбачають такі елементи та складові:

1. Прямі витрати (матеріальні витрати, витрати на оплату праці, відрахування на соціальні заходи, амортизаційні відрахування, інші прямі витрати);

2. Загальновиробничі нерозподілені витрати;

3. Адміністративні витрати структурного підрозділу;

4. Адміністративні, інші операційні витрати, витрати на збут залізниці;

5. Розрахунковий прибуток;

6. Податок на додану вартість.

Загальна ціна однієї послуги повинна порівнюватися з середньою ринковою ціною послуги та коригуватися в ту чи іншу сторону в залежності від соціальної політики Укрзалізниці, платоспроможності населення та попиту на цю послугу.

Результати

Пасажирське господарство Укрзалізниці надає пасажиром та клієнтам два види послуг:

– основна послуга – є безпосереднє переміщення пасажиром, багажу та вантажобагажу;

– додаткова послуга – сукупність операцій, які надаються до, одночасно та після виконання основної послуги.

Порівняння фінансових показників від пасажирських перевезень і підсобно-допоміжної діяльності показує, що доходи від підсобно-допоміжної діяльності складають 25,3 % від доходів від перевезень. Тобто підсобно-допоміжна діяльність суттєво впливає на загальні показники роботи пасажирського господарства Укрзалізниці. При аналізі встановлено, що найбільші доходи на вокзалах приносить комісійний збір – близько 80 %.

Кожна залізниця та кожний відокремлений структурний підрозділ формує ціни на послуги самостійно без належного економічного обґрунтування. Аналіз біля 600 калькуляцій по різних залізницях показав, що ціни суттєво відрі-

зняються між собою, а рентабельність іноді сягає 340 % і коливається в кілька разів, що викликає нарікання контролюючих органів.

На сьогоднішній час об'єктивно виникла потреба у впровадженні нової методики визначення цін на додаткові послуги, за допомогою якої можна розрахувати ціни на додаткові послуги, які є максимально наближеними до середніх ринкових цін, враховують платоспроможний попит споживачів, та яка враховувала б ті недоліки, на які вказують контролюючі органи, зокрема Антимонопольний комітет.

Мета розробки методики:

1. Розробка єдиного методичного підходу до визначення цін на додаткові послуги, що надаються пасажиром на вокзалах;

2. Наближення ціни послуги за калькуляцією до реальної ринкової ціни;

3. Правильне визначення прямих витрат за нормативами з урахування росту цін на прогнозний період;

4. Максимальне віднесення матеріальних витрат, витрат на оплату праці, відрахувань на соціальні заходи, амортизації та деяких інших операційних витрат на пряму на конкретну послугу;

5. Розробка методики розподілу загально-виробничих, адміністративних витрат структурного підрозділу, а також адміністративних витрат на утримання апарату управління пасажирської служби на окремі послуги;

6. Вибір критеріїв розподілу витрат на окремі центри витрат та на послуги, що надаються в них.

Прямі витрати (рис. 1) необхідно розраховувати на підставі нормативних розрахунків матеріалів, амортизації, водопостачання, опалення, енергопостачання та освітлення. Витрати на оплату праці слід також розраховувати за нормативами, а при їх відсутності за типовим штатним розкладом залізниці з урахуванням усіх доплат, премій та інше. Інші прямі витрати можна розраховувати на підставі звітних даних структурного підрозділу з урахуванням їх росту на прогнозний період.

До складу виробничої собівартості слід включати також загально-виробничі нерозподілені витрати структурного підрозділу за формою 10-зал з урахування прогнозного росту, які на пряму не відносяться на послугу і підлягають розподілу пропорційно прямим витратам. Перед розподілом цієї суми із неї слід виключити витрати на водопостачання, опалення, енергопостачання і освітлення та амортизацію

та інші витрати, що були віднесені на пряму на послуги.

Звичайно в практиці на пряму на послугу відносяться витрати на освітлення, опалення і водопостачання тільки при наявності лічильників в окремих приміщеннях, де надається ця послуга. Решта витрат на енергоносії для потреб загально-виробничих приміщень розподіляється між послугами пропорційно за обраним критерієм. Раніш ці витрати включали до складу загально-виробничих витрат і розподілялися пропорційно фонду оплати праці. В даній методиці запропонована інша база.

Визначення прямих витрат за нормативами, а не за звітними даними бухгалтерії структурного підрозділу, не тільки правильно, але і дає змогу більш точно розрахувати ціну послуги.

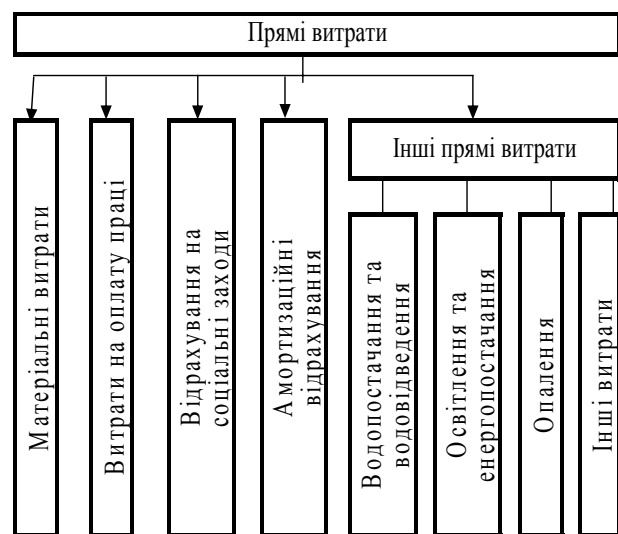


Рис. 1. Структура прямих витрат

Матеріальні витрати включають матеріали (для виконання послуги), паливо (для автомобілів), покупні комплектуючі вироби, напівфабрикати, матеріали для прибирання приміщень та інші.

Матеріали умовно можна поділити на дві групи:

– матеріали, що використовують безпосередньо при наданні послуги (бланки, пральний порошок, тощо);

– матеріали, вартість яких розподіляється на окремі послуги за певним критерієм (матеріали на прибирання приміщень і т.п.).

Складність віднесення вартості матеріалів на окремі послуги полягає у тому, що спочатку їх слід розподілити по окремим центрам витрат, де надаються в одному приміщенні одночасно кілька послуг, а потім окремо по кожній послугі. По кожному центру витрат матеріали визна-

чаються за нормативом, а між окремими послугами – за іншим принципом. Наприклад, при наданні послуг в багажному відділенні вартість матеріалів, що пов'язана з обслуговуванням приміщень, розподіляється на окремі послуги пропорційно площі приміщення, на якій виконується конкретна послуга. У довідковому бюро також надається одночасно кілька послуг, але вартість матеріалів для прибирання приміщення розподіляється пропорційно витратам часу робітника по кожній послугі.

Витрати на оплату праці слід розраховувати за існуючими нормативами, або типовим штатним розкладом залізниці та посадовими окладами, часовими тарифними ставками з урахуванням усіх видів доплат і премій. При складанні калькуляції необхідно враховувати прогнозований коефіцієнт росту заробітної плати.

Згідно запропонованих принципів калькулювання заробітна плата працівників структурного підрозділу (вокзалу) розподіляється на три групи:

- до першої групи відноситься оплата праці робітників, що напряму займаються наданням послуги;
- до другої групи відносяться витрати на оплату праці робітників, що обслуговують приміщення, і яку можна визначити за нормативами та розподілити на окремі послуги пропорційно площі приміщень, або іншій базі;
- до третьої групи відноситься витрати на оплату праці загальновиробничого персоналу, за винятком того, що увійшов до другої групи.

Сума витрат на оплату праці по усім трьом групам повинна дорівнювати 100 % витрат за даною статтею для виробничої собівартості. Витрати на оплату праці перших двох груп відносяться на прямі витрати, а третьої групи – до складу загальновиробничих нерозподілених витрат.

Витрати на оплату праці робітників, що одночасно надають кілька послуг, слід розподіляти між окремими послугами за фактичними, або нормативними витратами часу по кожній послугі. Не доцільно визначати витрати праці на одну послугу, бо в такому разі не увесь фонд оплати праці робітників буде віднесено на послугу.

Розрахунок відрхувань на соціальні заходи включають не представляє складності, так як виконується у повній відповідності до діючого законодавства. Нарахування виконуються на величину оплати праці по конкретній послугі.

Елемент витрат «амортизація» включає суму нарахованої амортизації основних засобів, нематеріальних активів та інших необоротних матеріальних активів.

Визначення амортизаційних витрат, які слід віднести на прямі витрати згідно запропонованих принципів, відбувається двома етапами:

- амортизаційні відрхування на вартість устаткування, інструменту, технологічної оснастки, транспортних засобів, передаточних устроїв, що задіяні безпосередньо при наданні послуги, відносяться напряму до витрат на надання конкретної послуги;
- амортизаційні відрхування на вартість приміщення, або частки приміщення, де надається послуга, відносяться після розподілу на витрати конкретної послуги.

Така методика віднесення амортизаційних відрхувань на послуги запропонована з метою більш точного визначення величини прямих витрат конкретної послуги та наближення її ціни до реального значення.

Наприклад, раніш для калькулювання ціни послуги, що надається в платному залі очікування, амортизація приміщення залу була віднесена до загальновиробничих нерозподілених витрат і її вартість визначалась як частина амортизаційних відрхувань пропорційно фонду оплати праці робітників даного залу. В результаті на дану послугу пропорційно ФОП було віднесено амортизаційних відрхувань дуже мало, в той час як приміщення цього залу займає значну частину пасажирського вокзалу. Це призвело до значної похибки при калькулюванні ціни послуги. Для унеможливлення таких помилок розрахунок амортизаційних відрхувань було поділено на дві частини, кожна з котрих визначалась окремими шляхами.

Розподіл амортизаційних відрхувань будівлі вокзалу пропорційно площі приміщення окремого центру витрат слід виконувати за допомогою коефіцієнтів, які мусять враховувати висоту кожного приміщення та його призначення і оформлення.

Інші прямі витрати, що розподіляються на окремі послуги, включають плату за енергопостачання, водопостачання, опалення при відсутності лічильників по нормативах, а при наявності – за їх показаннями, а саме:

- за освітлення приміщень;
- за силову електроенергію;
- за опалення приміщень;
- за водопостачання та водовідведення.

Розрахунок витрат на енергоспоживання виконується на підставі розрахунків, виконаних

за нормативами технічними службами вокзалу, та ціни енергоресурсів.

Розподіл витрат на енергоресурси в приміщеннях, де надається одночасно кілька послуг, виконується пропорційно обраній базі (площа, витрати часу та інше). Крім того до інших прямих витрат включаються вартість постійних послуг сторонніх організацій.

Загальновиробничими є витрати, що пов'язані з обслуговуванням окремих приміщень структурного підрозділу та управління ними. До складу загальновиробничих нерозподілених відносяться витрати за винятком тих, що були включені до прямих витрат напряму, або після розподілу за визначеним критерієм.

Представляє складність віднесення "визначених згідно запропонованих принципів загальновиробничих нерозподілених витрат на окремі послуги. Для цього необхідно розрахувати коефіцієнт відношення їх до величини прямих витрат за формулою (1):

$$K_{звн} = \frac{ЗВВ_6 - ПРР_6}{ПР_6 + ПРР_6}, \quad (1)$$

де $ЗВВ_6$ – загальновиробничі витрати звітного періоду за даними бухгалтерського обліку;

$ПРР_6$ – прямі витрати, що додатково розподілені в новій калькуляції, за даними бухгалтерського обліку звітного періоду;

$ПР_6$ – прямі витрати, що напряму віднесені до складу прямих витрат звітного періоду за даними бухгалтерського обліку.

Після цього можна визначити величину загальновиробничих нерозподілених витрат за формулою (2):

$$ЗВВН_{посл} = K_{звн} \times ПР_{посл}, \quad (2)$$

де $ЗВВН_{посл}$ – величина загальновиробничих нерозподілених витрат, що відносяться на окрему послугу;

$ПР_{посл}$ – прямі витрати конкретної послуги.

Для розрахунку необхідно виконати аналіз усіх статей загальновиробничих витрат за даними бухгалтерії звітного періоду з метою виключення витрат, які при складанні калькуляції були віднесені на прямі витрати.

Виробнича собівартість послуги визначається як сума прямих і загальновиробничих нерозподілених витрат.

Віднесення адміністративних витрат структурного підрозділу, адміністративних витрат на утримання апарату управління пасажирської служби на окрему послугу відбувається за до-

помогою коефіцієнту, який розраховується за формулою (3):

$$K_n = \frac{(АВСП + АВЗ)_6}{ВС_6}, \quad (3)$$

де $АВСП$ – адміністративні витрати структурного підрозділу звітного періоду за даними бухгалтерії;

$АВЗ$ – адміністративні витрати на утримання апарату управління пасажирської служби звітного періоду за даними бухгалтерії.

$ВС_6$ – виробнича собівартість усіх послуг, що надаються пасажирським господарством залізниці у звітному періоді за даними бухгалтерії.

Частка вказаних витрат, що буде віднесена на конкретну послугу визначається за формулою (4):

$$НВ_{посл} = K_n \times ВС_{посл}, \quad (4)$$

де $НВ_{посл}$ – накладні витрати на виробничу собівартість послуги;

K_n – коефіцієнт накладних витрат;

$ВС_{посл}$ – виробнича собівартість послуги.

Виробнича собівартість послуги визначається як сума прямих і загальновиробничих нерозподілених витрат.

Віднесення адміністративних витрат структурного підрозділу, адміністративних, інших операційних витрат та витрат на збут залізниці на окремі послуги відбувається за допомогою відповідних коефіцієнтів.

Після розрахунку ціни за калькуляцією, її слід порівняти з середньою ринковою ціною аналогічної послуги або прийнятою ціною. Якщо відхилення в ту чи іншу сторону складає більш ніж 20...30 %, то розрахункову ціну послуги необхідно коригувати шляхом зміни величини прибутку.

Висновки

За результатами проведених досліджень і розрахунків можна зробити наступні висновки:

1. Для розрахунку цін на додаткові послуги, що надаються пасажиром на вокзалах, використовувати існуючий метод складання калькуляцій не доцільно. При використанні цього методу розрахункова повна собівартість послуги суттєво відрізняється від реальної, що потребує нарахування прибутку з великим рівнем рентабельності.

2. Нові принципи калькулювання ціни на додаткові послуги дозволять наблизити повну

собівартість послуги до реальної, знизити їх необґрунтовану рентабельність і тим самим ліквідувати штрафні санкції контролюючих органів.

Запропонована нова методика є підґрунтям для єдиного методичного підходу до визначення цін на додаткові послуги, що надаються пасажиром на вокзалах.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Наказ Міністерства транспорту України «Про затвердження методичних рекомендацій з формування собівартості перевезень (робіт, послуг) на транспорті» від 05.02.2001 р. № 65 [Текст].
2. Наказ Укрзалізниці «Про введення в дію Інструкції по калькулюванню собівартості перевезень на залізничному транспорті України» від 20.12.2000 р. № 635-Ц [Текст].
3. Науково-дослідна робота «Дослідження перспективної моделі управління залізничним транспортом в ринкових умовах з визначенням оптимальної організаційно-правової форми суб'єкту господарювання» [Текст]. – Номер державної реєстрації № 0103U007280. – Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004.
4. Аксьонов, І. М. Вдосконалення системи обслуговування пасажирів [Текст] / І. М. Аксьонов // Залізн. трансп. України. – 2003. – № 2. – С. 34-37.
5. Бараш, Ю. С. Основні напрямки структурної реформи залізничного транспорту [Текст] / Ю. С. Бараш // Залізн. трансп. України. – 2004. – № 2. – С. 3-5.
6. Бараш, Ю. С. Принципи побудови структури управління залізничним транспортом [Текст] / Ю. С. Бараш // Залізн. трансп. України. – 2004. – № 3. – С. 66-68.
7. Сич, Є. М. Пасажирський комплекс залізничного транспорту: розвиток і ефективність [Текст] : монографія / Є. М. Сич, В. П. Гудкова. – К.: Видавництво «Аспект – Поліграф», 2004. – 248 с.
8. Аналіз роботи залізниць України по пасажирських перевезеннях та підсобно-допоміжній діяльності пасажирського господарства за 2004-2010 р. [Текст]. – К.: Укрзалізниця.
9. Науково-дослідна робота «Розробка науково-обґрунтованої програми розвитку пасажирського господарства в умовах ринкових перетворень» [Текст]. – Номер державної реєстрації 0104U008415. – Східний науковий центр Транспортної Академії України.

Надійшла до редколегії 12.01.2011.

Прийнята до друку 17.01.2011.

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ

В статті проаналізовано основні результати діяльності залізничного транспорту України, визначено його важливу роль в економіці держави та сформульовано основні напрямки розвитку.

Ключові слова: залізничний транспорт України, реформування галузі, ефективне функціонування

В статье проанализированы основные результаты деятельности железнодорожного транспорта Украины, определена его важная роль в экономике государства и сформулированы основные направления развития.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт Украины, реформирование отрасли, эффективное функционирование

Main results of railway transport activities in Ukraine are analyzed in the article. The important role of railway transport in the state economy is defined and the basic directions of its development are formulated.

Keywords: railway transport of Ukraine, reformation of branch, effective functioning

Українська мережа залізниць є однією з найбільш розвинутих серед європейських країн, займає провідне місце за обсягами перевезень та відіграє важливу транзитну роль на Євразійському континенті.

Залізничний транспорт є базовою галуззю національної економіки та основою її транспортної системи, забезпечує понад дві третини загального вантажо- та пасажирообігу.

У 2010 році перевезення пасажирів залізничним транспортом склали 493,9 млн пасажирів, що на 0,8 % більше рівня 2009 року та 432,9 млн тонн вантажів, що на 10,6 % більше рівня минулого року [1].

В порівнянні з попереднім 2009 роком транзит залізничним транспортом зріс на 2,7 %.

За 2010 рік підприємствами залізничного транспорту України отримано чистого доходу від реалізації послуг в сумі 54 млрд грн та сплачено до Державного бюджету та державних цільових фондів 10,9 млрд грн.

На підприємствах Укрзалізниці середньомісячна заробітна плата становить 2851 грн, на підприємствах залізничного транспорту – 2462 грн.

Протягом 2010 року на залізничному транспорті освоєно капітальних інвестицій 8150,3 млн грн. В 2010 році на підприємствах Укрзалізниці введено в дію основних фондів на 5879,4 млн грн.

В тому числі оновлено рухомого складу на 2531,9 млн грн., у тому числі придбано рухомого складу на суму 1035,5 млн грн, а саме: піввагонів – 714 одиниць; пасажирських вагонів – 21 одиниць; електровозів змінного та постійного струму 7 одиниць; колійного рухомого складу – 12 одиниць.

Модернізовано рухомого складу на суму 1496,4 млн грн, колії – на суму 1689,4 млн грн.

У 2010 році виконано робіт на об'єктах будівництва на суму 2458,4 млн грн, у тому числі на будівництві залізнично-автомобільного переходу через р. Дніпро в м. Києві – на суму 1055,4 млн грн, у тому числі за рахунок коштів державного бюджету 650 млн грн.

Виконано роботи з модернізації залізничного напрямку Полтава – Кременчук – Бурти на суму 163,7 млн грн та модернізації інфраструктури приміського залізничного транспортного вузла у м. Сімферополі – 99,4 млн грн.

На реконструкції вокзального комплексу ст. Донецьк освоєно 302,2 млн грн.

Виконано робіт з електрифікації на дільниці Фастів – Житомир – Новоград-Волинський на суму 21,7 млн грн.

Велоса будівництво тренувального табору «Сонячний» для футбольних команд фіналу ЄВРО-2012.

Залізницями придбано механізмів та обладнання на суму 516,7 млн грн.

Проводиться робота з удосконалення процедури проведення оцінки відповідності вимогам до надання послуг з перевезення пасажирів та вантажів залізничним транспортом – постановою Кабінету Міністрів України від 01.03.2010 № 193 затверджено Технічний регламент надання послуг з перевезення пасажирів та вантажів залізничним транспортом [2].

Постійно вживаються заходи для забезпечення безперешкодного доступу людей з обмеженими можливостями до інфраструктури залізничного транспорту.

За результатами впровадження заходів Програми енергозбереження на залізничному транспорті України за 2006-2010 роки зекономлено

297 тис. тонн палива в умовному обчисленні, із них 380,1 млн кВт·год електроенергії, 94,2 тис. тонн дизельного палива, 9,7 млн м³ природного газу, 22,6 тис. тонн вугілля, 3 тис. тонн мазуту топкового та 16,6 тис. Гкал теплової енергії.

Основні напрямки використання альтернативних джерел енергії на підприємствах залізничного транспорту стосуються стаціонарної теплоенергетики.

Укрзалізниця з питань впровадження енергозберігаючих технологій співпрацює з галузевими вищими навчальними закладами: Українською державною академією залізничного транспорту (м. Харків), Державним економіко-технологічним університетом транспорту (м. Київ), Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна та ДП «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України» (м. Київ).

В рамках виконання планів Уряду щодо скорочення споживання природного газу (доручення Кабінету Міністрів України від 27.01.2009 № 3794/0/1-09 та ін.) у 2010 році зменшення обсягів споживання природного газу на підприємствах залізничного транспорту порівняно зі встановленими нормативами складало 22,1 млн м³, або 15,1 %.

З метою подальшого вдосконалення процесу моніторингу споживання природного газу в Укрзалізниці за допомогою АРМу «Природний газ» організовано щоденний контроль за обсягами споживання природного газу та виконання встановлених лімітів.

Аналіз дорожньо-транспортних пригод виявив, що впродовж 2010 року на залізницях України допущено 818 транспортних подій, у т.ч. 568 інцидентів, з них 16 серйозних та 250 порушень.

На жодній із залізниць загальну кількість транспортних подій не збільшено [3].

У 2010 році на залізничних переїздах і коліях Укрзалізниці стався 101 випадок дорожньо-транспортних пригод (ДТП), у яких загинуло 73 особи і 46 травмовано.

Пошкоджено пожежами 3 одиниці вантажних вагонів, 1 одиницю спеціального рухомого складу, 1 одиницю тепловозу, 2 одиниці вагонів дизель-поїздів, 3 вагони електропоїздів, 3 пасажирські вагони. Пожежі траплялись з наступних причин: зварювальні роботи, коротке замикання, підпал, порушення правил перевезення НВ, стороннє джерело.

У 2010 році внесені та оформлені в установленому порядку доповнення до Галузевої угоди

між Міністерством транспорту та зв'язку України і Радою профспілки залізничників і транспортних будівельників України на 2007-2011 роки.

У сфері міжнародної діяльності у червні 2010 року Укрзалізницею та ВАТ «РЖД» підписано Угоду про спільні дії в організації швидкісного пасажирського руху і розвитку напрямку Москва – Кавказ через Україну.

Враховуючи будівництво нових об'єктів транспортної інфраструктури, необхідність реконструкції вже існуючих, а також незадовільний технічний стан, економічну недоцільність утримання на балансах підприємств зношених, непридатних для подальшого використання основних засобів, Міністерством прийнято рішення щодо списання 31 колії, 3 072 одиниць вагонів різного призначення (з них – 108 пасажирських), 32 інвентарних одиниць тягового складу (тепловози, паровози, електровози).

Основними проблемами галузі залізничного транспорту залишаються: значний знос основних виробничих фондів, насамперед рухомого складу; недостатній обсяг інвестицій, необхідних для оновлення основних виробничих фондів та забезпечення інноваційного розвитку галузі; переохрещення субсидування збиткових пасажирських перевезень за рахунок вантажних перевезень; відсутність механізму компенсації витрат, пов'язаних з перевезенням пільгових категорій пасажирів; недосконалість організаційної структури та системи управління галузю; низький рівень розвитку приватно-державного партнерства.

У зв'язку з цим актуальним є формування та реалізація державної політики щодо забезпечення розвитку галузі залізничного транспорту, її стабільного та ефективного функціонування [4].

Основними стратегічними напрямками реалізації є: технічне переоснащення об'єктів інфраструктури залізниць, зокрема модернізація залізничних ліній за напрямками міжнародних транспортних коридорів; підвищення пропускної спроможності залізничних ліній; модернізація об'єктів інфраструктури залізничних ліній; подальша електрифікація залізничних ліній з інтенсивним рухом вантажних поїздів; упровадження пристроїв, що підвищують безпеку руху поїздів та автомобільного транспорту на залізничних переїздах; будівництво шляхопроводів замість залізничних переїздів; технічне переоснащення колійного господарства, забезпечення подальшої механізації технологічних процесів; забезпечення залізниць рухомим

складом вітчизняного виробництва з більш високими техніко-технологічними показниками, удосконалення технології організації перевезень шляхом створення автоматизованої системи керування перевезеннями; створення системи логістики та мережі логістичних структур; поетапне впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів.

Важливим стратегічним напрямом є реформування галузі залізничного транспорту, що передбачає на першому етапі розмежування господарських функцій і функцій державного управління, утворення державного господарського об'єднання на базі Укрзалізниці, залізниць та інших підприємств, установ і організацій залізничного транспорту загального користування, а на другому – оптимізацію організаційної структури залізничного транспорту; удосконалення системи формування тарифів на послуги залізничного транспорту та впровадження ринкового механізму ціноутворення.

Реалізація стратегічних заходів сприятиме підвищенню ефективності функціонування галузі, дасть змогу задовольнити потребу суспільства у транспортному обслуговуванні та підвищити якість надання послуг з перевезення; удосконалити систему управління галуззю залізничного транспорту; створити умови для функціонування підприємств залізничного транспорту відповідно до вимог європейських і світових стандартів, прискорення темпів інтеграції

залізничного транспорту до європейської та світової транспортної системи і максимального використання транзитного потенціалу держави; підвищити конкурентоспроможність та інвестиційну привабливість галузі залізничного транспорту і рівень соціального забезпечення її працівників.

Таким чином, проаналізовано основні результати діяльності залізничного транспорту України, визначено його важливу роль в економіці держави та сформульовано основні напрямки розвитку.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Офіційний веб-сайт Державної служби статистики [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 01.03.2010 № 193 «Про затвердження Технічного регламенту надання послуг з перевезення пасажирів та вантажів залізничним транспортом» [Текст].
3. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України за 2010 рік [Текст]. – К., 2011.
4. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року №1555-р «Про схвалення Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року» [Текст].

Надійшла до редколегії 12.05.2011.

Прийнята до друку 16.05.2011.

Т. В. ТЕСЛЕНКО (ДІПТ)

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ

Запропоновано організаційну структуру управління залізничними вантажними перевезеннями, побудовану за продуктовим принципом, що дозволяє функціонування приватних компаній-операторів і реалізацію перевезень на конкурентній основі.

Ключові слова: вертикально-інтегрований принцип, транспортно-експедиційне відділення, продуктова структура, організаційна структура, модель реформування, виробничі дільниці, департамент, логістика, реорганізація

Предложена организационная структура управления железнодорожными грузовыми перевозками, основанная на продуктовом принципе, что позволяет функционирование частных компаний-операторов и реализацию перевозок на конкурентной основе.

Ключевые слова: вертикально-интегрированный принцип, транспортно-экспедиционное отделение, продуктовая структура, организационная структура, модель реформирования, производственные участки, департамент, логистика, реорганизация

The organizational structure of management of railway freight transportations based on product principle is offered that allows functioning of private operator companies and realizing of transportations on competition basis.

Keywords: vertically integrated principle, freight forwarding division, product structure, organizational structure, model of reform, production areas, department, logistics, restructuring

ВСТУП

В останньому програмному документі [1] рекомендовано структуру управління залізничним транспортом будувати за вертикально-інтегрованим принципом, що є більш сучасним терміном, а за своєю суттю – вже згаданою продуктовою структурою.

Необхідно зауважити, що так звану продуктову структуру з організації вантажних перевезень слід розглядати як частину існуючої організаційної структури управління Укрзалізниці. Тобто, організаційна структура управління вантажними перевезеннями є складовою частиною майбутньої компанії АТ «Укрзалізниця».

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Формування нової організаційної структури управління вантажними перевезеннями на залізницях України передбачає перехід від територіально-функціональної організації структури управління залізничним транспортом до вертикально-інтегрованої за видами основної діяльності.

РЕЗУЛЬТАТИ

В теперішній час управління вантажними перевезеннями здійснює Головне управління комерційного господарства Укрзалізниці. Бу-

дуючи організаційну структуру майбутнього Департаменту вантажних перевезень, за основу бралася існуюча структура управління відповідним господарством, що наведена на рис. 1 з урахуванням додаткових функцій щодо організації вантажних перевезень, навантажувально-розвантажувальних робіт, митних операцій, прийнятої моделі реформування за вертикально-інтегрованою схемою та етапності проведення структурних перетворень.

З метою підвищення ефективності роботи комерційного господарства та приведення його до єдиної структури управління саме зараз проводиться реорганізація механізованих дистанцій навантажувально-розвантажувальних робіт (МЧ) із включенням до їх складу виробничих дільниць комерційного господарства залізниць, які на сьогодні частково виконують функції раніше розформованих механізованих дистанцій і є рентабельними або можуть бути такими в результаті реорганізації [3, 4, 5]. Впровадження централізованої системи управління МЧ, посилення відповідальності керівництва дистанцій, можливість інвестування коштів на придбання нової техніки та розширювання спектру послуг вже дали оптимістичні результати. За два місяці 2011 р. приріст вантажопереробки склав 116 % від аналогічного показника минулого року, дохід склав майже 17 млн грн, що на 133 % вище того ж показника минулого року.

Для ефективного функціонування вантажних перевезень в умовах ринку автор пропонує створити в складі АТ «УЗ» на першому етапі реформування Департамент вантажних перевезень та підпорядкувати йому дочірні підприємства з транспортної логістики (ДП «ЦТЛ УЗ») та з організації вантажної та комерційної роботи (ДП «ЦОВР»). Останнє, в свою чергу, матиме філії на залізницях, підпорядковані комерційним службам.

Функціонування у складі Департаменту вантажних перевезень ДП «ЦТЛ УЗ» дозволить забезпечити технічну, технологічну та економічну узгодженість учасників транспортного процесу у внутрішніх і міжнародних вантажних перевезеннях у створенні «архітектури» перевезень. У склад ДП «ЦТЛ УЗ» доцільно включити такі структури як Єдиний технологічний центр з обробки перевізних документів, Розрахунковий центр міжнародних перевезень.

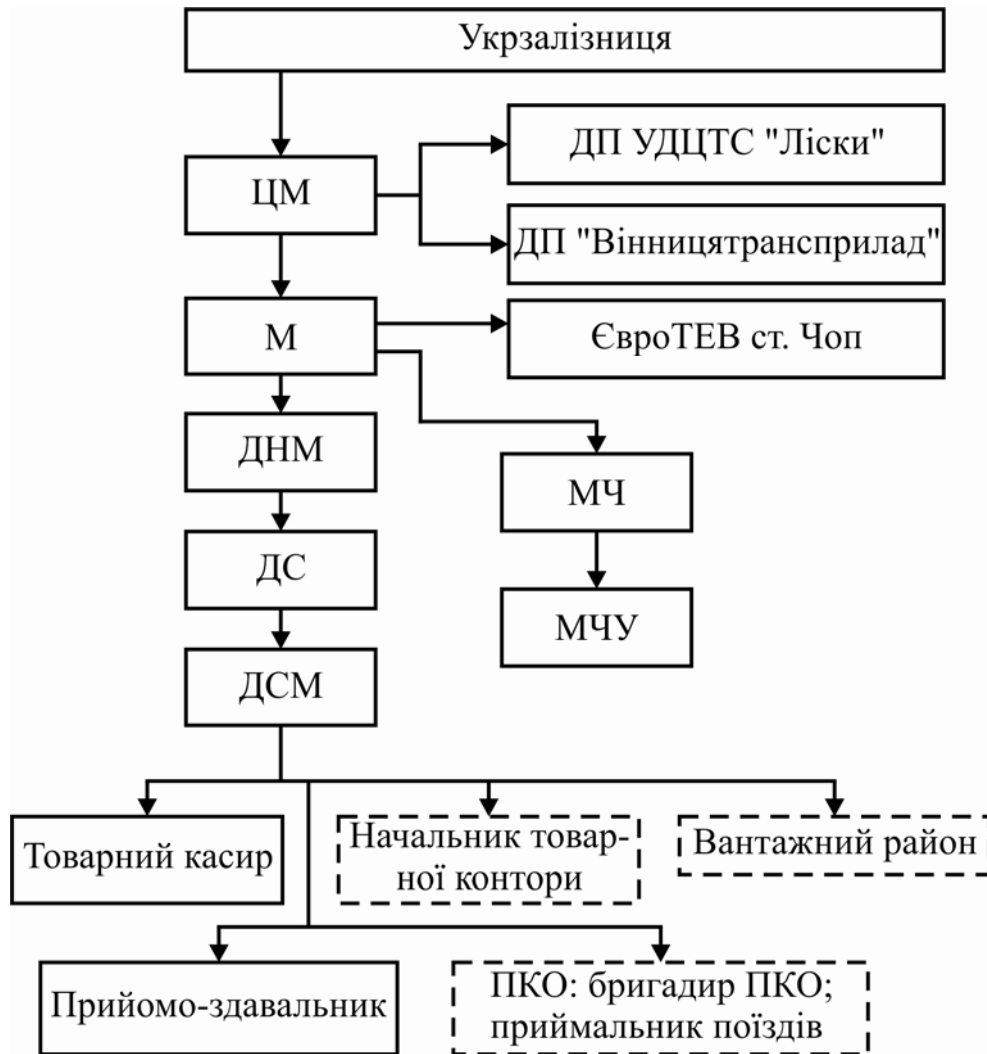


Рис. 1. Існуюча організаційна структура управління вантажним господарством

У складі ДП «ЦОВР» рекомендовано організувати такі структурні підрозділи як: механізовані дистанції навантажувально-розвантажувальних робіт (МЧ); Центри з вантажної та комерційної роботи (КМЦ), що вже ефективно працюють в дирекціях залізничних перевезень Донецької залізниці; Європейське транспортно-експедиційне відділення (ЄвроТЕВ) на станції Чоп. У складі МЧ, КМЦ, ЄвроТЕВ рекомендовано організувати такі структурні підрозділи:

- виробничі дільниці;
- механічні майстерні;
- дезінфекційно-промивальні станції; ремонтно-калібрувальні лабораторії;
- механізовані майстерні по ремонту та модернізації вагоповірочних вагонів;
- лабораторії технічного діагностування;
- виробничі дільниці з ремонту вантажопідйомних кранів;
- дільниці вагового господарства.

Така організаційна структура КМЦ, МЧ та ЄвроТЕВ дозволить виконувати наступні функції:

- надання консультацій з питань організації вантажних перевезень;
- розробку єдиних технологічних процесів роботи станції примикання та під'їзних колій;
- навантажувально-розвантажувальні роботи засобами залізниць;
- транспортно-експедиційне обслуговування вантажовласників;

- митне декларування транзитних вантажів;
- промивку та дезінфекцію вагонів;
- забезпечення запірно-пломбувальними пристроями для вагонів;
- огляд, ремонт, перевірку та калібровку залізничних, автомобільних та залізничних ваг;
- рекламну діяльність та інше.

На рівні дирекцій залізниць ДП «ЦОВР» запропоновано базові дільниці філій. Структура управління вантажними перевезеннями на першому етапі надається на рис. 2.

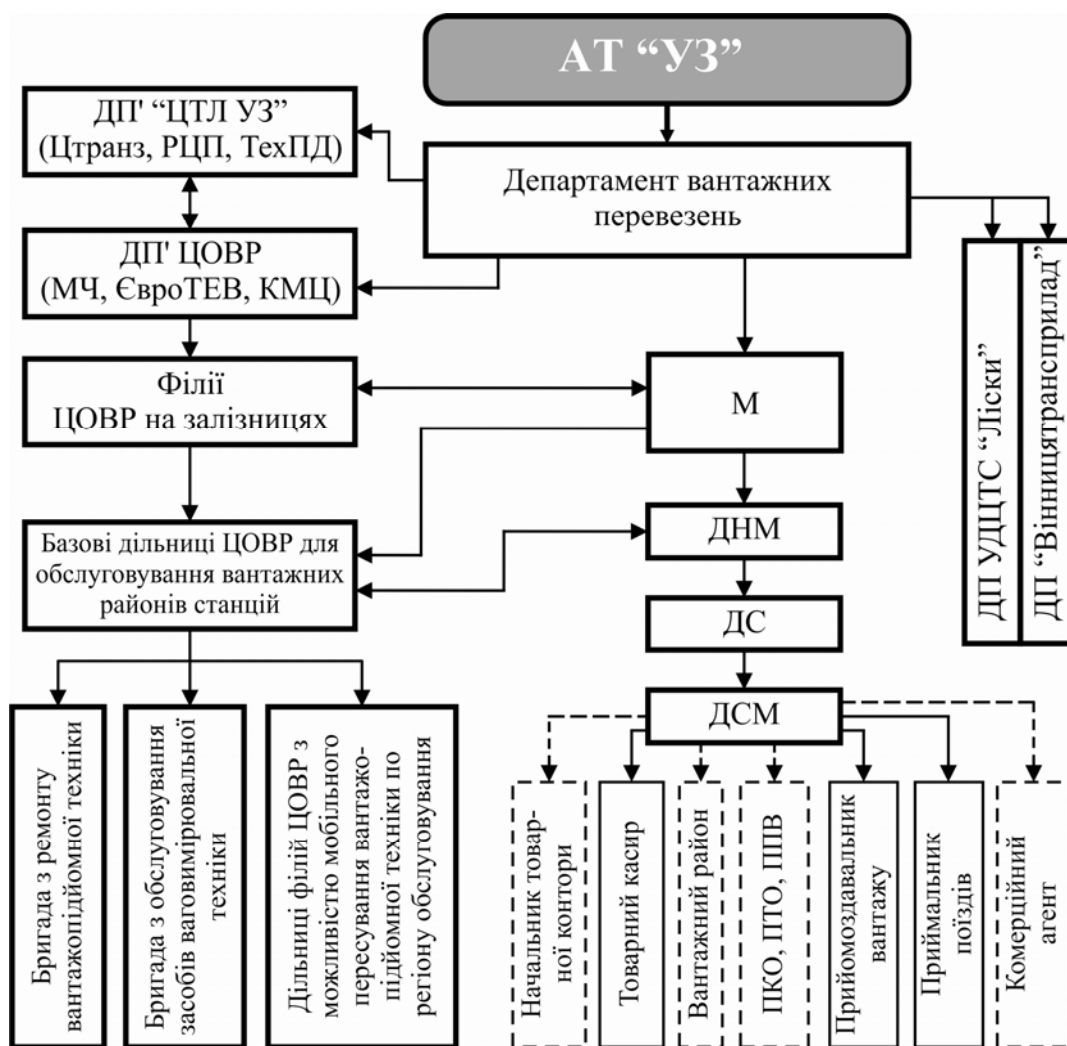


Рис. 2. Організаційна структура вантажного господарства на першому етапі реформування

На другому етапі структурної реформи продовжується формування структури управління вантажними перевезеннями за вертикально-інтегрованою схемою всередині самого господарства. ДП «ЦТЛ УЗ» та ДП «ЦОВР» поступово відокремлюються в самостійні структури зі своїми власними вертикалями на рівні залізниць і дирекцій залізниць з безпосереднім підпорядкуванням Департаменту вантажних перевезень. Оперативно підпорядковуються Депар-

таменту вантажних перевезень у статусі акціонерних товариств ВАТ Укрспецвагон та Укррефтранс, які на першому етапі структурної реформи входили до складу Головного управління вагонного господарства. Також включаються до складу вищенаведеного департаменту новостворене дочірнє підприємство «Укрвагон» та всі компанії-оператори, що в своїй діяльності використовують інфраструктуру залізниць України. В свою чергу, філії ДП ЦОВР на

даному етапі ще залишаються у підпорядкуванні комерційних служб. Структура управління вантажними перевезеннями на другому етапі реформування надається на рис. 3.

На третьому етапі реформування передбачено перетворення державного підприємства ДП УДЦТС «Ліски» на відкрите акціонерне товариство у складі АТ «УЗ». Закінчується процес відокремлення в самостійну структуру ДП «УЦТЛ УЗ» і ДП ЦОВР. У функціональному

підпорядкуванні служб комерційної роботи залізниць залишаються тільки структури, пов'язані з вагонним парком. Структура управління вантажними перевезеннями на третьому етапі реформування надається на рис. 4.

Також необхідно зауважити, що вищенаведені структури управління вибудовано автором на підставі досліджень щодо етапності та сутності структурної реформи залізниць України.

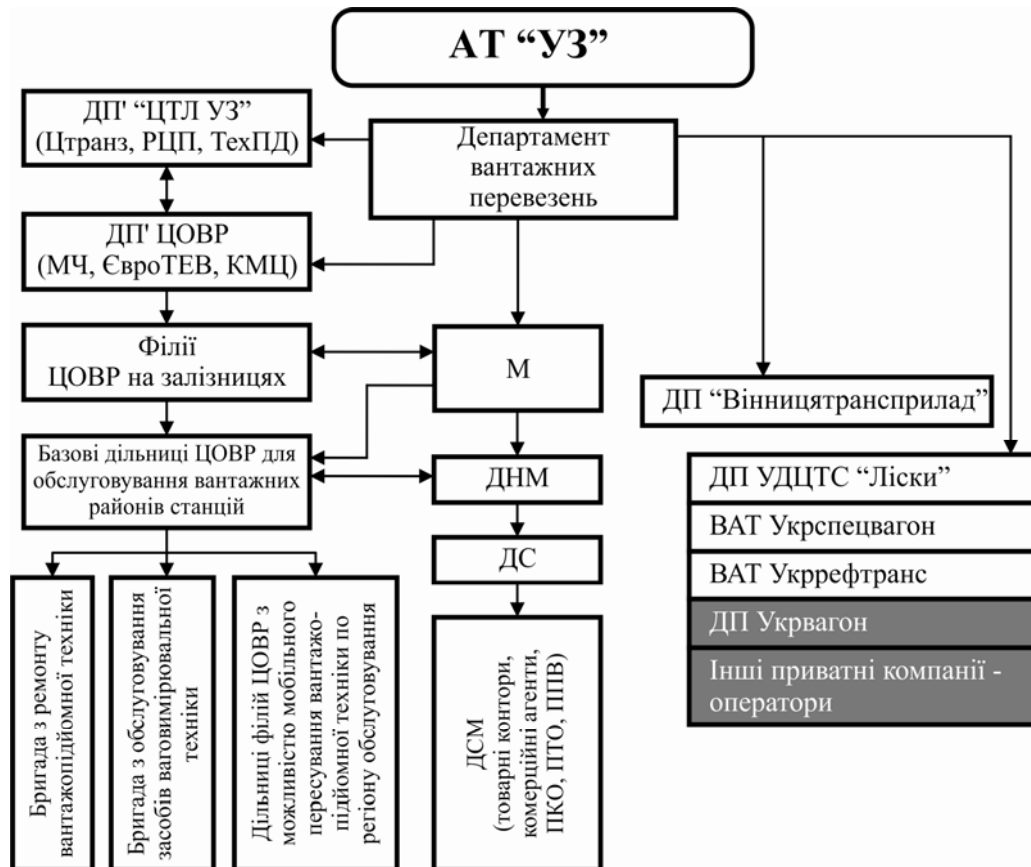


Рис. 3. Організаційна структура вантажного господарства на другому етапі реформування

Організаційну структуру Департаменту вантажних перевезень необхідно вибудувати таким чином, щоб забезпечити основні функції Головного комерційного управління та додати до них деякі функції, які зараз централізовані іншими управліннями УЗ, виконуються операторськими та транспортно-експедиційними компаніями. За умови виділення Департаменту вантажних перевезень в самостійну структуру вже на першому етапі реформування необхідно виконувати додатково наступні функції:

- бухгалтерського та податкового обліку;
- інформаційного забезпечення та статистики;
- охорони праці і соціальних питань;
- контрольно-ревізійної роботи;

- організації відділу кадрів та першого відділу;
- матеріально-технічного забезпечення;
- розробки новітніх технологій, транспортної логістики.

ВИСНОВКИ

Удосконалення організаційної структури управління підприємствами з вантажних перевезень дозволить привести її у відповідність з етапністю проведення структурної реформи та існуючою нормативно-правовою базою щодо функціонування цих підприємств, яка відрізняється від існуючої наявністю підприємств різної форми власності та організаційно-правової форми.

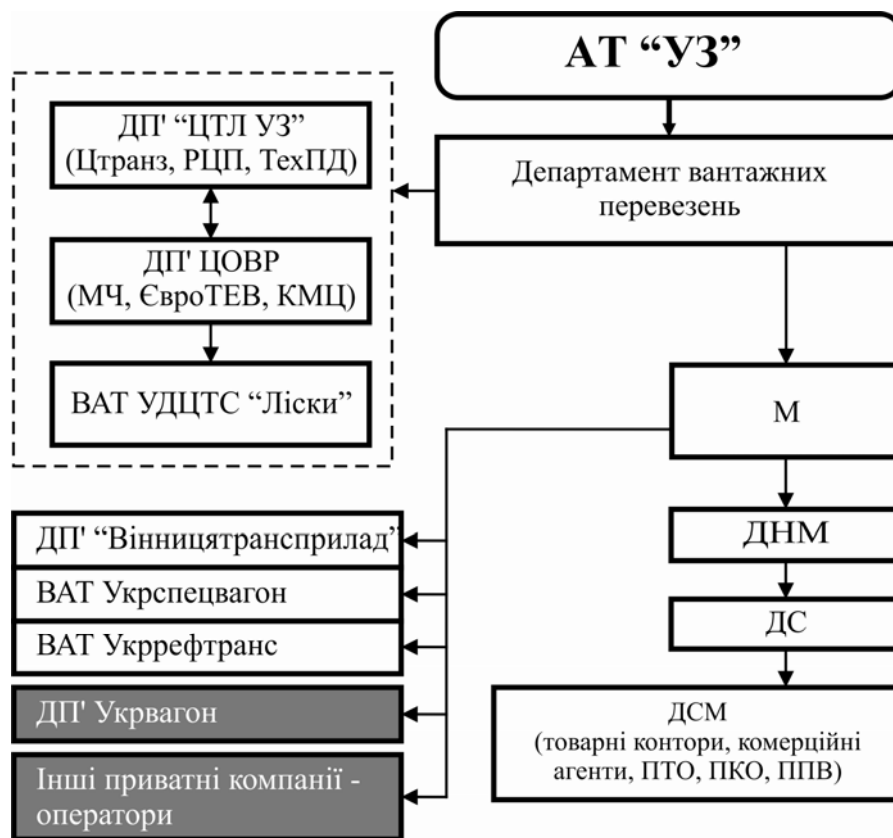


Рис. 4. Організаційна структура вантажного господарства на третьому етапі реформування

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Програма економічних реформ України на 2010-2014 роки [Електрон. ресурс]. – Комітет з економічних реформ при Президенті України. – Режим доступу: [//www.president.gov.ua](http://www.president.gov.ua)
2. Розробка принципів переходу на вертикальну форму управління галузевими господарствами залізниці» [Текст] : звіт про НДР / Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – № ДР 0110U006292.
3. Про внесення змін та доповнень до Рекомендованих типових штатів структурних підрозділів залізниць, затверджених наказом від 16.10.2001 № 551-Ц [Текст] : Наказ УЗ № 779-Ц від 14.12.2010.
4. Про реорганізацію механізованих дистанцій навантажувально-розвантажувальних робіт [Текст] : Наказ УЗ № 605-Ц від 11.08.2010.
5. Рекомендоване положення про механізовану дистанцію навантажувально-розвантажувальних робіт, центр з вантажної та комерційної роботи, європейське транспортно-експедиційне відділення [Текст] : Затв. : Наказ УЗ № 787-Ц від 16.12.2010.

Надійшла до редколегії 18.01.2011.

Прийнята до друку 25.01.2011.

Наукове видання

В І С Н И К

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Випуск 37

(українською, російською та англійською мовами)

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 7704
від 08.08.2003 р. видане Державним комітетом телебачення і радіомовлення України*

Відповідальний за випуск *І. П. Корженевич*
Комп'ютерне верстання *В. В. Кузьменко*

Статті в збірнику друкуються в авторській редакції

Формат 60 × 84 ¹/₈. Ум.друк.арк. 34,76. Тираж 100 пр. Зам. № 1112.

**Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна**

Адреса редакції, видавця та дільниці оперативної поліграфії:

вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ-10, 49010, Україна

Тел.: +38 (0562) 33-58-96, факс: +38 (0562) 33-58-97

<http://www.diiitrvv.dp.ua>

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003.